

第 7 回

千葉県非破壊検査研究会
研究発表会

日時 平成 5 年 1 月 26 日 (火)

13:30 ~ 17:00

会場 高度技能開発センター

目 次

交流インピーダンス法による腐食診断	1
蛍光探傷法（磁粉&浸透）用高出力ブラックライトの開発	7
複合材の超音波探傷法について	9
－反射法と透過法の適用例－	
デジタル探傷器	11
－超音波探傷器デジタル化の得失について－	
高性能2MHz斜角探触子について	32
2MHz斜角探触子による溶接部の探傷	37

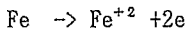
1. まえがき

橋梁・タンク・貯槽・石油精製プラント・発電所等、ほとんどすべての大型構造物の主要部分は、コンクリートおよび鉄鋼材料で造られている。これらの多くは、一般には半永久的な構造物と考えられているが、実際には荷重条件の変化や環境または設計・施工の問題などより、絶えず劣化は進行している。例えば、設計時には考えていなかった高荷重や繰返し荷重に曝されている構造物もある。これに対しては、クリティカル箇所の重点点検、亀裂進展のモニタリング、補修工事などで対応されている。一方、環境の悪化による広域的な腐食も進んでいる。これに対しては、従来から目視検査により塗膜の変色・褪色、ふくれ、さびの露出などを点検してきた。しかしながら、これらの診断は多分に主観的であり、検査員の主観に負うところが大きい。しかも、このように塗膜劣化が顕在化するのとはかなり劣化が進行してからであり、ミクロ的にはこれ以前に電気化学的に腐食は既に始まっている。

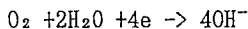
新日本製鐵（株）では、鉄鋼材料およびその用途の開発という観点から、長年に亘って防錆・防食の研究を進めてきた。それらの中で、腐食診断のツールとして、塗膜劣化診断センサ⁽¹⁾と鉄筋腐食診断センサ⁽²⁾を開発し、社内で使用してきたが、その多様性・有用性に鑑み、今回子会社である日鉄テクノス（株）でそれらの製造・販売を行なうことになった。ここでは、それらの原理・装置および適用例について簡単に紹介する。

2. 腐食機構

腐食には、水分・塩害・大気中のSO₂などの有害ガスなど、いろいろな要素が影響を及ぼしているが、腐食メカニズムは、大部分電気化学的反応であるといつてよい。すなわち、金属の一部が、アノード部・カソード部となって局部電池が形成され、それによって腐食が進行する。図1は、その説明図である。アノード部では、金属が溶液中に溶け、プラスイオンになる。



このときできた電子(e)は、ベースの金属を通してカソード部に流れる。カソード部では、水素(H⁺)と結びつくかまたは空気中から電解液中に溶けた酸素(O₂)と結び付く。



すなわち、電気的には、アノード部・カソード部間に電位差が生じ、腐食電流 I_{corr} が流れる。I_{corr} が流れるほど腐食は進行する。

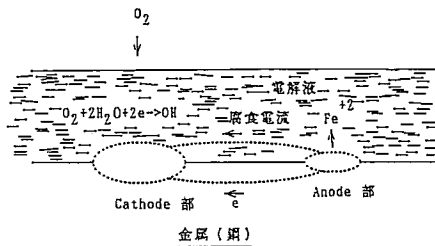


図1 腐食機構

図2は、鉄筋コンクリートの表面と鉄筋との間に交流電源 V を印加したときの等価回路を示している。⁽²⁾ ここで、抵抗 R_p は、前述の腐食電流 I_{corr} に対するもので、腐食反応抵抗（または分極抵抗）と呼ばれ、 R_p が小さくなるほど腐食は進行する。静電容量 C_p は、金属表面に形成されるイオン吸着に基づくもので、電気2重層容量と呼ばれている。 R_s は、コンクリート抵抗（図1に対しては溶液抵抗）を示している。

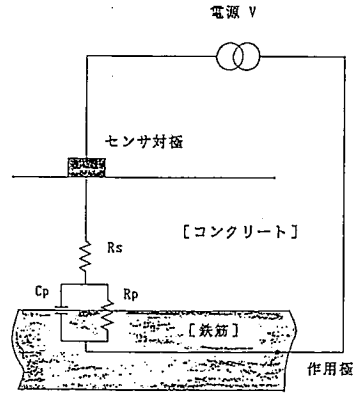


図2 鉄筋腐食測定等の等価回路

交流インピーダンス法は、このように対象物の電気的な等価回路の構造を明らかにし、その回路定数を測定することにより、腐食劣化などの材料特性を調べようとするものである。

塗装鋼板の場合も、ほぼ同様であるが、非常に強固な絶縁塗膜があるために、コンクリートの場合よりその等価回路は複雑になる（図3）。ここで、 R_f は、塗膜抵抗（またはイオン透過抵抗）と呼ばれるもので、塗膜の抵抗を代表する。 C_f は、塗膜の静電容量である。塗装鋼板の場合も、腐食反応自体については、腐食反応抵抗 R_p が重要な意味をもつが、塗膜劣化という観点からは、むしろ塗膜抵抗 R_f の方がより顕著な挙動を示す。⁽¹⁾

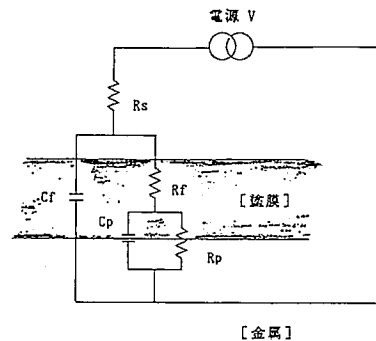


図3 塗膜劣化度測定等の等価回路

研究では、電源として広帯域周波数可変電源を用い、2端子間のインピーダンス特性（いわゆる Bode 線図）を得ることによって、回路構造および回路定数を明らかにしていく。最近の電子計測技術およびコンピュータ処理の進歩により、交流インピーダンス法は、腐食・防食研究の有力なツールになっている。測定装置としては、対象物の入力インピーダンスが極めて高いので、電位計を用いる必要があり、更に出力は通常コンピュータで解析されるため、かなり大かがりなものになる。また、これらの取扱いも専門知識が要求される。そのため、このままでは現場に適用するのが困難であった。

本件は、これらの問題を解決し、フィールドで誰でも容易に取り扱える腐食診断センサを提供しようとするものである。

3. 塗膜劣化診断センサ

塗膜劣化診断センサの外観を図4に、プローブ構造を図5に示す。塗膜劣化診断のためには全回路定数を求める必要はない。本装置は、塗膜抵抗 R_f を求めるように特殊化している。内蔵マイコンにより演算を行ない、塗膜抵抗値を直接液晶パネルにディスプレイしている。

プローブ部は、電解液を長時間安定して保持させるために高吸水性高分子樹脂 (super-absorbent polymer) が充填されている。またセンサの周囲には永久磁石が埋め込まれている。これらにより垂直壁・天井なども容易に測定できる。

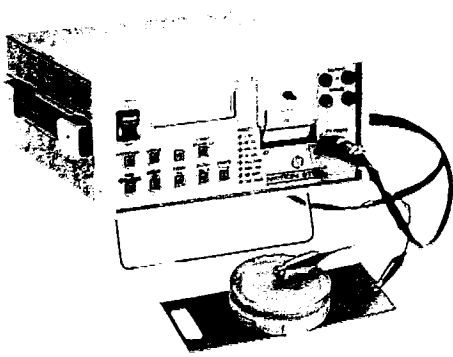


図4 塗膜劣化診断センサの外観

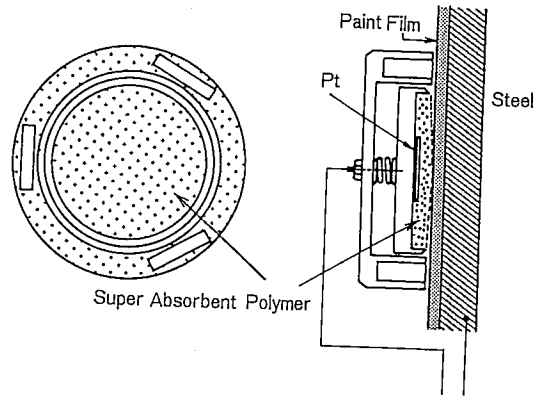


図5 塗膜劣化診断センサ・プローブの構造

4. 鉄筋腐食診断センサ

鉄筋腐食診断センサの外観および構成を図6および図7に示す。鉄筋腐食診断では、センサ対極とコンクリート中の鉄筋とはコンクリートのかぶり厚さ分だけ離れている。そのため、測定電流が分散して流れるようになり、局所的な腐食の検出がむずかしくなる。これに対しセンサ対極の外側にガード対極を設け、中心の対極 (センタ対極) からの電流の拡散を抑制する。そしてそのセンタ対極からの電流のみを利用することにより、位置分解能を向上させている。

等価回路から分かるように、2周波で測定すれば、全回路定数を求めることができる。本装置では、高周波として 160Hz を、低周波として 0.25Hz を用いている。本装置では、分極抵抗 R_p とコンクリート抵抗 R_s を算出・出力している。更に従来から広く用いられている ASTM C876 による自然電位も、センサ中心に銀/塩化銀の参照極が設けられており、同時に測定できる。

前述したように、分極抵抗 R_p は腐食電流に対抗するものであり、一般に $1/R_p$ と腐食速度とは比例関係にある。腐食の初期では、腐食は深さ方向に進展するよりむしろ平面的に広がり、そのため腐食量と腐食面積率とは比例し、 $1/R_p$ と腐食面積率とは比例すると言われている。いずれにしても、 R_p を測定することにより鉄筋の腐食診断が可能であるこ

とがわかる。実際に測定した R_p から当該箇所の鉄筋腐食面積率 α を求めるには、 R_p 、かぶり深さ (D) および鉄筋径 (d) から、 $\alpha = f(R_p, D, d)$ として求める。

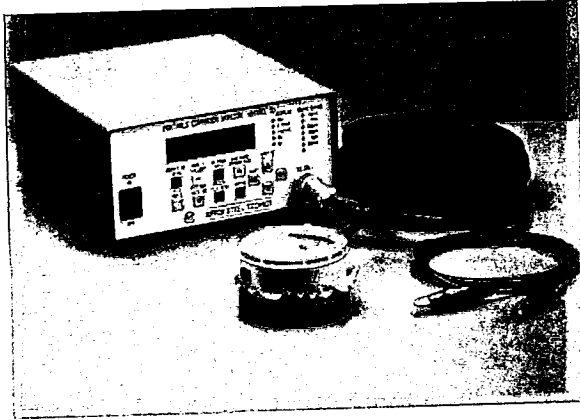


図6 鉄筋腐食診断センサの外観

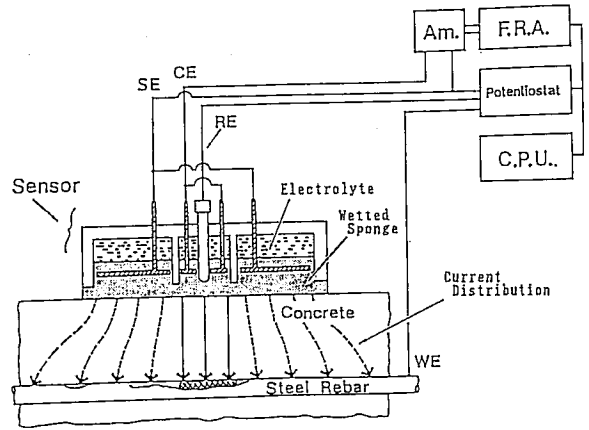


図7 鉄筋腐食診断センサの構成

5. 適用例

(1) 鋼構造物の塗装劣化診断⁽¹⁾

実構造物では塗膜劣化は場所的に不均一に進行するため、一定面積を小区間に分割し測定する多点測定法を用いた。図8はその測定結果で、(A)はセンサにより測定した R_f 値を等高線表示したものであり、(B)は碁盤目試験 (JIS K 5400) において 30% 以上剥離した部分を示している。両者がよく対応していることがわかる。

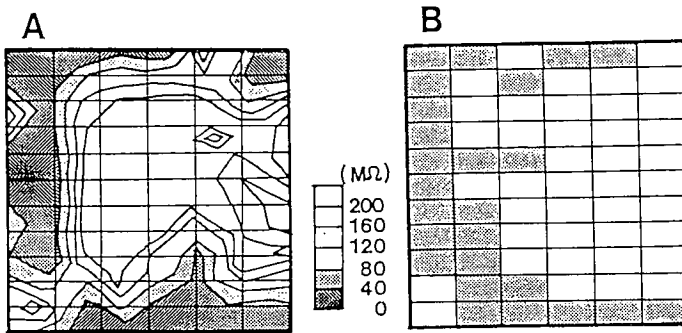


図8 鋼構造物の塗装劣化評価の例

(A) R_f 値の測定

(B) 碁盤目試験における 30% 以上剥離箇所 (ハッチング部)

(2) 自動車塗装の劣化診断⁽¹⁾

走行7.5年を経過した自動車車体をメッシュ分割を行い、 R_f 値の分布を調査した結果を図9に示す。自動車の劣化について経験的に得られている知見では、ボンネット先端部、前後フェンダ下部、フロント・リアエンドなどが劣化を受けやすいといわれている。測定対象の自動車では、目視では確認できないにもかかわらずそのような傾向が既に現れている。他の測定例でも同様であった。

(3) コンクリート試験体による測定結果⁽²⁾

鉄筋種類およびコンクリート材料をパラメータとして、数種のコンクリート・ブロックを製作し、約2年間屋外に放置した。その測定結果と実際に破壊して求めた腐食面積率との関係を図10に示す。かなりよい対応が得られていることがわかる。

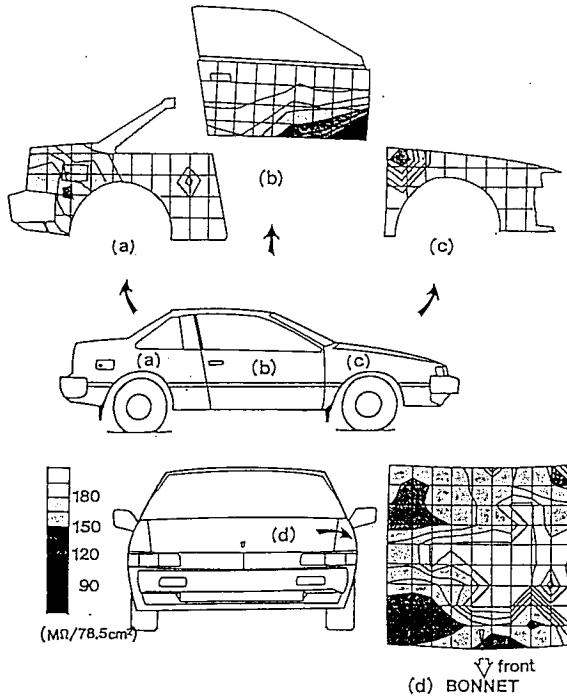


図9 自動車塗装劣化評価の例

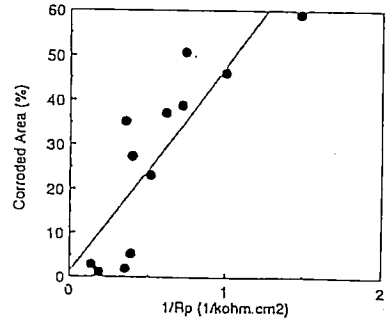


図10 $1/R_p$ と腐食面積率との関係

6. まとめ

塗膜劣化診断センサおよび鉄筋腐食診断センサは、現場で簡単に取り扱うことができる。今後は、フィールドで実際に使用しながら、更に対応データを蓄積し、定量的な保守管理に結びつけていくことが必要である。

