

I はし が き

超音波のインパルスを用いて金属内部の傷を外部から検出することは米英では 1944,45 年頃から試みられていたが、筆者等がそれを簡単な文献から知つたのは外國文献が少しづつ見られるようになった 1948 年であつた。當研究室では從來から水晶、ロッシェル鹽等壓電氣材料の研究を行つてをり、探傷器とはほとんど類似の装置の研究をした経験があつたので、その文献に深い関心を持ち、早速研究を開始すると共に、文献を集めて米英での状況を調査し、國內に紹介した。¹⁾ また超音波探傷器の試作を研究室で終えたのは 1949 年夏³⁾ で、それによる基礎實驗²⁾ を同年 11 月の生産技術研究所開所式の際にも展示し、それ等の簡単な實驗と國外の状況は本誌にも紹介した。⁴⁾

當時は設計の基礎資料が全くなかつたので、その一つとして金属中の超音波の減衰度等を測り、⁵⁾ あるいは 1950 年 5 月、日本特殊鋼 KK へ試作装置を持つて出張し、各種の傷を検出するのに適した周波数、所要感度等を求めると共に、實用素材の検査を行つてその實用性を確め、かつ設計資料を求めた。⁶⁾

他方國內では生研の他にも、二三その研究が進められており、探傷器の市販品も出るにおよんで探傷器は次第に普及し始め、生研に對し検査の依頼だけでなく、普通の方法では測定できないようなもの迄検査の相談を受けるに至つた。また當時の市販品は使用周波数の種類が少く、不便なので自社の目的とする検査に、どこのどの型の探傷器がよいかという相談もあつた。幸に 1950 年度本所中間試験研究費の援助を受け、從來の経験を生かし、上の目的に沿うような生研独自の探傷器を設計製作することができた。その主要設計方針は次の通りである。

- (1) 超音波の周波数を廣範圍に變え得ること。
- (2) 探觸子は送受共用の方が便利であるが、送受別

* 探傷器自体およびその用點に関する解説はすでに多くの文獻 (1, 4, 10, 12) があるからこの編では省略した。

なおこの研究は文部省科学、科学試験研究費によるものの一部份である。

超 音 波 探 傷 器

— その實用化への歩み —

高 木 昇 ・ 丹 羽 登

レーダーや山びこの原理で物體の内部の様子を探るこの装置は、最近の金属工業界から注目されている。斯界に先んじて進められてきた本所での研究は？ 實用状況は？

にする必要がある場合も起るので、双方可能にすること。

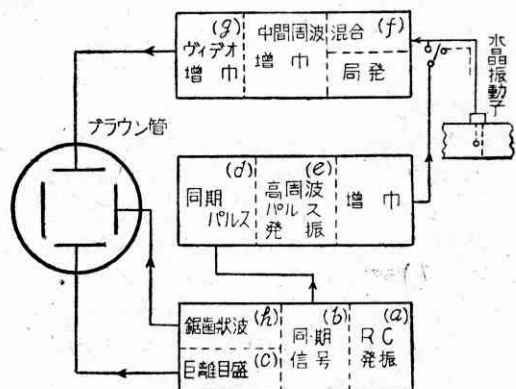
(3) 現場試験に便利なよう、極力小型にすること。

このようにして製作された探傷器は本誌 1951 年 7 月號口繪、生研要覽等に紹介されている。

最近では超音波探傷器は 5 社 14 種目 (1951 年 11 月末調)¹⁰⁾ ものメーカーの製品が出ているので、測定だけを目的とする依頼は少いが、やはり自社の目的にかなつた探傷器を選択するための測定依頼、あるいは自社の特殊な目的のための単能型探傷器の設計等の依頼が続いている。また後に述べるように、探傷器使用會社の間にあつて中立な立場にある研究者としての役割も少くない。

II 超音波探傷器の設計と試作

カットおよび第 3 圖に示す寫眞が上の方針に従つて設計試作し、現在使つている探傷器で、その主要構成および使用真空管は第 1 圖の通りである。圖中右肩に符號を



第 1 圖 超音波探傷器主要構成圖

附けてある各部の波形を第2圖に示してある。

1. 同期部

まず RC 発振器で繰返周波数 (1.5 kc) の正弦波 (a) を作る。これを増幅して矩形波 (b) を得、同期信号として送信部へ送る。距離目盛 (c) は矩形波発振器 (30 kc~250 kc) を同期信号 (b) で同期し、その出力をブラウン管の偏向板に加え受信器の出力波形と重畳させる。