文献

(1) 本間 宏二「交流インピーダンス法を応用した塗装鋼板劣化評価センサーについて」
防錆管理 35 [1] (1991)

(2) 後藤 信弘「交流インピーダンス法を用いた鉄筋腐食モニタリング」 JSNDI 009 特
別委員会資料 No.009-35 (1991)

蛍光探傷（磁粉&浸透）用高出カブラックライトの開発

栄進化学（株）相村英行・上村勝二

1. 緒言

鉄鋼材料の表面欠陥の探傷法の一つとして、蛍光磁粉探傷法が良く用いられている。然しこの探傷法の場合、適切な探傷を行うには検査室を暗くする必要があり、作業環境や安全管理の面からやや難点があった。そこで、探傷精度の向上と作業環境の安全改善を図るべく、従来のブラックライトの2倍以上の紫外線強度を有する装置の開発をした

2. 装置の概要

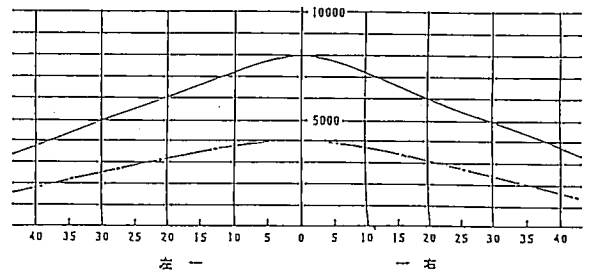
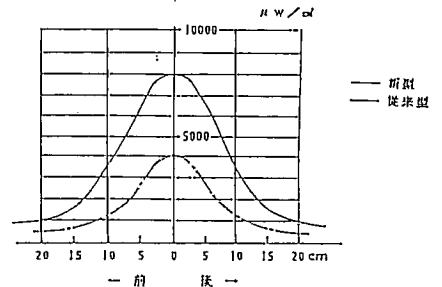
鋼管やビレットのような長尺製品や中形鍛鋼品の探傷は、据置式の800Wライン形または400W多灯式ブラックライトが用いられている。然し、長時間使用すると水銀灯の劣化が激しく、紫外線強度を維持するには頻りに水銀灯を交換する必要があり、費用、時間がかかり容易ではなかった。

これらを改善するために従来の水銀ランプから、特殊メタルハイライトランプを開発した、このランプは発光管内に水銀、アルゴンガス、金属ハロゲン化合物（ヨウ化鉄）が封入しております、アルゴンガスにより始動放電し、高温、高圧の水銀アーク放電が起り、金属ハロゲン化合物は蒸発させられ水銀アーク内に入り金属原子とハロゲン原子に解離する、解

離した金属はアーク内で励起され発光する、アークの外では、金属とハロゲンが再結合してもとの金属ハロゲン化合物にもどり、このサイクルを繰返して発光を続

紫外線強度分布（新型と従来型の比較）

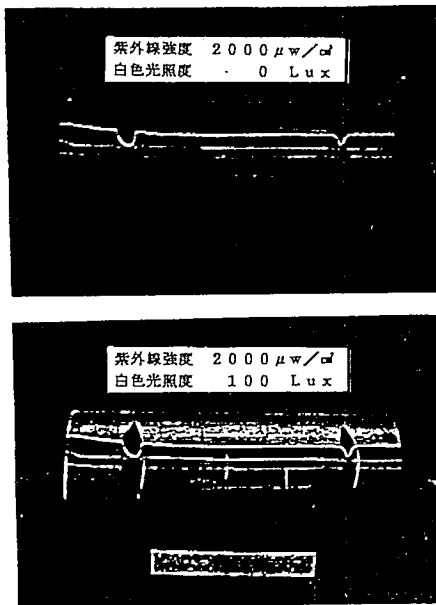
フィルター面からの距離 400 mm



ける、このハロゲンサイクルのため電極の消耗が非常に少なく又発光管内の汚れも少なくない様に開発し、併せて出力を1000Wに増大した。また、投光器の形状、フィルターの紫外線透過率、安定器等を全面的に改良したブラックライトを開発した。

このブラックライトの主な特徴は、

(1) 高紫外線強度；2倍以上、 (2) 広い検出範囲；1.5倍、 (3) 長寿命；約2倍、 (4) 投光器の温度の低温化、等であり、この新形の高出力ブラックライトを使った場合、従来の暗室内での探傷精度と同等の結果が得られるのは、どの程度の明るさであるか調査試験した結果、周辺のものが見える程度、50~100Luxでの明るさのままで判明した。下記にその一例として、紫外線強度2000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 下での可視光0Luxと100Luxでの探傷例と識別比較試験例を示す。



Distance	STB(RB)	Lux			
		0	20	50	100
50cm	A2 7/50	○	○	○	○
	A1 15/100	○	○	○	○
	A1 30/100	○	○	○	○
100cm	A2 7/50	○	○	△	△
	A1 15/100	○	○	○	○
	A1 30/100	○	○	○	○
100cm	RB 0.38	○	○	○	△
	RB 0.62	○	○	○	○
	RB 1.84	○	○	○	○

Table-1 Indication

3. 結言

高出力ブラックライトの開発により高紫外線強度下での探傷が可能となり、暗室内の照度を作業足元や周辺が見える程度まで(約50~100Lux)明るくすることができたと共に、投光器の温度の低温化により安全管理及び作業環境の改善が図れた。

複合材の超音波探傷法について

(反射法と透過法の適用例)

航空宇宙技術研究所 松嶋正道

1. まえがき

複合材料は比強度・比剛性が高い性質を持っており、軽量化を進める効果が期待されており、一体成型技術も確立されA-320旅客機尾翼に複合材が応用されている。

CFRP (CF/Epoxy)厚板の衝撃損傷について以前発表を行った¹⁾。損傷が厚み方向にスパイラル状の進み、GS (ジエネラトスリップ)現象が確認された。今回は実機構造にちかい形状であるT型補強材パネルを製作した。この補強材フランジ部に衝撃損傷を与え超音波探傷により測定を行い、衝撃エネルギーを変化させた時の変化を定量的に判断したので報告する。別に透過法による探傷結果についても報告する。

2. 供試体

CFRP供試体はCF/エポキシとCF/PEEKの2種類製作した、図1に供試体寸法と積層構成をしめす。衝撃位置は中央部左側補強材フランジ部で表面材方向から衝撃荷重を与えた。

3. 超音波探傷方法と結果

ロボット式超音波探傷装置(株式会社クラウクレマ製)の主な仕様を表1に示した。探傷器はマルチチャンネル探傷器(WIND)と高周波探傷器(HIS-2)を並列して備えている、有効探傷範囲は4m×2m×1mであり、この範囲内では位置精度が0.1mmの性能を持っている。各種探傷様式を図2に示す。①局部水浸反射法ではプローブヘッド部にジンバル機能が装備されており通常の実機翼表面の曲率程度は追従可能な設計となっている。②全没水浸反射法は、供試体の曲率が大きかったり、複雑な形状

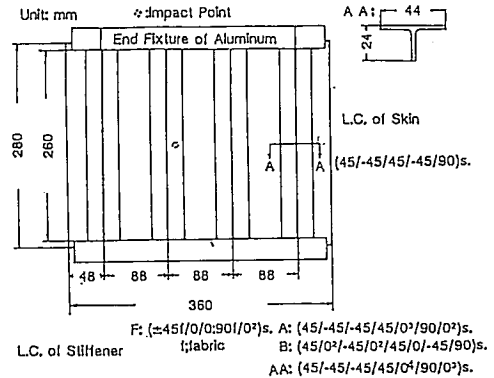


図1 補強平板供試体(T型)の形状・寸法・積層構成

表1 本装置の性能概要

項目	概要
製作業者	日本クラウクレマ・フェルスター株式会社
探傷方法	局部水浸反射法、全没水浸反射法、透過法
探傷器	マルチチャンネル探傷器; WIND, 高周波探傷器; HIS-2
有効探傷範囲	4m×2m×1m
位置精度	0.1mm以下
探傷精度	20mm板厚までの板においてS/N比10dBで3×3mmの探傷発見可能
装置外寸	高さ4.5m, 幅5.3m, 奥行き9m

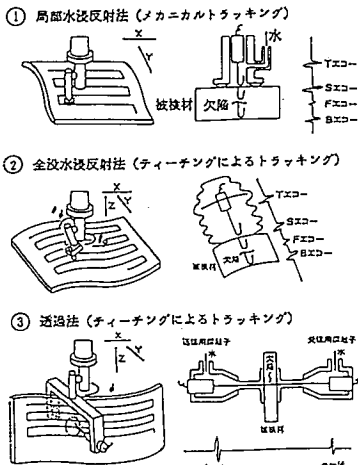


図2 本装置の探傷様式の説明模式図

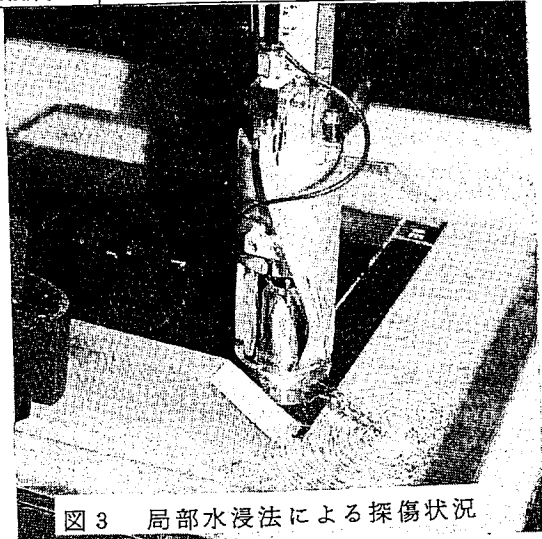


図3 局部水浸法による探傷状況

のため局部水浸反射法が使えない場合に用いる。本装置には大型移動水槽が具備されており、これを移動する事により可能となる。③は透過法であり、②と同様に水槽に供試体を全没させた状態で行う事ができる、図から理解できるように通常もちいられている水ジェットを吹かせた状態で行う透過法も可能な仕様となっている。

本報告では、CFRP補強平板の衝撃後圧縮強度試験(Compression After Impact)における補強材フランジ部への衝撃後の損傷の広がり、厚み方向(深さ)位置を測定するために本装置を使用して反射法による探傷を行った。まず実施した衝撃エネルギーが大きい(8KJ/m)場合、補強材フランジ部の損傷面積が厚板の場合¹⁾と逆に熱可塑樹脂(PEEK)が大となる現象が表れた。この逆の関係がなぜ生じたかを追及するため、上記の値より衝撃エネルギーを低くして、CF/エポキシについては2,3,4KJ/m、CF/PEEKについては4KJ/mで落錘衝撃を行い、本装置により超音波探傷を行った。その状況を図3に示す。使用したプローブは10MHz焦点型(焦点距離20mm)である。

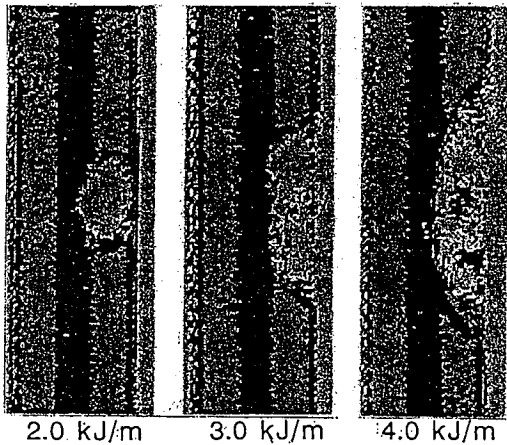


図4 衝撃エネルギーを変えたCF/EPOXY補強平板の探傷結果

CF/エポキシ補強平板フランジ部の探傷結果を図4に示す、左側から順次衝撃エネルギーを増加させた場合の結果である。濃色の部分はT型補強材ウェブ付根部であり、その両側にフランジ部がある。中央右側部に損傷範囲が確認する事ができる。特に4KJ/mでは、円弧状に損傷が広がっているのが明瞭に判断できる。

CF/PEEK補強平板全体の4KJ/mの衝撃損傷を与えた時の探傷結果を図5に示す。図の中央部左側に衝撃による損傷が見られるが、他の部分には欠陥が無いのが確認できる。以上の結果をまとめたのが図6であり、補強平板フランジ部への損傷面積と板厚あたりの衝撃エネルギーとの関係を表している。○印はCF/エポキシの結果であり、衝撃エネルギーの増加と比例して損傷面積が増加しているが、8KJ/mでは衝撃試験装置のタップが貫通している状況となり繊維破断を伴っている。この現象が起きると損傷面積はむしろ小さくなる事が判断した。●印CF/PEEKでは、この範囲(4~8KJ/m)では貫通モードにはなっておらず、上記の逆転現象が生じたものと考えられる。

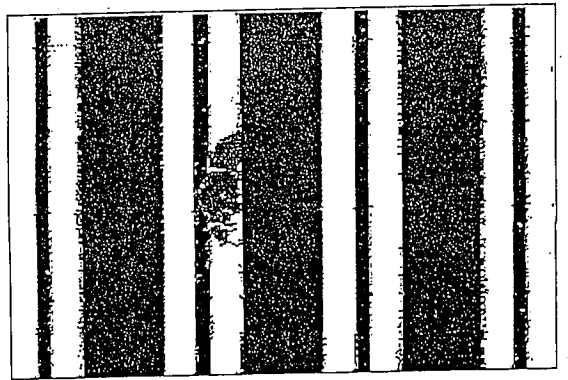


図5 衝撃損傷(4kJ/m)を受けたCF/PEEK補強平板の探傷結果

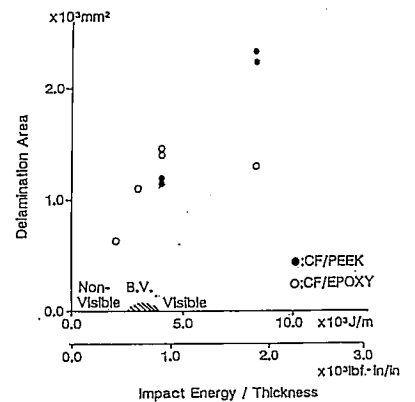


図6 損傷面積と板厚あたりの衝撃エネルギー

『デジタル超音波探傷器』

(非破壊検査技術講習会資料)

平成5年1月

三菱電機(株)鎌倉製作所

松 山 宏

プロローグ (ある検査会社の事務室にて)

この前、検査の現場で使う理想的超音波探傷器の性能・機能を提案して、課長から昨年10月、東京・北の丸公園の科学技術館で開催された「92国際非破壊検査展」を見学する機会を貰った美伊さんは、その後、課長から出張報告即ち見学してきた事を、皆の前で報告することを命じられ、憂鬱になっている。それと言うのも、その展示会で見た新製品のデジタル超音波探傷器はどれも、彼が提案した理想的超音波探傷器のように思え、各メーカーの小間で貰ったカタログには、今まで彼が聞いたこともないような言葉が踊っており、それがどんな事を意味しているかさっぱり分からないことと、中には、その超音波探傷器を使用すれば超音波探傷の専門家が不要であるようなことが書いてあるためである。

指定された報告の日は迫ってくるし、どの様に報告したら良いか迷っている。

美伊さんの直属の上司である英主任は、日頃部下の面倒を良く見ており、美伊さんが、最近困った顔をしているのを見逃すことができない。

英主任 『美伊君、最近少し浮かない顔をしているが何かあったのかね。困っていることがあれば相談に乗るよ。』

美伊さん 『それが―――一寸相談に乗って頂くには―――』

英主任 『なにを遠慮しているんだ。構わないから言って御覧。』

美伊さん 『それでは、思い切って相談しようかな―――。』

英主任 『別に遠慮するこはないだろう。』

こんな会話をして、美伊さんは、自分が困っていることを話したら笑われるのではないかと気にしながら、展示会の見学報告会でどの様に報告したら良いか悩んでいる事を話した。

英主任 『なるほど、君が悩むことは理解できた。しかしこの問題は君独りが悩む問題ではないと思う。私だって、デジタル技術の事は知っているようでも、超音波探傷器との関係をいろいろ質問されれば、やっぱり分からない事だらけだと思うよ。一寸課長とも相談して見よう。』

美伊さん 『お願いします。』

この様な会話の後、英主任は、課長の所へ行き、

英主任 『課長、一寸ご相談にのって頂きたい事があるのですが。』

課長 『何だね。』

英主任 『実は、課長が美伊くんに命じた展示会見学報告会の件ですが、彼が浮かぬ顔をしているので、心配になって尋ねてみたら、この見学報告会が原因だと言う事が分かりました。』

課長 『ほほう、何故だい。彼は、検査の現場で使う超音波探傷器は、この様なものが理想的だと積極的に提案して、見学のために出張することを楽しみにしていた

のではないかね。』

英主任 『その通りです。出張するまでは。しかし、見学して、種々のデジタル超音波探傷器を見たり、説明員の説明を聞いたり、貰ったカタログを読んでいるうちに段々と分からなくなってきたと言っております。』

課長 『何だね、その段々と分からなくなってきたと言うのは。』

英主任 『その点ですが、私も最初理解できなかったものですから、色々と尋ねて見たのですが、要するに、私を含め、デジタル技術に関して、一応知っている積もりだし、超音波探傷器に関しても、現に使っているのも、良く理解していると思っております。しかし、メーカーのカタログを見ると、何か、超音波探傷器が素晴らしい良くなったように書いてあるのだけれど、実際に超音波探傷器を使う側は、デジタル技術を超音波探傷器のどの性能・機能に応用したらメリットがあるのか、デメリットは何か、全然知識を持ち合わせていないことが彼の悩みを聞いているうちに分かって来ました。

この問題は、彼一人の悩みではなく、我々超音波探傷器を現場で使用する者の共通の悩みではないかと――』

課長 『成る程、確かに、この前の問題でも分かったように、我々は必ずしも、現在使っている超音波探傷器の事でも、メーカーが言っていることが、こちらが問題にぶつかって初めて理解できたのだから、デジタル超音波探傷器に関しては、分からない事ばかりかもしれない。この問題は、我々の仕事の現在と将来に大きく関わる問題だから、今回の出張報告会の代わりに、誰か講師を招いて、一度講義をして貰うことを計画しよう。

私は、特に講師になって貰える人を知らないから、部長と相談してみよう。』

課長も英主任の悩みを理解してくれました。そうして、デジタル技術と超音波探傷器の関係を、講義してくれる人を部長に依頼してくれる事を約束した。

部長も、部下の悩みを理解したが、なかなか講師になってくれる人が見つからなかったが、部長の顔で、メーカーの技術者を講師として呼ぶことに成功した。

講義 (超音波探傷器デジタル化の得失について)

このような経緯があって、超音波探傷器のメーカーによるデジタル超音波探傷器に関して、そのメリットとデメリットについての話が始まった。

講師 『今日はこれから暫く時間を頂いて、超音波探傷器デジタル化の得失についてついてお話をします。当社が販売しているデジタル式の超音波探傷器の性能の説明だけですと比較のお話ししやすいのですが、こちらの部長さんからは、この際、超音波探傷器をデジタル化したためのメリットとデメリットを分かりやすく、しかも、

できればメーカーの立場を離れて、中立的な立場で説明して貰いと、かなり難しいご注文を頂いております。

私は、一メーカーの技術者であって、他社の製品の内容を詳しく知っている訳ではありませんので、時には、的はずれの事を申し上げるかも知れませんが、その点お許しをお願いします。また皆様のご理解を深くしていただくためにやや冗長な部分もあるかと思いますが、その点も宜しくお願ひしたいと存じます。

それでは、今日お話ししようと思っていることの大まかな予定を申し上げます。』

講師は、この様に前置きをして、今回の講義の内容を紹介しました。

- 1 アナログとデジタル
- 2 デジタル化のメリットとデメリット
- 3 デジタル技術の超音波探傷器への応用
- 4 非破壊試験の信頼性とデジタル超音波探傷器
- 5 超音波探傷試験の将来とデジタル超音波探傷器
- 6 デジタル超音波探傷器に関する規格
- 7 まとめ

1. アナログとデジタル

今回の話に先立って、この話で用いられるアナログとデジタルと言う言葉の概念に付いて説明します。

『ここで使用するアナログとは、我々が必要とする情報が、時間的に連続している事を言い、デジタルとは、その情報を時間的に切り出して数値化する事を言う。』

従って、我々が聞く音楽はアナログ信号であり、その信号の一部を時間的に切り取ってデジタル化した信号には音の大きさを現す量しか含まれていない。音楽をデジタル化するためには、その音楽に含まれる最も高い音程よりもさらに高い周波数で信号の一部を切り出して数値化しなければならない。この、『時間的に切り出すこと』を『標本化』——samplingと言う。(図1参照)

更に、デジタル化では、標本化した信号を数値化しなければならない。数値化の方法としては、一般に基準とする量(殆どの場合が電圧であるから、今後は、『電圧』で話を進める。)と比較して、その基準電圧より『高かった』——「on」か、『低かった』——「off」で数値化する。このように基準電圧と比較して、「on」又は「off」の信号を出力する回路を電圧比較回路といい、一般には、回路の構成上「on」か「off」の信号だけとなる。この結果、この比較回路を一個だけを用いて比較すれば、「on」か「off」のいずれかであるから、出力信号の種類は2種類である。この比較回路を2個使用した場合の出力信号の種類は4種類となる。

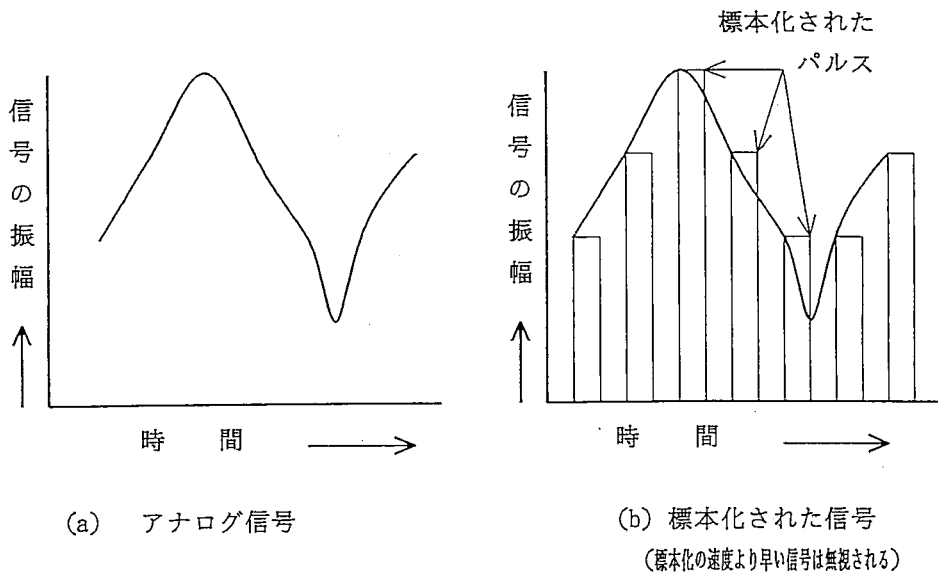


図1 アナログ信号の標本化

このように電圧比較回路の数を増やして行くに従って出力信号の種類は増える。即ち数値化の粗さは細くなる。例えば1ボルトの電圧を、一個の電圧比較回路だけで数値化すれば0.5Vピッチである。これを2個の比較回路で数値化すれば0.25Vピッチ、3個の回路で比較すれば0.125Vピッチというようにピッチは細くなって行くが、このピッチは有限数である。デジタル化した信号を再度アナログ信号に変換した場合には、このピッチが雑音となるので、これを量子化雑音と言っている。

要するにアナログ信号は、それを受け取るセンサーの応答速度が、その信号を受け取る忠実度を支配しているのに対し、その信号をデジタル信号では、標本化の速度と数値化のピッチが信号の忠実度に深く関わっていると言える。

さてデジタル技術は、最近の技術のように思っている人もいるようであるが、その歴史はかなり古い。信号のデジタル化については、次の章で説明するように多くのメリットを持っているので古くから検討されていた。上に説明したように、電圧比較回路の数を増やせば、標本化された信号を、きめ細かくデジタル化することができるが、そのためには、その分だけ電圧比較回路が必要となる。例えば8個のパルスを用いて標本化された1個のパルスをデジタル化すれば、 $2^8 = 256$ のピッチである。即ち256個の電圧比較回路が必要である。

まだトランジスタが発明されるまでは、真空管が用いられていた。1個の電圧比較回路は双3極管1本で構成されていたが、この真空管のヒーターの消費電力は、 $6.3(V) \times 0.3(A)$ であったから、全体では、ヒーターの消費電力だけで約490(W)となり、しかも、その容積は、1800x600の筐体が一杯になるほどであった。また、回路間の配線も長く、処理時間も長かった。

トランジスタが発明されて、消費電力も容積もかなり改善されたが、20年前に設計された自動探傷装置では、上記の筐体に4~5台しか収まらなかった。今日では、大規模集積回路が開発され、消費電力と容積及び応答時間が大幅に改善されたばかりではなく、極めて安い価格で入手できるようになった。

この電子技術の革命的変革がデジタル技術を普及させた。

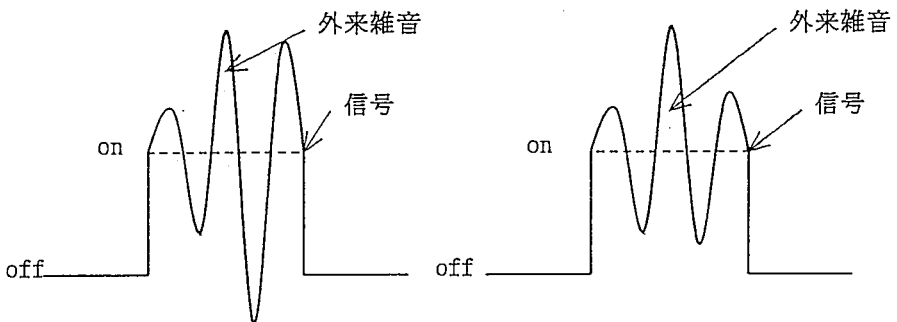
2. デジタル化のメリットとデメリット

今日、デジタル化の時代と言われている。VA機器の世界でも映像信号や音声信号をデジタル化して記録した光ディスクが広く用いられるようになってきている。そこで、超音波探傷器のデジタル化の話の前に、デジタル化のメリットとデメリットについて考えてみたい。

2.1 デジタル化のメリット

2.1.1 外来雑音に強い／外界の環境変化に強い

デジタル化された信号は、全く人工的に作られた信号であって、自然界に存在していない。従って図2のように、デジタル信号の振幅の2倍より大きな雑音が混入しない限り信号の品質は一定である。



(a) 外来雑音によって信号の品質が劣化する

(b) 外来雑音によって信号の品質は劣化しない

図2 デジタル信号と雑音の関係

更に、増幅器や記録・再生回路の歪みにも影響されないことは容易に推察できよう。

アナログ信号が、外来雑音によって信号対雑音比が劣化し、増幅器や記録・再生器の歪みによってその忠実度が劣化して行くのと良い対象である。

このメリットは、単に信号処理の段階でのメリットだけではなく、信号を保存する段階でも大きなメリットである。

3.1.2 数値化が容易である。

我々が、時間的に変化している量を測定しようとするれば、必ず、ある時点で、その信号を切り取らなければならない。すなわち標本化をしなければならない。デジタル化ではこ

の処理をすでに済ませているから、デジタル化された信号を数値化する事は、容易である。

3.1.3 記録・再生（記憶・読みだし）が容易である。

アナログ信号は、その信号を記録しようとするれば、ペンレコーダーやオシログラフで直接記録するか、磁気テープやフィルムに記録する方法が採られる。デジタル信号の場合は、時間的なパルスの有無だけであるから、これをスイッチのonとoffの状態に置き換えることができる。図3には固体の記憶回路に記憶された信号の読み出しに関する概念を示す。

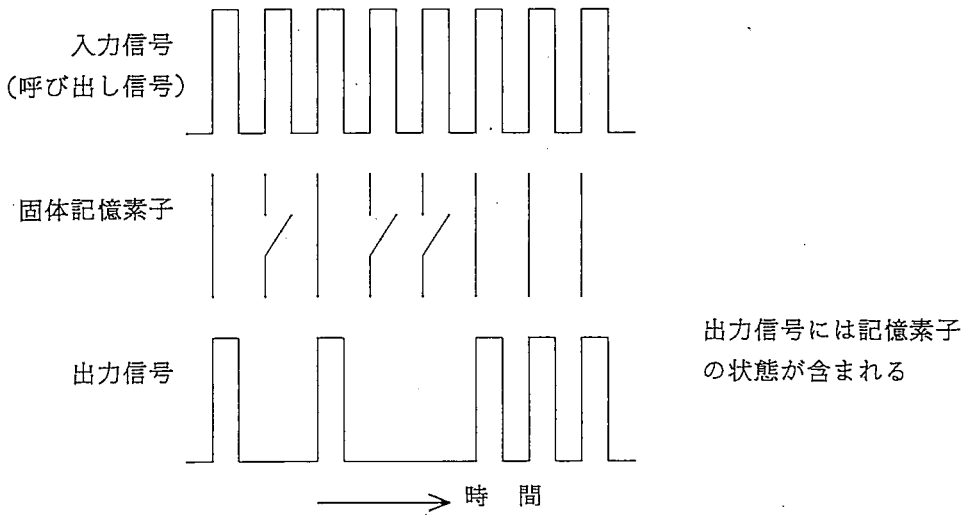


図3 固体記憶素子から記憶読みだし

3.1.4 電子回路を直接制御できる。

我々が測定器などの電子機器を操作する場合には、種々の「つまみ」を操作しなければならない。多くの調整箇所は、接点又は可変抵抗器などである。電気接点は、そのままリレーに置き換えることが可能であることは容易に推察できよう。可変抵抗器などでも、リレーを用い図4に示したように、そのステップを細かくすることによって、連続的に調整できるのと同等に行うことができる。

アナログ信号で制御しようとするれば、サーボモータとセンサーを組み合わせたフィード

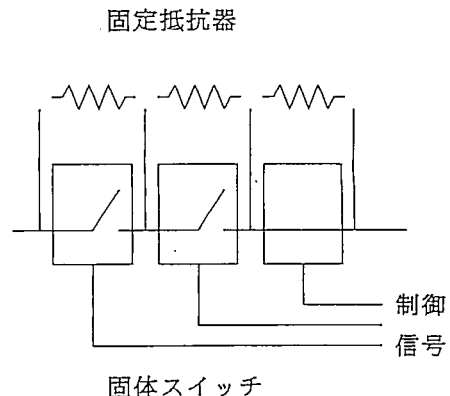


図4 デジタル信号による電子回路の制御

バックループが必要であるところを、デジタル制御では、デジタル信号を固体スイッチに印加するだけで制御できるメリットがあり広く用いられている。

3.1.5 デジタル計算機で処理しやすい

デジタル計算機で処理するためには、アナログ信号をどうしてもデジタル信号に変換しなければならない。信号のデジタル化についてのメリットとして、『外界の環境の変化に強い』事を挙げる人が多いが、計測分野では、採取したデータを処理するためには、信号のデジタル化は必須である。