初期には測距精

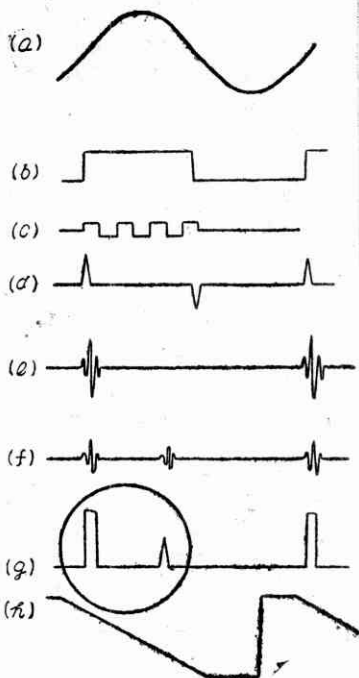
度を厳密に考え、150 kc の水晶発振

器の出力を順次遮断して距離目盛パルスを得ると同時に繰返周波数の信号も得ていた。しかし何回かの実験から、実用的には測距精度よりも、簡単なことの方が大切なことを知つたので、可変抵抗を廻すだけで連続的に廣範囲に周波数の變る矩形波を發生させ、(鋼材ならば) 1.2~10cm 間隔の目盛を得ている。この方法によれば音速の違う材料でも長さの既知な試料の反射波から簡単に距離目盛が得られる。

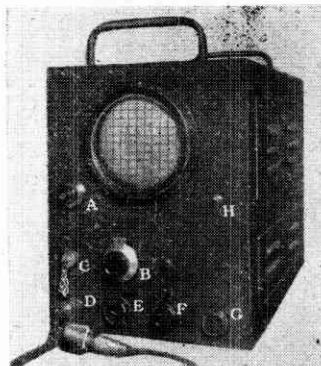
一方、(a) の正弦波を移相器で任意の位相だけずらせた出力に同期して鋸齒状波 (h) を發生させ、それを必要な部分だけ増幅してブラウン管の掃引を行つている。このようにして受信器の出力波形の全部または任意の一部分をブラウン管上に觀察することができる。

2. 送信部

同期信号 (b) をさらに増幅、微分してパルス (d) を作り、高周波インパルス發振器 (2~15 Mc) を發振させる。(e) それを増幅して高周波ケーブルで水晶振動子へおくる。通常はこの出力を受信器の入力端子に直結して水晶振動子を送受共用に使う方が便利だが、目的によつては別々に用いることもあり、そのために對地容量、インピーダンス等が變化するので發振回路と別に増幅器の同調回路をおき、發振周波数の安定化を計つている。6V6 1本を發振器に使ひ、増幅しなくても出力としては充分であつた。



第2圖 各部波形



第3圖 パネル面

- A: 送信周波数調整
- B: 受信周波数調整
- C: 送信ケーブル端子
- D: 受信又は送受共用ケーブル端子
- E: 受信器利得調整
- F: 送信パルス位相調整
- G: 横軸幅調整
- H: 距離目盛開閉器

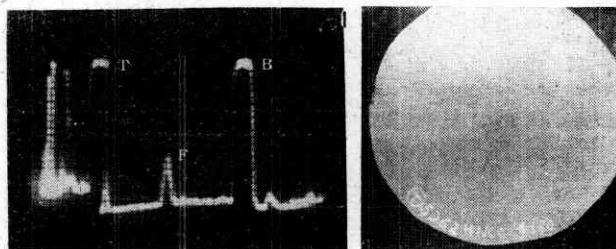
3. 受信部

廣い周波数範圍を連續的に受信し得るために、スーパーヘテロダイン型を採用している。中間周波増幅器は5段、14 Mc \pm 0.5 Mc の帯域幅を持つている。さらに帯域幅の廣いものも試作したが、工業的な用途としてはこの程度で充分であり、また幅を廣くとると使用周波数が低い場合、局部發振電壓が中間周波増幅部に入つてしまうのでまずい。

指示ブラウン管は直径 120 mm のもので、第3圖にパネル面の調整箇所を示してある。所要電力は約 180W である。

III 鋼材の検査

最初の探傷器試作以來、す、スラグ、パイプ、白點、ゴーストライン等のある鋼材、鋼板の熔接部の傷等の検査に適する周波数範圍、所要感度等を調べその都度報告



(a) 鋼材中のパイプの探傷例 (b) その切斷面
T: 送信波 F: 傷の反射波 B: 他端面の反射波

第4圖

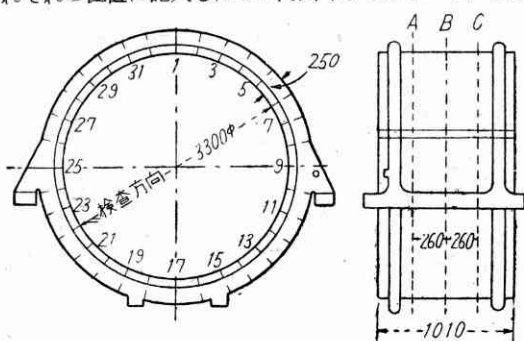
してきた。⁶⁾⁸⁾ 第4圖はその一例で、18 cm ϕ の Ni-Cr 鋼ビレットを直径方向に検査後切斷したもので中央部にあるパイプが検出されている。

また、タービン軸車、ピニオン材、⁶⁾ 水車發電機用フライホイール、同バケット⁷⁾⁸⁾ 等を検査して來たが、こゝでは多數の測定點を超音波探傷器で検査し、後にそこに孔をあけて傷を確めた一例を述べる。

超音波検査と穿孔検査の比較

某電機工場から本所への依頼研究として 1951 年 4 月に行つたもので、被検査物は第5圖のような 2100HP 直

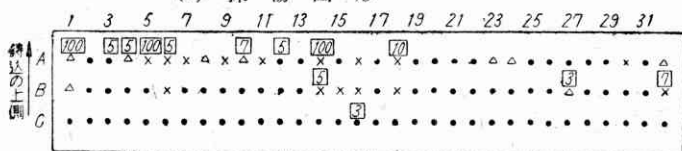
流電動機（直徑約 3.8 m）の Magnet Frame（鑄鋼製）である。同所で内面の仕上を始めたところ、一部にすが見られたのでその大きさを確め、他にも見えない大きなすがないかを知るために検査が依頼された。（その検査状況は本誌 1951 年 7 月、工業試験法特集號参照）検査點はハンドグラインダで仕上げ、接觸油には機械油、ひまし油を用いた。他端面は鑄込のときの黒皮のまゝで極めて荒い。検査の際問題のす以外に（この材料が使用されるならば）後日 Pole Piece 取付ボルトの孔をあけるべき位置 96 點を検査した。（超音波の周波数は 3 および 4 Mc）その點をブラウン管上の圖形から第 6-a 圖のように、無傷、小さい傷、大きな傷の三種に大別し、それぞれの位置に記入したのが同圖 (b) である。やはり鑄



第5圖 被検査物（電動機のマグネットフレーム）

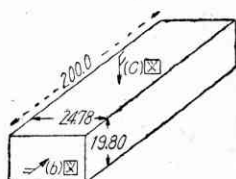
分類	探傷圖形例	6圖中の記号
無傷		●
小さな傷		△
大きな傷		×

(a) 探傷圖形

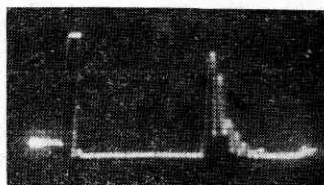


(b) 検査結果

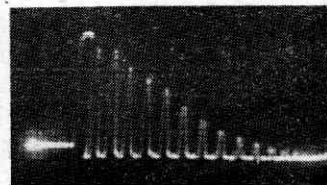
第6圖



(a) 岩石の検査



(b)



(c)