2.2 デジタル化のデメリット

今まで、デジタル化のメリットについて説明してきたが、デメリットはないのであろうか、このデメリットについて考える。

2.2.1 デジタル化のために極めて多くの電子部品が必要である。

先に、デジタル化のために、数百本の真空管を使用した例を説明したように、デジタル化のために、極めて多くの電子部品が必要である。この結果、回路の故障が多発して、実際に正常に稼働する時間がほとんど得られなかったと言う事も、真空管時代にデジタル技術が普及しなかった理由の一つとして挙げられる。今日では、LSIの開発によって、これらの回路の信頼性は高められたが、その分だけ機能が追加されている例がほとんどであり、現在でも、デジタル化のためには、複雑な回路が必要なのである。

2.2.2 同じアナログ信号の周波数成分を忠実にデジタル化するためには、この周波数成分の数倍の標本か速度が必要である。

連続したアナログ信号で、ある周波数成分を持つ信号を忠実にデジタル信号に変換するためには、理論的にその周波数成分の2倍以上の標本化速度が必要である。仮に5MHzの信号を標本化しようとするれば、その速度は10MHz以上となる。しかし、超音波探傷器の場合は、同じ5MHzであってもその波形はパルスであるから、より高い周波数成分を含んでいる。実用上差支えない程度に標本化するためには、その速度は数十MHzとなる。アナログ式超音波探傷器では10MHz 足らずの周波数成分を扱うだけであるが、デジタル式の超音波探傷器では、数十MHz のパルスを取り扱う装置となるのである。

3. デジタル技術の超音波探傷器への応用

デジタル技術の超音波探傷器への応用は、約20年前に自動探傷装置の分野で始まり、すでに、今日では、アナログ式の超音波探傷装置を見ることは難しくなっている。

では、何故、最近になって、手動探傷用の超音波探傷器にもデジタル化の波が押し寄せてきているのであろうか。ここでは、この理由とデジタル技術の超音波探傷器への応用を手動探傷用の超音波探傷器に限って考えることにする。

メーカーのカタログなどから調べた、手動探傷用の超音波探傷器のデジタル化の理由を次に列挙して見よう。

①探傷条件を電子的に入力できる

予め定めた探傷条件や判定条件を電子的に入力できるので、探傷の知識があまり無くても、超音波探傷器を操作できるし探傷試験もできる。

②試験結果の数字表示

エコー図形の高さや位置を表示器の目盛りの上から読み取らなくても良い。数字で読み取ることができる。読取りの個人差も無くなり、ミスもない。

③探傷条件の数値表示

ゲイン調整器、音速調整器、距離感度補償機能など多くの探傷条件を、つまみの位置からではなく、表示器上の数字で読み取る事ができる。読取りの個人差も無くなり、ミスもない。

④試験結果を電子的に記憶できる。

試験結果を電子的に記憶して、後刻これを読み出して利用することができる。

⑤データの処理ができる。

基本表示の試験データから、断面表示に変換するようにデータ処理ができる。また、試験報告書を自動的に作成することもできる。

⑥液晶パネルを使用できる

観測用のブラウン管は消費電力（高圧電源を含む）が大きく、しかも超音波探傷器のケースの中で占める容積も大きい。信号をデジタル化して液晶パネルを使用することによって小型・軽量の装置とすることができる。

このように、デジタル技術を超音波探傷器に応用することによって、多くのメリットが得られているように思えるが、果たしてこれらのメリットを額面通り受け取って良いものであろうか。

①『探傷条件を電子的に入力できる』について

探傷条件を設定しなければならないメニューとして見るか、数値の入ったデータとして見るかで考え方は異なる。前者は、単にどの様なデータを探傷試験の前に入力しておかなければいけないかを示しているのであり、この様な、メニューが示されれば、条件の入力忘れなどのミスを救うことができる。しかし後者では、超音波探傷器と組み合わせて使用する探触子の使用中に変化する特性、初期特性によって、探傷条件のデータは常に一定ではないので、探傷条件のデータとは一体何であるかを検討してみる必要がある。

更に、探傷試験の信頼性は誰の責任で確保しなければならないかも検討する必要がある。JIS Z 9901『品質システム—設計、開発、製造、据付け、及び付帯サービスにおける品質保証モデル』の4.10.4「検査、測定及び試験の装置」の項の規定では、試験者は、試験に適切な装置を選択し、校正し、必要な性能を持っていることを証明しなければならない。このことは、試験を実施するものが負う責任であって、これを第三者に転嫁することはできないであろう。仮に、探傷条件のデータを試験者以外の者が販売する場合には、試験条件によって生じるかも知れないミスに対する責任を負わなくてはならないであろう。

試験結果の判定も同様であって、判定の結果と、その結果に至った経緯は、試験者の責

任である。

このJIS規格では、このように、試験者の責任で、装置を選定し、試験に適切な条件で試験を実施することを規定しており、これを実施し、責任の負える試験を実施するためには、かなりの知識と技量を持っていることが要求されよう。そこで、この規格のは、4.17教育・訓練では『――とくに定められた業務に従事する者は、要求に応じた適切な教育・訓練、及び／又は経験に基づいて資格認定されなければならない。』規定している。

要するに、探傷試験を行う者は、教育・訓練及び／又は経験を積んだ者であって、それを公に認められた者でなければならないのである。これを、電子的データ入力で置き換えることは不可能である。

②『試験結果の数字表示』について

現在の規格（例えば JIS Z 2344, 3060 など）によれば、探傷試験の結果は、表示器に表示されたエコー（パルス）の高さと、その位置である。

従来のアナログ式超音波探傷器であれば、図5に示したように探傷信号を高周波受信増幅器で増幅し、検波した後、積分回路を通してリップルを低減して観測し易くした後、ビデオ増幅器で増幅し、表示器で表示する。

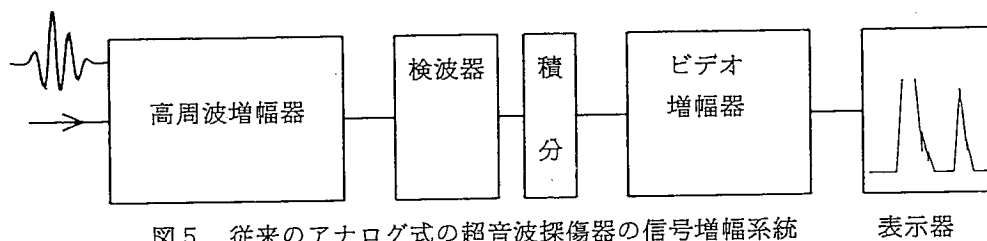


図5 従来のアナログ式の超音波探傷器の信号増幅系統

さて、エコーの高さをデジタル化するために、図5の系統図のどこの部分から信号を取り出すかによって、処理された信号の質が異なる。

最もイージーなのが積分回路の後の信号をデジタル化することである。この信号は、既に検波されて積分回路を通過しているから、元の高周波成分が無くなっており、低い標準化速度でデジタル化することができる。しかし、この場合には、検波器の特性と積分回路の周波数特性は従来のアナログ超音波探傷器と全く同じで、探傷の信頼性に影響を与えるとして、従来から指摘されている積分回路の周波数特性の影響もその儘である。

（アナログ式超音波探傷器では、表示器上の図形を見易くするため、検波器の後ろに、低域ろ波器――積分回路――を接続している。この回路の周波数特性は、数段階に切り替えられるが、超音波探傷に使用するパルスの周波数が、使用する探触子の周波数特性と訴権体の音響特性に支配されるため、それ程厳密に選択されることはない。したがって、エコーの高さを表示器の図形で測定する場合には、このろ波器の使用を禁じている規格や仕様書が多い。

単に、表示器上のエコー高さを数字で表示するために、デジタル化を使用したと言えよ

う。

最近では、検波器を使用しないで、高周波増幅器の出力を直接デジタル化して、信号処理によって、恰も検波・ろ波したような図形を表示器に表す超音波探傷器が現れた。このような超音波探傷器では、標本化速度は、高周波信号の十倍以上必要となるから、かなり高い標本化速度が必要である。この様な超音波探傷器の信号出力は、デジタル化された高周波の儘の波形であるから、後で述べるような、信号処理によって、有益な多種の探傷情報が得られる可能性がある。

しかし、この位置で信号を取り出してデジタル化し、一方表示器上の図形は従来通りに処理すると、表示される数字と、表示器に表示される図形との間に差異が出る場合がある。この差異の発生を防ぐためには、高周波信号を標本化し、デジタル化した信号から、表示器に表示される図形を再生する必要があり、このためのデータ処理を超音波探傷器の中で行わなければならない。このためには相当のデータ処理時間が必要となる。

次にエコーの「最も高い所」、即ちエコーのピークの測定方法について検討する。一般にエコーのピークは、探触子が手で操作されていて、最も高いエコーの振幅が得られた所を通った後で知る知識であるから、過去の振幅が記憶されていない限りこの知識は得られない。また、さらにエコーの振幅が大きくなるのではないかと探触子を少しばかり首振り走査を加えたりしなければならない。このようなことは、全く人手に頼ることであって、超音波探傷器としては、どうしようもないことである。このような所にも、試験技術者は、十分な試験に関する知識と経験が要求される理由がある。

さて、探傷試験では、探傷面の上を手で探触子を走査する。熟練した試験技術者がきずを見逃さないで探触子を走査できる速度は、約150mm/s ぐらいであると言われている。

従来のアナログ式の超音波探傷器では、送信パルスの繰り返し周波数は、測定範囲がそれほど長くない場合は、1～2kHzぐらいであるから、探触子の走査速度を150mm/sであれば、送信パルス1個当たりの探触子の移動距離は、僅かに0.15mmである。従って150mm/sで探触子を走査しても、探触子から提供される探傷情報を表示器上で表示できない事はない。しかし、デジタル式の超音波探傷器で、前に説明したように数値で表示された値と、表示器上の図形との間に差異が生じることを防ごうとすれば、一度デジタル化した信号から表示器上の図形を再生しなければならない。このためには、多量の情報を、きわめて高速のデジタル処理装置が必要であり、ポータブル形の超音波探傷器のなかで処理できるような訳にはいかない。その結果、単位時間当たりに超音波探傷器の中のデータ処理部に入力される情報を制限しなければならなくなる。言い換えれば、パルスの繰り返し周波数を下げなければならなくなる。しかし、パルスの繰り返し周波数を下げても、探触子の走査速度が以前と変わらなければ、送信パルス1個当たりの探触子の移動距離は、長くなる。仮に50Hz(テレビの1秒間当たりのフレーム数と同程度)とし、探触子の走査速度を150mm/s とすれば、3mm/pulseとなり、この走査速度では、きずエコーを正しく検出できない恐れが出てくる。結局のところ信号処理のために、従来通りのパルスの繰り返し周波数が使えなければ走査速度を下げなければならなくなる。即ち、探傷時間が長くなる。

次に、エコー図形の位置の測定である。エコーの位置は、ある基準点から、エコー図形のある点までの時間を測定することである。エコーのある位置の認識方法として、図6の

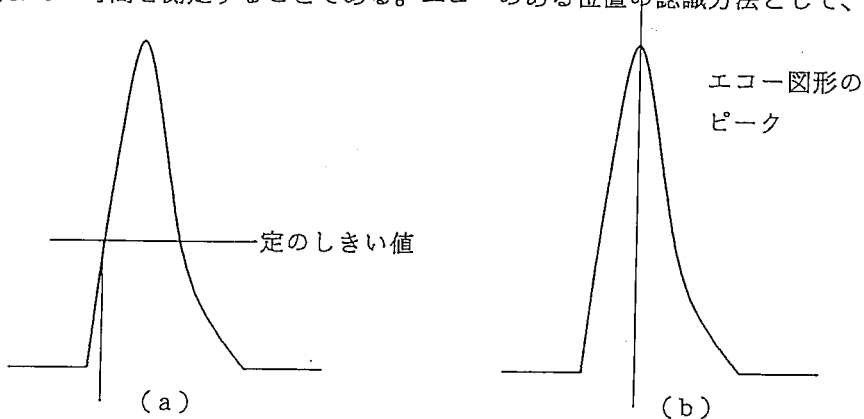


図6 エコーの位置の認識方法

ような方法は広く用いられているようである。

図6 (a) は、予め一定のしきい値を定めておき、エコー図形の前縁が、このしきい値を越えた点を、この図形の位置として認識する方法である。この方法は、従来のアナログ式の超音波探傷器と同じ（このしきい値が、限りなく0レベルに近い）であり、容易に理解できよう、しかしこの方法は、エコー図形の振幅によって、影響される事がある。図6 (b) は、エコー図形のピークを認識した位置を、エコー図形の位置と認識する方法である。この方法は、エコー信号のデジタル処理で初めて可能となる。この方法では、エコー図形の振幅による影響は、図6 (a) の方法よりかなり少ない。

このように、何処をエコー図形の位置と決めたかによって、位置の測定に差がでると言う点については、十分に注意しなければならないことであろう。

しかし、アナログ式の超音波探傷器と比べて、圧倒的なメリットがある。それは、エコーの位置を詳細に読み取ることができると言うことである。ブラウン管を表示器としていれば、エコー図形の位置は、どうしても表示器の目盛りから読み取る他に手段がない。例えば鍛鋼品の超音波探傷で、探傷面から3m先にあるきずエコーの位置を求める際にも、高々100mm未満の表示器の時間軸目盛りで読み取らなければならない。これでは、精度良くきずの位置を標定する事はできない。これに対して、デジタル超音波探傷器では、エコー図形の位置は数値で表わされるので、かなり精度良く測定できる筈である。また、複数のエコーが接近している場合でも、それぞれのエコーを、ゲートで分離できれば、それらのエコーの距離を正確に測定できよう。このような測定は、現在のところでは規格にないが、きずの高さの測定に有効であろう。

③探傷条件を数値表示できる

アナログ式超音波探傷器では、探傷条件は、つまみやダイヤルの位置を読むことによって得られる。これで十分に目的を達している。しかし、探傷条件の記録ミスは、それまで実施した超音波探傷試験を無駄にしてしまうだけでなく、知らないままに、試験成績書に記載して、混乱を招くと言ったようなトラブルの原因となる。従って、探傷条件を数値表示できれば、このようなトラブルが解消されるので試験技術者の負担が軽減される事が期待できよう。

④試験結果を電子的に記憶できる

この機能は、探傷信号をデジタル化したために極めて容易となった。従来方法であれば、データレコーダーを用いて、磁気テープに記録する方法であったが、特に現場で使用する場合などでは、データレコーダーなど機械的に動く部分を持ち、電力の消費量も比較的大きな装置で喜ばれなかった。このため、どうしても、探傷図形を記録したい場合は、試験技術者がスケッチするか、カメラで撮る方法が用いられてきたが、これらの方法も、現場の探傷試験作業の中では繁雑な作業であったため、特殊な要求がある場合を除き、エコー図形の高さと位置（数値）だけを記録するため、超音波探傷法は記録性に乏しいと言われてきた。

更に、試験結果の一部として、使用した探触子の特性に起因するファクター、或いは試験体の音響特性に起因するファクターなども記憶／読み出しができれば、後で述べるように、超音波探傷試験の非破壊試験としての信頼性の向上に大きく貢献する筈である。

デジタル信号は、そのまま固体記憶素子に記憶できる点で、この機能は上に述べたような問題点を克服できる機能であると言えよう。しかし、この機能も、どのように使用するか、社会的なコンセンサスが得られていないために、従来のスケッチや写真の代用以上に使用されていないのが現状である。