第7圖

込のときの上側の方が傷が多い。この検査結果と前記の大きなすの検査とを考慮した結果この材料は使用に耐えると判定され、加工は續行され、上記 96 點に Pole Piece を取付けるべき孔 (3/4 inφ) があけられた。その孔を肉眼で検査し、孔の面に現れている傷の面積を目測で測つた概略値（単位 mm²）が第 6-b 圖中の相當する個所の上部に四角く圍つて記入してある。（同工場から後日受取つた報告書による）この圖を整理したのが第 1 表であ

第1表 超音波検査と穿孔検査の比較

検査結果	検査點數	穿孔面に見られる傷の面積 (mm ²)					
		100	10	7	5	3	0
無傷	72	0	0	0	2	1	69
小さな傷	9	1	0	1	1	1	5
大きな傷	15	2	1	1	2	0	9
計	96	3	1	2	5	2	83

る。超音波検査のときは荒削りのまゝであり概略の位置で検査したから、穿孔の中心とは必ずしも一致しない。また 3/4 inφ のドリル孔によつて、小さな傷はえぐり取られてしまい、或いは孔の境界面にかゝつた小さな傷は表面がつぶれて気付かないこともある。これ等の理由で兩検査結果が完全に一致しないのはやむを得ないが、第 1 表から次のことが結論される。

- (1) 兩検査結果は、ほぼ一致した結果を示す。
- (2) 超音波検査で大きな傷を見落すことはない。
- (3) 小さな傷を見逃してよい場合は、3, 4 Mc の超音波検査はやゝ過敏である。

IV 非金屬の検査

1. 岩石の検査

本學地震研究所から岩石中の音波の速度を測定する研究の相談を受け、超音波探傷器および厚み計⁹⁾によつて

測定を試みた。第 7-a 圖のような形状の試料（黒曜石）に矢印 (c) の方向（厚さ 2 cm）に超音波（4 Mc）を通すと同圖 (c) のような多重反射が見られ、試料内での超音波の減衰状況がわかる。また長さ方向に通すと (b) 圖が得られる。しかし距離目盛を入れ遅延時間を求めて音速を出しても、厚み計による測定

精度よりはその精度が低いので音速測定には、もつぱら厚み計を用いた。なお長さ方向検査の際、側面にある小さな割れ目からの反射波が見られることから、岩石でも超音波の減衰度の少ないものでは探傷を行い得ることを確めた。この項については別に報告する。

2. 魚肉の音速および減衰度測定

超音波で魚群を探知する基礎的データの一部分として水産廳から魚體の音速測定の依頼を受け、1952年2月、三崎から新鮮な魚肉の送付を受けて測定を行った。

魚肉は、軟くて、水晶振動子を同じ位置に、他端面と平行に保ち難いので、水晶振動子研究用のマイクロメータ付ホルダを用いて振動子を他端と平行に保つと同時に肉厚をも知ることができた。このようにしてインパルスの多重反射から減衰度を求めて見ると普通の金属よりはるかに多い。(メカジキマダゴ、 $2\sim 6\text{ db/cm}$, 4 Mc , 鮮度で變らしい)従つてインパルスの遅延時間から音速を求める際、讀取精度の悪いことを防ぐために大きな魚肉を使うと、超音波の通過距離が長すぎて減衰がはなはだしく、検出不能になつてしまう。結局音速を求めるには超音波厚み計も併用した。この項についても稿を改めて報告する。

いずれにしても超音波探傷器と超音波厚み計を併用することはきわめて有効であることを知つた。

V 超音波探傷器用標準試験片

1. 感度標準の必要

1951年頃から超音波探傷器が製品として市販され始め、製鋼會社が自社の製品を探傷器で検査し、それを購入する側でも受入検査に探傷器を使うような場合がおこつてきた。鋼材にはくわしく調べれば必ず傷があるので、同種のを多数製作する場合は、この製品のどの部分は何の程度の傷まで許すという協定を納入、受入相互間で定めておくと都合である。しかし、その際前提として必要なのは双方の探傷器の感度が同一に保たれることである。ところが探傷器の感度は増幅器の利得だけで示せるものでなく、電氣的諸量を列挙しても感度を示すのは容易でない。むしろ標準の試料中での反射波の強さで感度を示す方が直接的なので標準試験片が必要となる。

1951年4月、超音波探傷器を使っている主要製鋼會社、造船所および探傷器の研究者、製造者を含めた超音波探傷法協議會が學振製鋼委員會中に發足した。その會で上記の理由から標準試験片を定めることが提案され、熱心な研究が進められている。現在筆者等の試作したものを造船所、製鋼所等で試用し、その實用性を確めている段階であり、近日中に成案を見る豫定である。

2. 標準試験片の材料

標準試験片はその目的によつて次の二種類がある。

1. 社内(用)標準(試験片)

2. (相互比較用)標準試験片

社内標準は探傷器を用いて検査を行うとき感度の確認、記録に用いるもので、自社内だけに通用する。

他方標準試験片は各所に共通なものでなければならず、材料の普遍性、再現性、均質性、加工性等に大きな問題がある。

普遍性、再現性の點では水銀、蒸溜水等の中での超音波の多重反射を用いるとよい。しかしこれ等は取扱に不便なので現場用には固体を使はざるを得ない。

探傷器の對象となる材料は主に鋼なので、社内標準には鋼を用いることが多い。標準試験片としても鋼を用いたが、鋼は製作方法、炭素含有量等で減衰定数がはなはだしく變化し、また多數の無傷均質な素材を作りにくい。

各種の金属について検討の結果、學振の探傷法協議會としては他よりは缺點が少く、均質なものを多數比較の作りやすいものとして Al を選び、新扶桑金屬伸銅所で素材の試作が行われた。それは A, B 二種あつて、

- { A: 70 mm ϕ に押出後 60 mm ϕ 迄抽伸したもの
- { B: 60 mm ϕ に押出のもの

である。同所での冶金學的検査の結果は A の方が均質性においてすぐれているようである。純度は A: 99.72%, B: 99.75% で、純 Al を使わなかつたのは再結晶の點と、同様なものを後で作りやすいためである。

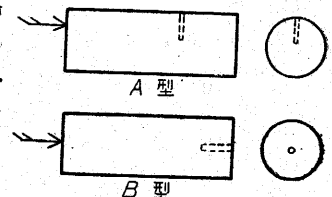
この素材を昨年8月本所宛送付され、探傷器および厚み計⁹⁾を用いて行つた検査では、低い周波数(1~2Mc)では兩者の差はないが、4Mc位でも受信器の感度を増すと僅かばかり現れる内部からの反射波(傷、結晶粒等)はやはり B の方が多く、周波数を 15Mc 迄増すとその差は明瞭になる。結論として、數 Mc 以下で使う標準試験片としては前記 A の素材で良い。

3. 標準試験片の試作

兩端面を平行に仕上げた試料中での超音波の多重反射の減衰状況(例えば第7-(c)圖)から探傷器の感度を知ることができる。簡便な方法なので従来、社内標準としては使われていたが、素材中での超音波の減衰定数が決定的な要素をなすので、種々の測定の結果、再現性が少いため、共通性をもつた標準試験片としては使用困難なことがわかつた。

次に考えられることは、問題になる傷と同程度の大きさの標準傷を素材中

に作り、それからの反射強度を規準にする方法である。實用性のある傷の形状としては、第8圖に示すように A, B 二種

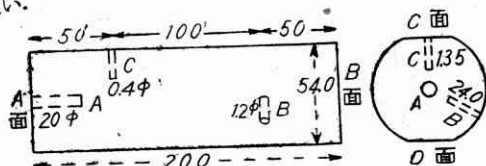


第8圖 二種の標準傷

がある。

前記 Al の他に銅、デュラルミン等の素材で A 型標準傷の試料を試作し、実際に問題になる傷との比較を行った。その結果は、細い方は 0.3 mmφ、長さ 7 mm の孔迄実験したが、これでも 3-4 Mc 以上の高感度の場合、標準傷としては大き過ぎることがわかつた。水晶振動子の大きさから考えて傷の長さは少くとも 10 mm はほしい。また多数の試料を各工場に配るためには工作の容易さも考えねばならず、結局 A 型傷は大きな傷を対象とせざるを得ない。