⑤データ処理ができる

この機能も、探傷信号をデジタル化したために可能となった機能である。しかし、現在は、探傷結果を画像化する程度の処理にしか使用されていない。この処理についても、特別に要求する公的な規格は存在していない。探傷信号をデジタル化した高周波信号のまま取り出すことができる超音波探傷器であれば、その信号を用いて、後で述べるような情報を得る事ができるであろうが、そのデータをどの様に使用するかのコンセンサスは、現在のところまだない。

⑥液晶パネルが使用できる

従来の超音波探傷器では、表示器としてブラウン管を使用している。ブラウン管は表示器として非常に応答性に優れているため、早い変化速度を持つ現象を表示するために広く使用されてきた。超音波探傷器の場合でも、この表示器の性能を用いてきた。しかし、今日では、これに代わる表示器が開発されてきた。その代表的なものとして、液晶パネルがある。表示器に液晶パネルを用いるとブラウン管が占有していた容積、高圧回路とその周辺の容積が不要となり、装置は小形化される。この例は、テレビの受像機やラップトップパソコンで見られる。しかしこの表示器を超音波探傷器に使用するためには、探傷信号をデジタル化しなければならない。この結果、データ処理に時間を要し、表示する数値と、図形を一致させようとすれば、送信パルスの繰り返し周波数を下げなければならないような例も出てくる。しかし、大きな表示面が得られる事や、カラーによって、データ／図形の視認性が向上するなどのメリットもあるので、その特徴を、どの様に生かすかを考える必要がある。

以上のように、超音波探傷器にデジタル技術を適用すれば、確かに新しい性能や、便利な機能を得ることができるが、その性能測定方法が確立していないことや、実際の探傷試験の現場に必要な機能と、その統一の仕様が存在していないこと、便利と思われる機能をどの様に生かすかについて、具体的な検討が行われていない。

よりデジタル式超音波探傷器が持つ性能や機能をフルに活用するためには、できるだけ早い時期に、デジタル式超音波探傷器の性能評価方法と機能の定義を確定する事が極めて大切な要件となろう。

ここに、今まで述べてきたことを要約する。

超音波探傷器デジタル化のメリットとそれに対するコメント

1. 探傷試験の条件を電子的に入力できる

メリット：予め用意した特定の探傷の条件を電子的に入力できれば、その試験に関しては探傷試験ができるように超音波探傷器に探傷条件がセットされる。

この機能は、超音波探傷試験を限られた専門家から、専門家でない人でも超音波探傷器を扱えるようにするもので、非破壊試験の普及に役立つ。

コメント：とくに直接接触の超音波探傷の場合は、使用時間と共に磨耗などによって探触子の特性の変化があり、また、探触子の特性も、探触子ごとに異なっているので探傷条件の設定で、これらを補正する必要がある。

現在のところ、探傷条件の入力を、どの位の細かさで行うかの合意ができていない。各超音波探傷器が独自に決めているだけである。この点も、今後検討しなければならないであろう。

探傷条件の設定は、探傷技術者の責任範囲であることが規定されており、そのためには、それを行う事ができる知識・技量を有していることを公に認められなければならない。

このようなソフトを用いて、試験の結果に疑問が生じたら、非破壊試験の社会的信用を失墜する原因となる恐れがある。

2. 試験結果の数値表示

2.1 エコーの高さの測定

メリット：表示器の目盛りで読まなくても表示された数字を読めば良いから誰でもできる。また、人為的な誤差が入りにくい。

コメント：まずエコーのピークを求めるのは人の手によるから、試験を実施する人は、探触子の走査に十分熟練していることが必要である。

エコー波形のデジタル化を検波の前で行っているのか、後なのかによって、試験周波数のエコー図形の高さへの影響が異なる。デジタル化を検波の前で行っているものであることが必要である。またエコーのピークの認識方法も種々あるようであるが、それらの測定上の差異がはっきりしていない。この点でも、超音波探傷器を評価する上で情報不足である。

2.2 エコーの位置の測定

メリット：表示器の目盛りで読まなくても表示された数字を読めば良いから誰でもできる。また、人為的な誤差が入りにくい。更に、アナログ式超音波探傷器と異なり、時間軸の分解能（目盛りの細かさ）が高いので、エコーの位置を正確に測定できる。

コメント：エコーの位置の認識には種々の方法がある。その方法によって、エコーの高さが、エコーの位置測定に影響するものもあるので、超音波探傷器を選択する上から、エコー位置の測定方法に関する情報が必要であろう。時間軸の分解能が高いので、アナログ式

の超音波探傷器に比べて、きずや反射源の位置の標定の精度は格段に良くなるから、このメリットを生かした、探傷方法の開発が待たれる。

3. 探傷条件の数値表示

メリット：アナログ式の超音波探傷器では、探傷条件はつまみやダイヤルの位置から読み取らなければならなかった。しかしデジタル式の超音波探傷器では、設定した探傷条件はもとより、対比試験片で校正した結果も探傷条件として数値表示されるものがある。

つまみやダイヤルの値を一々読まなくても良いので読み取りのミスがなくなる。

コメント：探傷条件を直接数値で表示できれば、便利である事は理解できるが、探傷条件は、探傷試験中それほど頻繁に変更する必要はないから、あれば便利と言う程度ではないか。それより、全部の探傷条件を、全面パネルのキーボードから入力できるため、超音波探傷器の小形化に役立っているのではないか。それにしても、探傷条件の入力に、キーボードのキーを何回も押すようであれば、従来の超音波探傷器の方が操作が楽だと思われる。

4. 試験の結果を電子的に記憶できる。

メリット：今まで、超音波探傷試験は、記録性に乏しいと言われてきたが、探傷試験の結果を電子的に記憶できれば、このような問題は克服できる。記憶した結果と探傷条件とで、試験の報告書を自動的に作成することも可能である。

コメント：確かに、記録性は顕著に改善されるが、報告書を求める側が、それだけ詳細なデータを欲しがっているかどうかは、別の問題であろう。

デジタル式超音波探傷器を用いた場合の試験報告書の記載内容と様式を試験の発注/受注の両者間で取り決められると、この性能は生きてくるであろう。

5. データ処理ができる。

メリット：試験の結果を電子的に記憶できるから、それを読み出して、簡単に計算機でデータ処理する事ができる。試験成績書の作成のような事でだけでなく、エコー波形の周波数分析なども容易にできる。ここから新しい探傷方法が芽生えるのではないか。多くの試験結果を編集して、基本表示から断面表示や平面表示を作成することも容易になるであろう。

コメント：まさにその通りである。しかし、上に述べた事と同じであるが、それを誰が要求し、どのような様式で提供しようとしているのだろうか。この辺の整理が必要であろう。

6. 液晶パネルを表示器として使用できる。

メリット：液晶パネルは、ブラウン管のような大きな容積が必要ではなく、また高電圧回

路も不要となるので、超音波探傷器の軽量・小形化に役立つ。しかもカラー表示もできるので、試験結果の表示の視認性も向上する。

コメント：しかし、このためだけにデータ処理をしなければならない。デジタル化超音波探傷器の場合には、表示器の探傷図形は単なるモニターであるから、この表示のためのデータ処理の時間のために、パルス繰り返し周波数を下げなければならないと言うのは本末転倒ではないか。探傷図形の表示は今まで通りブラウン管を用い、探傷条件や試験結果などはデジタル表示器に表示するような案も考えられるのではないか。

以上は、ごく一般論を述べたものであり、既に販売されているデジタル式超音波探傷器でも、ここで述べたデメリットを一部ではあるが克服しているものもある。

4. 非破壊試験の信頼性とデジタル式超音波探傷器

今までは、デジタル式超音波探傷器の持つ性能を中心に考えてきた。ここでは、非破壊試験の信頼性の向上とデジタル式超音波探傷器の機能について考える。

非破壊試験の信頼性の要素には、色々な言い方がろうが、ここでは、この信頼性は、欠陥検出能、再現性及び履歴追跡性として考える。

欠陥検出能は、基本表示で提供される情報だけを用いている現在の超音波探傷試験においては、超音波探傷器がデジタル式であっても、アナログ式であっても差異が存在することはない。この能力は、探触子の性能を除けば、超音波探傷器の送信パルスの振幅とパルスが含む周波数成分及び受信器の等価入力雑音電圧で決定してしまうからである。

再現性は、良く知られているように、使用する超音波パルスの周波数及び波形それから探触子の有効振動子寸法が同じであれば、試験の結果の再現性は維持できる。しかし、現実には、超音波探傷試験は、再現性に欠けると、しばしば指摘される。その理由は、上の3つの要素が、具体的に管理されていないためである。

現在使用されているアナログ式の超音波探傷器では、使用した超音波パルスの周波数も波形も見ることができない。殆どの試験の規格や仕様書には、使用する超音波パルスの周波数が指定されているが、これらは使用する探触子に一方的に支配されていて、人為的に管理できない。しかもこれは試験体の音響特性によっても支配されている。更に波形も同じ要素によって支配されている。それにも拘らず、現場での試験の際に、周波数も波形も観察していないし、記録にも取られていない。これでは再現性が得られないと言われても仕方がない。歴史的には、再現性を維持する方法として、同じメーカーの超音波探傷器と特定の探触子の組み合わせを指定する方法が採られて来たが、今日のように、国際的な物流が盛んな現状では、このような指定は非現実的と言わなければならない。

また、DGS線図を用いて等価のきず直径を求める方法もあるが、この方法が計算の結果と良く一致するためには、使用する探触子の周波数帯域幅が狭くなくてはならない。

そこで期待されるのが、デジタル式超音波探傷器が持つ電子的記憶機能であり、この記憶の中に、必ず使用したパルスの送信波形（超音波の）とエコーの波形を時間目盛りと共に

に入れる事である。このデータがあれば、規格や仕様書の指定に基づいた試験を実施した事が証明できるし、また同じ周波数で、同じ波形のパルスで試験を行う事もでき、再現性は著しく向上するであろう。

再現性を支配するもう一つの要素である探触子の有効振動子寸法は、やはり探触子を調べなければならないのであろうか。現在では、垂直探触子に限ってではあるが、15mmの底面エコーの波形を観測できれば、150mmのところの平底穴からのエコーの波形を推定できる理論が確立されようとしている。この事は、15mmの底面エコーの波形から、その探触子の距離振幅特性を推定できる事であり、その近距離音場限界距離から振動子の有効直径を求める事ができるのである。

このように、試験に使用する超音波パルスの超音波波形を正確に記憶・読み出しができれば、超音波探傷試験の信頼性に顕著に貢献する筈である。

履歴追跡性は、試験の結果が得られた過程を逆に辿れる性能である。この性能が確立していれば、仮に結果が疑わしいような場合でも、直ちにその問題点を探り出すことができ、是正措置がとれる。また、これらの性能が備わっていれば、定期点検や保守検査のように長い時間を経過した後に繰り返し実施する試験で、同じ条件での試験が極めて容易であり、しかも過去のデータとの照合もでき、エコーの波形の僅かな変化も発見できるようになる。

デジタル式超音波探傷器には、探傷結果をデジタル化し電子的に記憶できる機能が備えられているから、この機能を試験結果の信頼性の向上に利用しようとするれば、この超音波探傷器の価値は多大なものと言えよう。

5. 超音波探傷試験の将来とデジタル式超音波探傷器

今までは、デジタル式超音波探傷器を、主に探傷結果を基本表示で表示する超音波探傷器として考えてきた。しかし現在の超音波探傷試験の研究は、次第に波形そのもの（周波数分析を含む）に目が向けられている。その結果下に示したような幾つかの研究成果が発表されている。

- ①送信パルスの波形ときずエコーの波形を相関処理する事によって、きずの性状を推定できるようになった。
- ②送信パルスの波形ときずエコーの波形を相関処理する事によって、結晶粒界からのエコーの影響を低減できるようになった。
- ③送信パルスの波形ときずエコーの波形を相関処理する事によって、探傷の感度を数十デシベル向上できるようになった。
- ④送信パルスの波形ときずのある部分の底面エコーを相関処理する事によって、不感帯に隠れているきずの存在を検出できるようになった。
- ⑤送信パルスの周波数と底面エコーの周波数を相関処理する事によって、試験体の減衰特性に代わる音響特性を把握できるようになった。

これらの研究は、まだ一般的に応用できる段階に至っていない。しかし、その原因の一

つと思われるものは、今まで、ここで議論しているようなデジタル式超音波探傷器が存在していなかった事である。

今までの研究は、パルス発生装置、受信器、A/D変換器、記録装置、オシロスコープそれにデジタル計算機などの独立した機器類を組み合わせたものであって、研究室の机一杯に展開しなければならなかった。デジタル式超音波探傷器は、これらの機器類をコンパクトに纏めて現場へも持ち運べるようにした装置とも言える。このような意味で、デジタル式超音波探傷器は、非破壊試験の試験機材として使用できるとともに、研究機材としても有用な筈である。

6. デジタル式超音波探傷器と規格

わが国の工業規格の中で、デジタル式超音波探傷器に関する規定があるのは、来春公布が予定されているJIS 2344-1992「パルス反射法による金属材料の超音波探傷試験方法通則」の8.9.1「エコー高さおよび一の測定」に規定されているだけである。

- (1) エコーの高さは、探傷図形上のエコーのうち、指定されたエコーの最も高い部分を、表示器の縦軸目盛で読み取る。ただし、指定されたエコーの最も高い部分を、デジタル表示器上に数値で表示する機能をもつ超音波探傷器では、その表示器の表示値を用いてもよい。
- (2) エコーの位置は、探傷図形上のエコーのうち、指定されたエコーの立上がり部分を、表示器の横軸目盛で読み取る。指定されたエコーの立上がり部分又は最も高い部分の位置をデジタル表示器上に数値で表示する機能をもつ超音波探傷器では、その表示器の表示値を用いてもよい。

従来は、アナログ式超音波探傷器の表示器の目盛からエコーの高さや位置を読み取る方法を規定していたが、今度の改正で、従来の方法の他に、デジタル式超音波探傷器での測定方法も規定された。しかしこの規定の解説によれば、デジタル式超音波探傷器に関するこれらのデータの測定能力が未知である事もあって、デジタル式超音波探傷器の機種間には機差が存在する事を前提として、従来の方法で読み取った値とのデータ混用だけではなく、デジタル式超音波探傷器であっても、異なる機種間でのデータの混用を避ける事が望ましいとしている。

デジタル式超音波探傷器は、今までのアナログ式の超音波探傷器と比較して多くの特長を持っていることは確かであるが、またデメリットもある事を認識しなければならない。

しかし、今後の技術的趨勢としてデジタル式超音波探傷器は益々改良され使いやすくなるものとなる。しかし、現時点で、デジタル式超音波探傷器の性能評価方法とこの超音波探傷器から提供される試験情報の使用方法に関する社会的コンセンサスを確立しておかなければ、機差を縮減し、再現性の向上させるという超音波探傷器の本来的性能改善の目標が見失われ、いたずらに付随的機能開発の競争となる恐れさえ感じる。

7. まとめ — — — 検査会社の事務室にて

ある、メーカーの技術者のデジタル式超音波探傷器の説明が終わりました。

この

さて、検査会社の事務室での聴講者の感想です。

課長『どうだい、デジタル式超音波探傷器の事は、大部理解できたかね。』

主任『実は、メーカーの技術者の講義と言うので、そのメーカーの製品のPRに近い説明と思っていたのです。ですから、講義ではデジタル式超音波探傷器の良い事だけを沢山教えてくれると思っていたところ、この超音波探傷器の持つメリットだけではなくデメリットについても説明してくれました。このためデジタル式超音波探傷器の性能のキーポイントをより良く理解できたと思います。』

英さん『どんなに優れた機能を持つ超音波探傷器が開発されても、試験を行い、その結果を判断するのは、試験技術者の責任だと言う事を、超音波探傷器を製造する立場の人から聞くことができ、大変心強かった。

もし、講師が、「我々の究極の設計目標は、熟練した試験技術者を不要にする事だ。」と言われたら大変なショックを感じただろうと思います。』

美伊さん『今日のような話は、展示場の説明員は、誰もしてくれなかった。この講義で、私が最も印象に残ったのは、これだけデジタル式超音波探傷器が販売されているのに、その性能を測定したり評価するための共通の基準がないと言う事と、送信波形とエコーの波形を記憶できれば、新しい探傷方法の展開が期待できると言う事でした。大変難しい事だとは思いますが、今後は、この方面にも関心を持つ必要があると感じました。』

課長『私は、定期点検や保守点検には、デジタル式超音波探傷器は、非常に適していると思う。当社として、新しい報告書の様式を決めて、お客様へ説明する事を考えたい。

それから、我々検査会社は、今まで多くの試験を行ってきており、試験の条件に関しても、多くのノウハウを持っている。これを、この超音波探傷器に搭載して試験内容の差別化を計りたい。その様な事のできるデジタル式超音波探傷器が販売されているか調査して見る必要があるようだ。』

主任『そうですね。私は、今のところ、直ぐには提案できないのですが、我々は多くの試験実績を持っている訳ですから、当社の特色を出せるソフトが考えられるかも知れません。

手動の超音波探傷では、確かに探触子を走査するのは、試験技術者の仕事であり責任である事は理解できるが、これだけ超音波探傷器の方が進歩しているのに、探触子の位置の記録は依然として人手に頼っている点が、何か大変なアンバランスを感じます。この辺は、超音波探傷器メーカーの仕事か、我々の仕事か分かり

ませんが、デジタル式超音波探傷器が取り込めるような探触子の位置情報を出力するジグの開発の必要がありそうですね。』

美伊さん『その点なのですが、現在の規格、例えばJIS Z 3060では、探触子で走査する方法として、前後走査に、若干の首振り走査を加えて、きずエコーのピークを求めように規定されているので、なかなか主任の言うようなジグを開発することは難しいのでは――。』

主任『その話に関連すると思うのだけれど、昨年の日本非破壊検査協会の第2分科会の資料を読んでいたら、5MHzのシャープな超音波のビームで探傷するより、2MHzのブロードバンドの探触子を用いた方がきずの検出能力が高まると言う研究発表が載っていた。要するに再現性のある試験結果を沢山とれば、より合理的探傷方法が研究開発されると思う。』

デジタル式超音波探傷器の講義の感想を話し合っている内に、関連するいろいろなテーマに広がって行きました。

主任『我々は、なかなかこのように纏まった講義を聞く機会がないので、今日は自分なりに多くの知識が得られたと思います。今後とも、このような講座を開いて頂ければ我々にとって大変嬉しい事だと思います。』

課長『それは良く分かるが――講師になってくれる人を探すのは大変だからな。部長も我々の希望を引き受けてくれた後で、大部苦勞されたようだから。とにかく、また部長に頼んでおくことにしよう。

それでは本日はどうもご苦勞さん。今日の講義の内容で、もう一度、君達が考える超音波探傷器の理想像を報告して下さい。』

おわり

高性能 2MHz の斜角探触子について

(株) 検査技術研究所 林 栄男

1. はじめに

現在、溶接部の斜角探傷は周波数が 5MHz、振動子寸法が 10×10mm の探触子が主流である。しかし 5MHz では指向性が鋭いため、傷の形状、方向で見落とす可能性があるといわれている。この点は周波数を低くすれば良いのであるが、不感帯が多い、分解能が悪いなどの問題があるためあまり使用されていないのが現状である。そこで今回、周波数が 2MHz、振動子寸法が 10×10mm の斜角探触子で性能が良いもののできたので 5MHz と比較しながら紹介いたします。

2. 諸性能

今回開発した探触子の性能を JIS Z 3060 (1988) の基準に照らし合わせてみたのが表 1～表 3 になる。

探触子 : 2C10×10A45
 2C10×10A60
 2C10×10A70

装置 : FD-670 (三菱電気)
 AD3211 (エー. アンド. デー)

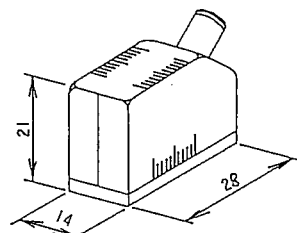


図 1. 探触子の外観

表 1 2C10×10A45 の性能

	接近限界長さ	A1 感度	A2 感度	不感帯	遠距離分解能
JIS Z 3060	15mm 以内	40dB 以上	40dB 以上	25mm 以下	5mm 以下
FD-670	11mm	74dB	60dB	3mm	5mm
AD3211	11mm	66dB	52dB	3mm	5mm

表 2 2C10×10A60 の性能

	接近限界長さ	A1 感度	A2 感度	不感帯	遠距離分解能
JIS Z 3060	18mm 以内	40dB 以上	20dB 以上	25mm 以下	5mm 以下
FD-670	13mm	73dB	43dB	13mm	5mm
AD3211	13mm	65	33dB	15mm	5mm

表 3 2C10×10A70 の性能

	接近限界長さ	A1 感度	A2 感度	不感帯	遠距離分解能
JIS Z 3060	18mm 以内	40dB 以上	20dB 以上	25mm 以下	5mm 以下
FD-670	14mm	70dB	36dB	13mm	5mm
AD3211	14mm	62dB	28dB	13mm	5mm

反射源STB-A1のR100による各探触子のAC波形は写真1～写真3のようになり、3波法で周波数を測定するとどの探触子も2.1MHzとなる。

0.5 μ sec/div.

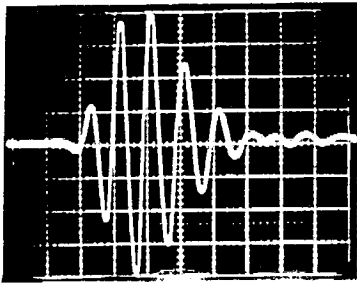


写真1. 2C10x10A45

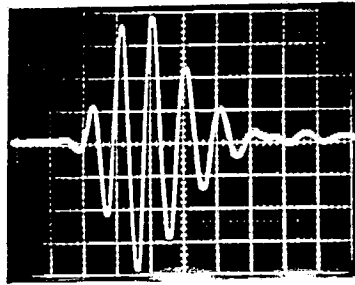


写真2. 2C10x10A60

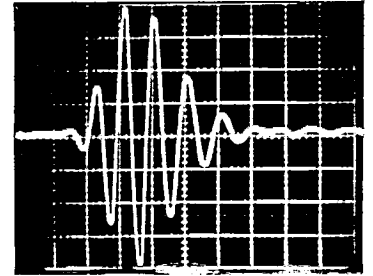


写真3. 2C10x10A70

3. 現状の探触子との比較

現在弊社で販売している探触子との比較をJIS Z 3060(1988)の探傷感度で比較したのが写真4～写真16になる。

現探触子 :	2Z10x10A45	新探触子 :	2C10x10A45
	2Z10x10A60		2C10x10A60
	2Z10x10A70		2C10x10A70

装置 : FD-670 → 写真4～写真9
 AD3211 → 写真10～写真15

試験片 : STB-A2 → ϕ 4x4

測定範囲 : 125mm

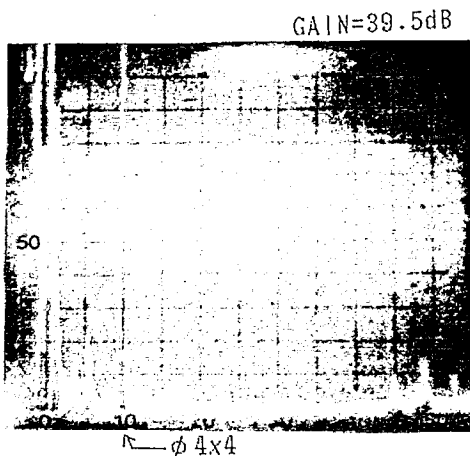


写真4. 2Z10x10A45

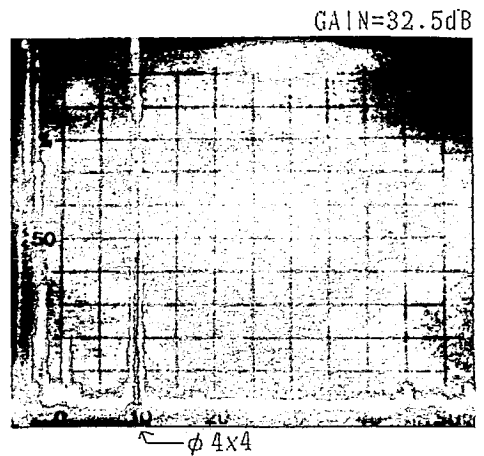
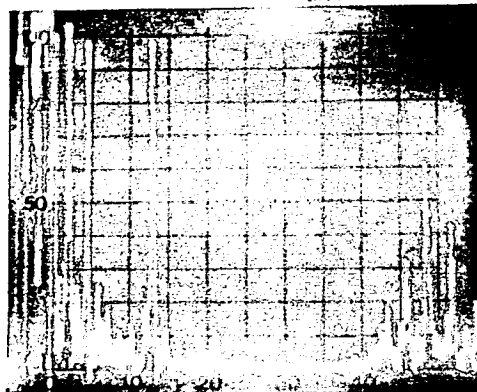


写真5. 2C10x10A45

GAIN=50.5dB



φ 4x4

写真6. 2Z10x10A60

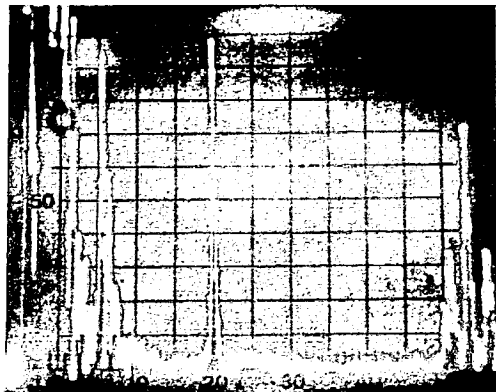
GAIN=42.0dB



φ 4x4

写真7. 2C10x10A60

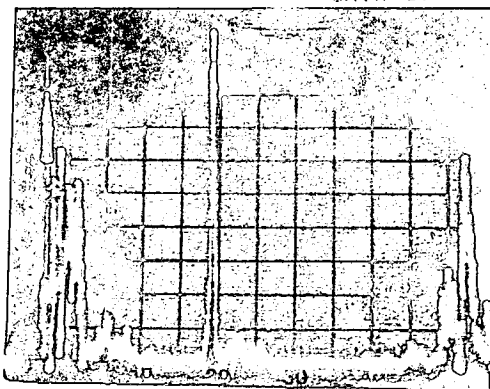
GAIN=52.5dB



φ 4x4

写真8. 2Z10x10A70

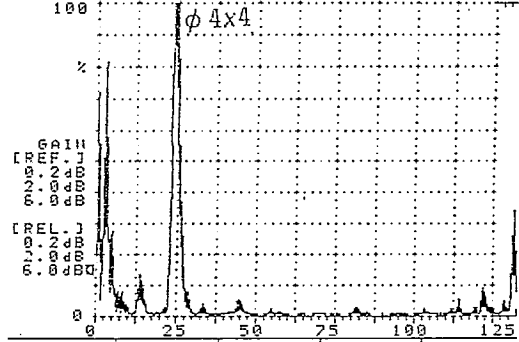
GAIN=46.0dB



φ 4x4

写真9. 2C10x10A70

GAIN=41.6dB REJ= 9% UEL= 3240 m/s 125.0mm



φ 4x4

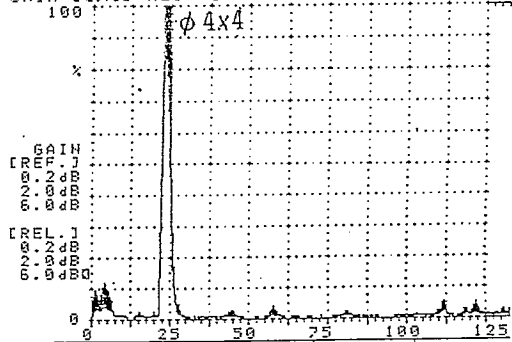
[GAIN]
MIN. 24.0dB
MAX. 48.0dB

[REL.]
MIN. 24.0dB
MAX. 48.0dB

[REF.]	[REL.]
35.6dB	+ 5.0dB

写真10. 2Z10x10A45

GAIN=38.4dB REJ= 9% UEL= 3240 m/s 125.0mm



φ 4x4

[GAIN]
MIN. 24.0dB
MAX. 48.0dB

[REL.]
MIN. 24.0dB
MAX. 48.0dB

[REF.]	[REL.]
32.4dB	+ 5.0dB

写真11. 2C10x10A45

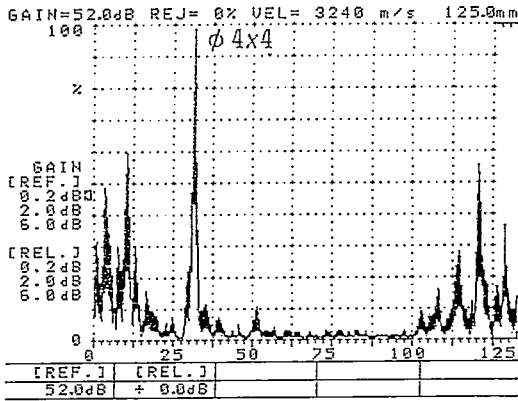


写真12. 2Z10×10A60

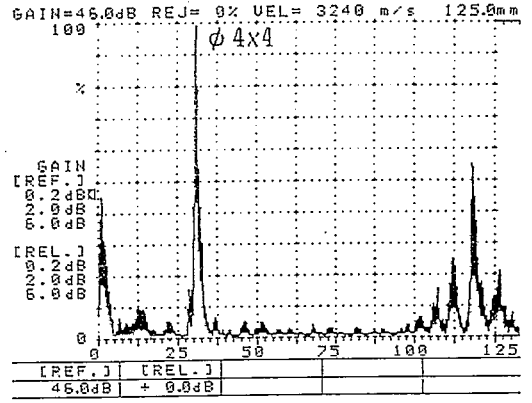


写真13. 2C10×10A60

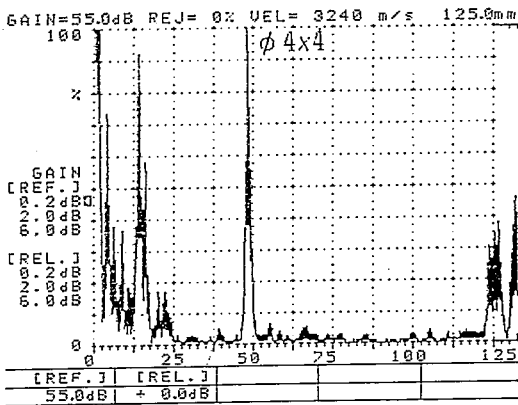


写真14. 2Z10×10A70

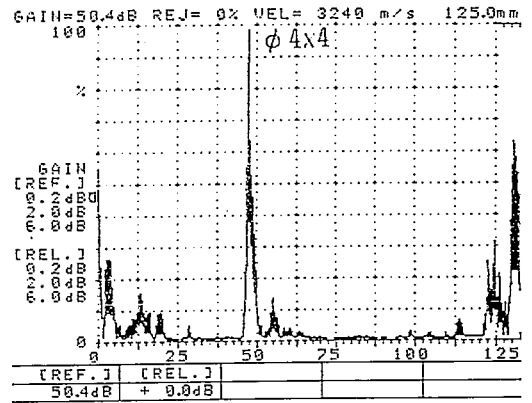


写真15. 2C10×10A70

4. 探傷結果 (5MHzとの比較)