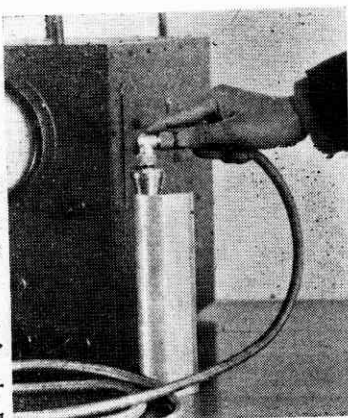
次に小さな傷を目標として種々の直径の B 型傷と同じような素材にあげ実験した結果、1~3 mmφ 程度の手頃な直径のドリル孔で小さな傷と同種の反射を得ることを確めた。この型式では孔の先端の形状が反射率に直接影響するのにならぬ形状を確認する方法がないので、傷の頭部はドリルで孔をあけたまゝでなく平面に仕上げる方がよい。



第9圖 標準試験片

標準試験片として當所で試作したものの一つは第9圖、第10圖に示してあり、4つの面から三つの標準傷を探傷すると各種の感度標準が得られる。

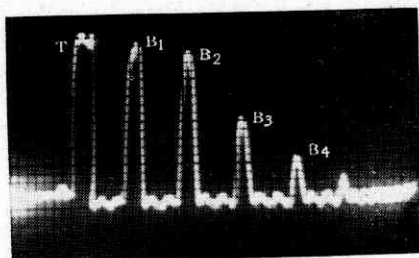
この Al 素材と鋼の音速の比をブラウン管型厚み計で求め、CD 面間



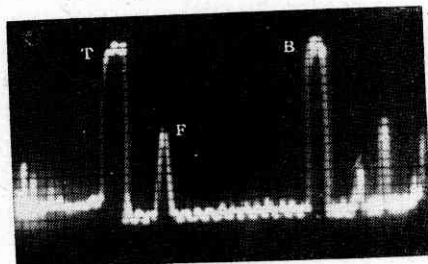
第10圖 標準試験片

での多重反射波(第11-(a)圖)の間隔が鋼材の 5.0 cm に相當するよう C, D 面間の距離を選んであり、これを使って距離目盛を較正し得る。第11-(b)圖は A 面から標準傷(c)を探傷した例である。第11圖中の基線の小さな矩形波は距離目盛である。

* 工作は東日本重工横濱造船所の御好意による



(a) 距離目盛較正用多重反射波



(b) 5 cm の深さにある標準傷の反射波

第11圖 標準試験片の探傷例

VI 結 言

超音波探傷器を、本邦で最初から研究し、その實用化につとめてきた状況の要點をのべた。最近はかなり普及しつつあり、われわれの努力は報いられてきたが、未だ一般に使いこなされるまでには至っていない。むしろ生産技研の研究者としての任務は今後にあるともいえる。

この研究に關し種々御援助下さつた日本特殊鋼 KK、富士電機 KK、東芝電氣 KK、(當時の) 東芝車輛 KK、國鐵大井工場、阪神内燃機 KK、新扶桑金屬 KK、東日本重工 KK、中日本重工 KK の諸氏に謝意を表して筆をおく。

(27.3.1)

文 献

(F.D. は超音波探傷器の略)

- 1) 高木, 丹羽: F.D. 電氣學會誌, (1949.9)
- 2) 高木, 丹羽: F.D. 電氣三學會連合講演會豫稿, (1949.10)
- 3) 高木, 丹羽: F.D. 生産研究, (1949.12)
- 4) 高木, 丹羽: 金屬工業界への F.D. の應用, 生産研究 (1950.3)
- 5) 高木, 丹羽: F.D. に於ける周波数の選定, 電氣三學會連合講演會豫稿 (1950.4)
- 6) 高木, 丹羽: F.D. による鋼材の検査, 生産研究 (1950.10)
- 7) 高木, 丹羽: 水車發電機部品の超音波検査, 生産研究 (1951.3)
- 8) 丹羽, 佐下橋: 超音波探傷法による各種鋼材の検査, 電氣三學會連合講演會豫稿 (1951.5)
- 9) 高木, 丹羽, 石井: ブラウン管型超音波厚み計, 生産研究 (1951.6)
- 10) 丹羽: 超音波探傷器の現況, OHM (1952.2)
- 11) 丹羽: 超音波探傷器の感度標準, 金屬 (1952.5)
- 12) 菊池: 我國に於ける超音波探傷法の現況, 通信學會雜誌 (1951.10)