実際に2MHzの探触子を使用し、形状の違う傷からの反射がどのようになるかを5MHzの探触子と比較したデータを表4に示す。また探触子をどのくらい傾けたらエコーが半分になるかを表5に示す。

探触子 : 2C10×10A70
5C10×10A70

装置 : FD-670

試験体 : 図2, 図3 (探傷面の粗さはほぼSTBと同等)

探傷感度 : STB-A2のφ4×4を0.5Sで100%

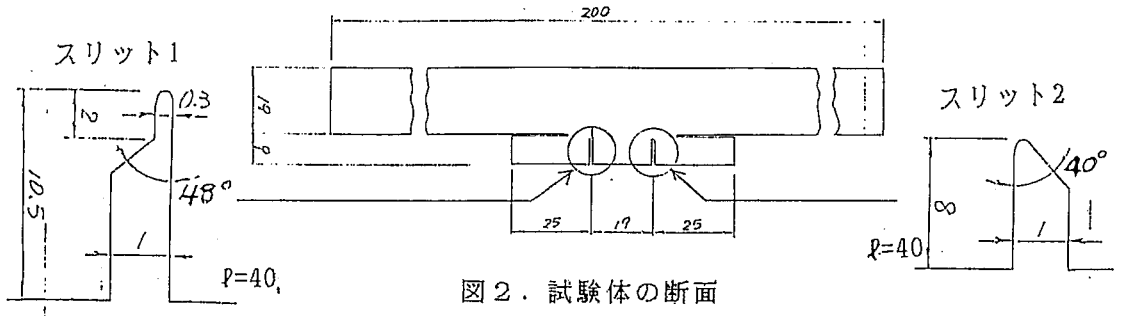


図2. 試験体の断面



図3. 試験体の断面

表4. 各種傷の反射 (基準値との差)

	スリット1	スリット2	φ1横穴
2MHz	+3.0dB	-3.5dB	+3.0dB
5MHz	-1.0dB	-12.0dB	+2.0dB

表5. エコーの半減角

	スリット1	スリット2	φ1横穴
2MHz	5°	5°	5°
5MHz	2°	2°	2°

5. まとめ

- ①写真4～写真15により現状の探触子に比べ不感帯を小さくし、なおかつ感度を上げることが可能になったことにより5MHzと同じような探傷が2MHzでもできるのではないかと。
- ②表4よりφ1の横穴では2MHzも5MHzもそれほど差は無かったが、40度傾いたスリット2では5MHzで-12dBとほぼL線上であったのに対して2MHzではM線とH線のほぼ中間までエコーが上がった。このことにより2MHzは傷の形状の影響を受けにくいことがわかる。
- ③表5より傷が溶接線上に対して傾いている場合、または探触子の操作を傾いて行なった場合5MHzのほうが影響を大きく受けやすい。

以上のことより傷の見落としを無くし、なおかつ傷の大きさを正しく評価するうえでも今後2MHzの斜角探触子をもっと多く使用することを望みます。

6. 今後の課題

まだまだ5MHzと比べると不感帯は多く、分解能は悪いのでくさびの形状、ダンピングの強さなどを改良することにより5MHzの探触子により近いものを開発していきたい。

2MHz斜角探触子による溶接部の探傷

千葉県機械金属試験場 立川 克美

1. まえがき

鋼溶接部の超音波探傷において、その多くは5MHzの狭帯域斜角探触子で行われているのが現状である。これには5MHzのパルス波形のエコーの立ち上がりが見やすいことが最大の要因である。しかし、その反面5MHzの探触子では指向性が鋭く、欠陥の見落としが起きることも指摘されており、2MHzの探触子との併用も考慮すべきことといえる。

従来から2MHz10×10の探触子は低感度であることやクサビ内エコーや不感帯、エコーの立ち上がりなどの問題点から使用が敬遠されてきたのが実状である。

本実験ではジャパンプローブ(株)並びに検査技術研究所(株)より提供された2MHz(14×14)の高ダンピング斜角探触子を用いて、木村超音波研究所木村勝美氏の助言をいただき溶接継手の欠陥評価を行い、狭帯域の5MHz及び2MHz探触子による欠陥検出結果と比較した。

2. 実験方法

2.1 実験の概要

本実験は国内探触子メーカー2社、ジャパンプローブ(株) (以下 JP) と検査技術研究所(株) (以下 KGK) の高ダンピング2MHz斜角探触子 (公称屈折角70度) を用い、広帯域の受信に対応した探傷器 (クラウトクレマー (株) 製USIP12, 三菱電機 (株) 製FD670) との組み合わせで溶接部の溶込み不良を検出し直射法及び1回反射法により欠陥指示長さと同最大エコー高さ並びに欠陥位置の測定を行った。

なお、狭帯域の5MHzと2MHzの探触子はUSIP11により測定を行った。また実験に用いた溶接試験片の一部には5MHzによる過去の探傷データから指示長さや欠陥位置測定においてバラツキの多かった試験片も含んでいる。

2.2 装置

実験に用いた探傷器及び探触子を表1及び表2に示す。

USIP12及びFD670は広帯域受信の探傷器でUSIP11は狭帯域受信の探傷器である。

2MHz高ダンピング型探触子では感度を高めるために振動子寸法を14×14としている。また、2MHz狭帯域型においても振動子寸法14×14の探触子を用いて比較した。

写真1にSTB-A1の100Rからの反射波形を示す。

2.3 試験片

実験に用いた試験片は19mm板厚のSM400材で、継手形状は図1に示す3種類であり、各試験片には溶込み不良が内在している。

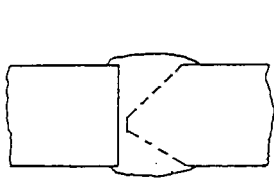
表1 探傷装置

受信帯域	型式	メーカー
広帯域受信	USIP-12	クラウトクレマ(株)
広帯域受信	FD-670	三菱電機(株)
狭帯域受信	USIP-11	クラウトクレマ(株)

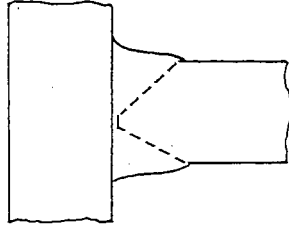
表2 使用探触子

種類	型式・ロット番号	公称周波数	STB屈折角	メーカー
高ダンピング型	B2C14×14A70 XA 2292	2MHz *(1.9)	67.8	KGK
"	B2C14×14A70 AW 145	2MHz *(2.2)	70.1	JP
"	B2C14×14A70 AW 153	2MHz *(2.2)	69.1	JP
狭帯域	5Z10×10A70 MA 6837	5MHz	70.3	KGK
"	5Z10×10A70 AS 5276	5MHz	70.0	JP
"	2Z10×10A70 XA 3033	2MHz	70.1	KGK
"	2C14×14A70 JS 2592	2MHz	69.9	JP

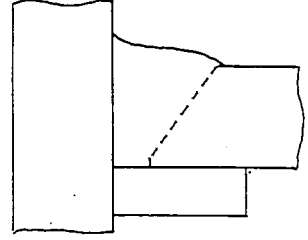
* 中心周波数



突合せ継手, K開先
試験体 No.1, No.2



T継手, K開先
試験体 No.3

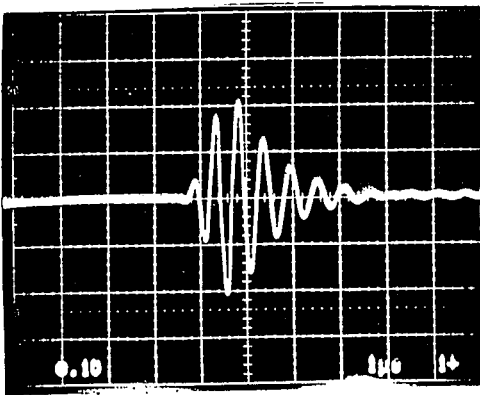


T継手, 裏あて金付き
試験体 No.4

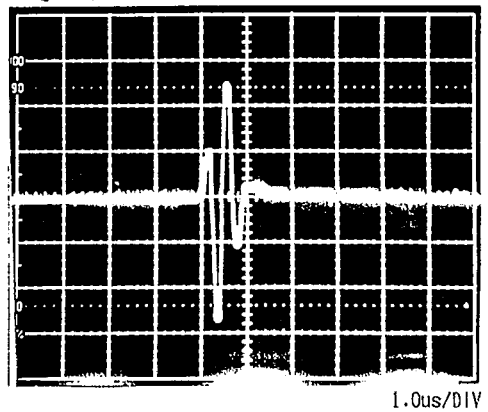
図1 試験体 (公称板厚1.9mm)

写真1 A1 100R反射波形

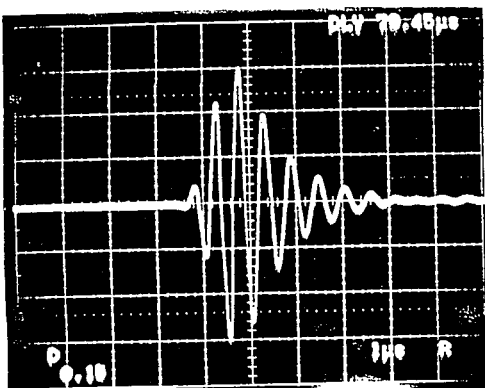
2C14×14A70



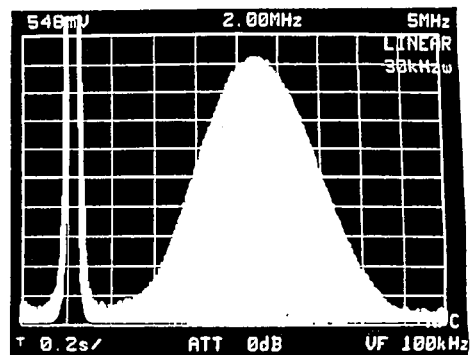
B2C14×14A70



2Z10×10A70



B2C14×14A70の周波数分析



3. 結果

3.1 欠陥の測定

試験片No.1～No.4までの探傷結果について、欠陥指示長さや欠陥断面位置を図2～図9に示す。

今回用いた各試験片の溶込み不良はいずれもかなり顕著な欠陥で、欠陥エコー高さは5MHzの探触子ではH線に達していないものがあるが、2MHzではH線をはるかに越えるものばかりである。

試験片No.1について、直射法による指示長さは高ダンピング型(B2C14×14A70)と狭帯域共にほぼ同じ値で検出された。

高ダンピング型と狭帯域2MHzによる指示長さは1回反射法と直射法では近似した値であるが、狭帯域5MHzではかなり短く測定された。

エコー高さでみると狭帯域5MHzに比べ高ダンピング型では欠陥エコー高さが6～8dB高く検出された。しかし、狭帯域2MHz(14×14)のエコー高さは高ダンピング型とほぼ同じであった。

断面位置について、高ダンピング型の探触子は2MHzであつても遠距離分解能が良く、各探触子ともかなり良い位置にまとまっているが、狭帯域(14×14)2MHzではやや離れた位置に検出された。

試験片No.2でもNo.1と同様な傾向を示しているが、狭帯域5MHzでは1回反射法の欠陥指示長さが4mmで、建築学会規準では指示長さが5mm以下で欠陥と判定されないきずとなる。

試験片No.3も指示長さ、欠陥エコー高さ、断面位置ともにNo.1と同様な結果であつた。

試験片No.4はレ形開先のルート溶込み不良で、直射法だけの探傷で全探触子とも指示長さ及び断面位置にほとんど違いは無いが、エコー高さにおいて狭帯域5MHzと高ダンピング型では6dBの差が生じた。

3.2 高ダンピング型探触子のパルス波形

高ダンピング型2MHzによるSTB-A2、φ4×4のエコーを写真2、写真3に示す。

欠陥の直射法によるエコーを写真4に、1回反射法によるエコーを写真5に示す。

クサビ内エコーはかなり抑えられているが、それでもビーム路程30mmまではL線にかかるクサビ内エコーが発生する。なお、写真6の探傷面粗さは $R_{max}14\mu m$ 、写真7の面粗さは $R_{max}64\mu m$ でクサビ内エコーに影響を与えている。

しかしクサビ内エコーを除けば、高ダンピング型探触子と広帯域受信に対応した探傷器では実際の欠陥検出とエコーの読み取りにおいて狭帯域5MHzと同様に読み取りが可能である。

また、狭帯域の2C14×14はクサビ内エコーが多いが高ダンピング型に比べ感度余裕値が大きい。

4. まとめ

高ダンピング型斜角探触子 (2 MHz 14 × 14) により溶接欠陥の探傷を行い欠陥指示長さ, エコー高さ, 断面位置について狭帯域探触子との比較を行った。

1. 高ダンピング型では直射法と1回反射法による指示長さに差が少ないが, 狭帯域5 MHz 小さくなることある。
2. 高ダンピング型では欠陥位置の測定に狭帯域5 MHz と遜色ない測定結果が得られた。
3. 狭帯域型2 MHz に比べ高ダンピング型2 MHz のクサビ内エコーは低く抑えられており, 欠陥エコーとの区別は容易に行える。

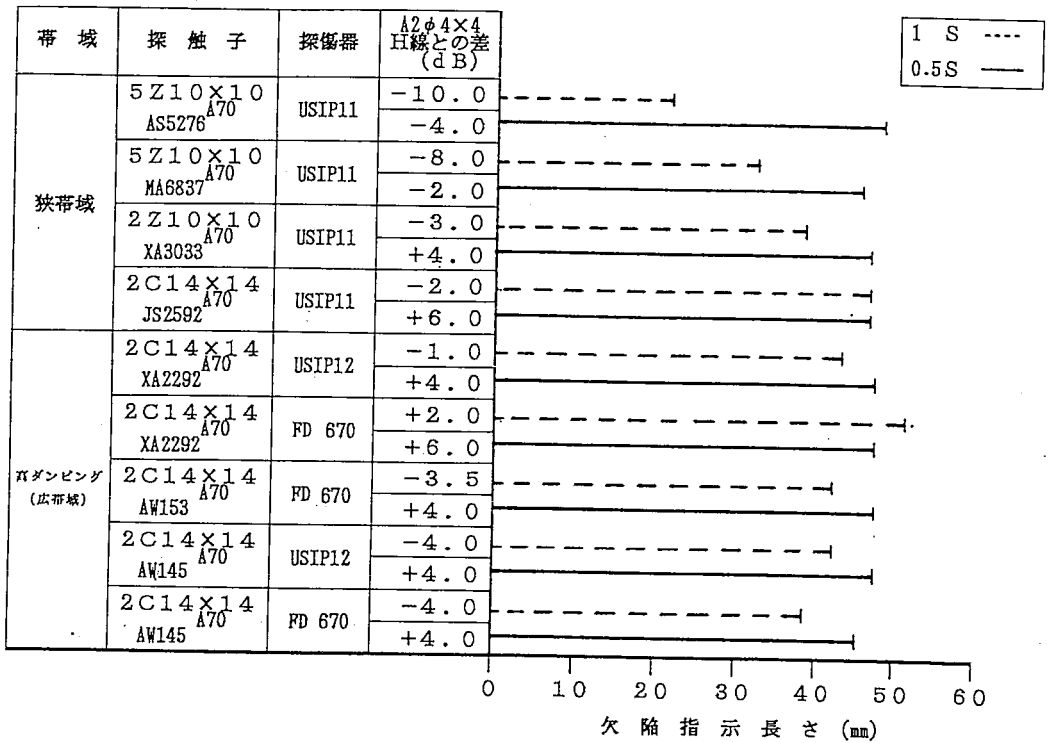


図2 欠陥指示長さの測定結果 試験体 No.1

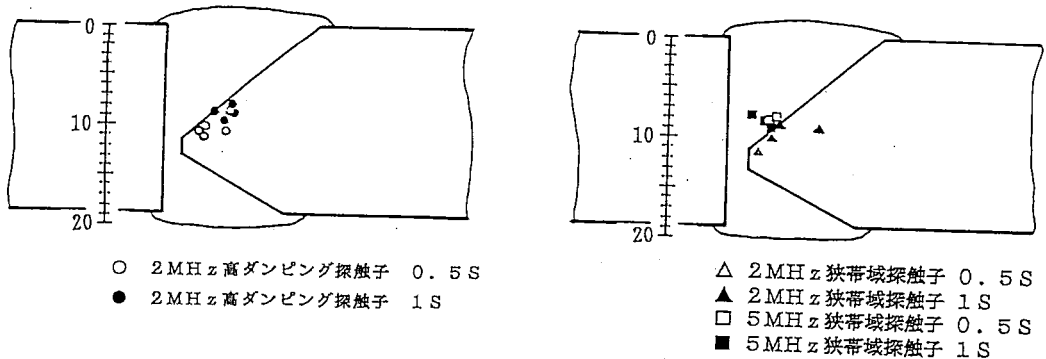


図3 試験体 No.1 欠陥断面位置

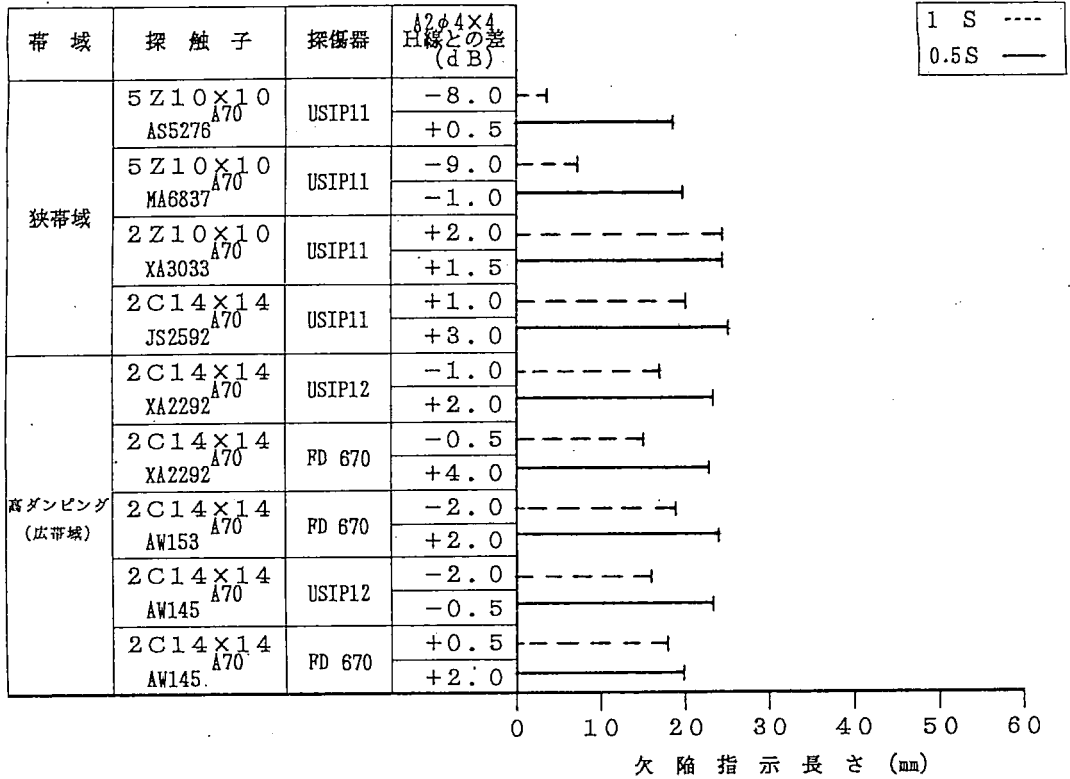


図4 欠陥指示長さの測定結果 試験体 No.2

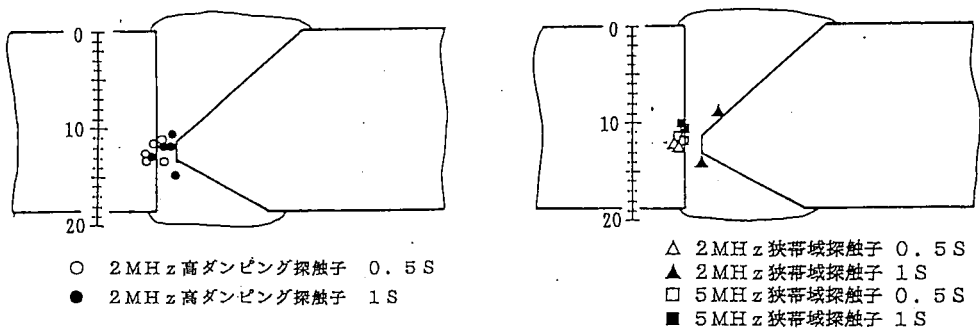


図5 試験体 No.2 欠陥断面位置

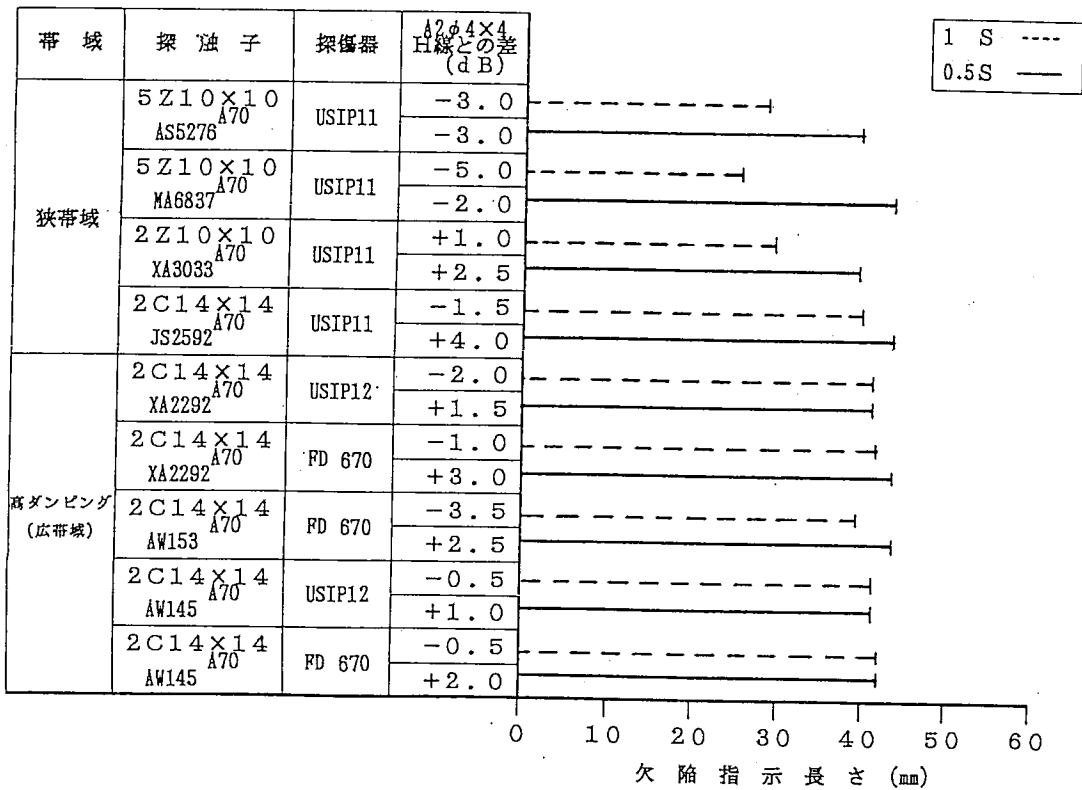


図6 欠陥指示長さの測定結果 試験体 No.3

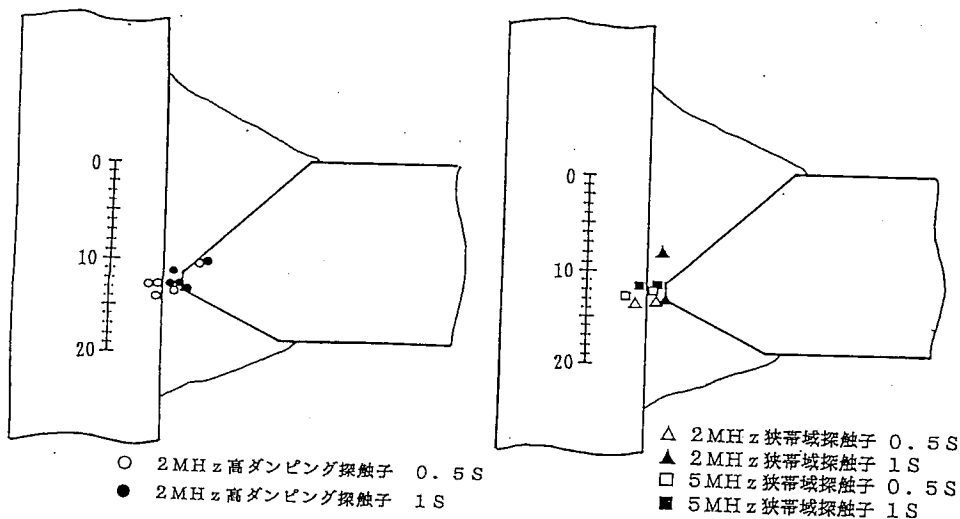


図7 試験体 No.3 欠陥断面位置

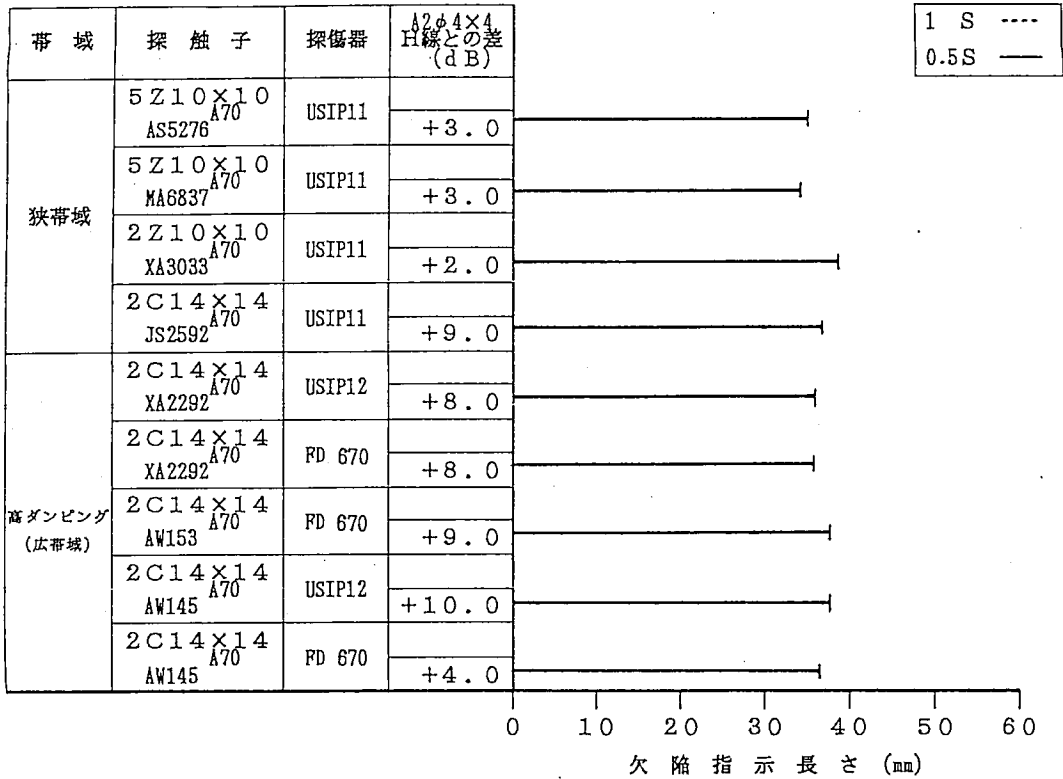


図8 欠陥指示長さの測定結果 試験体 No.4

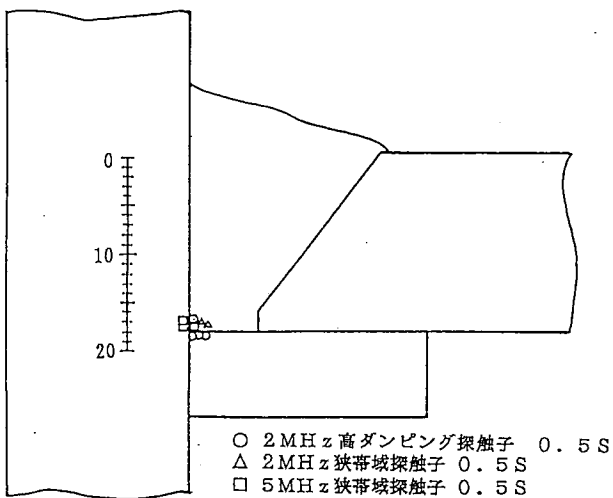


図9 試験体 No.4 欠陥断面位置

広帯域探触子によるパルス波形

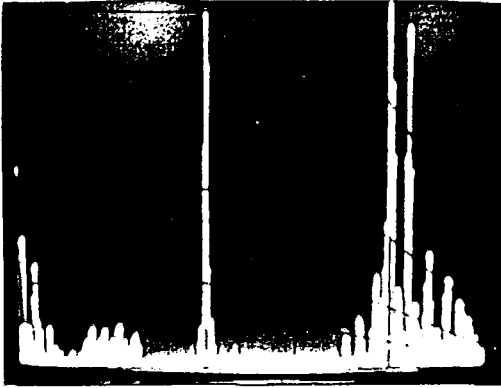


写真2 STBA2 $\phi 4 \times 4$ 0.5S

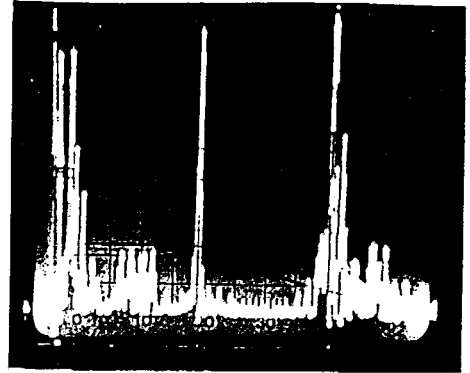


写真3 STBA2 $\phi 4 \times 4$ 0.5S

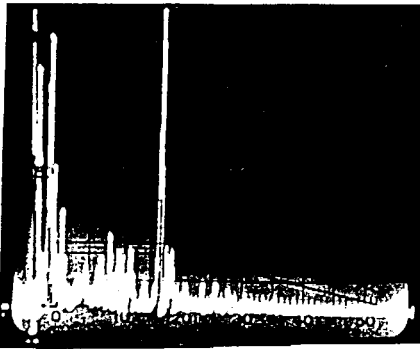


写真4 欠陥エコー 0.5S

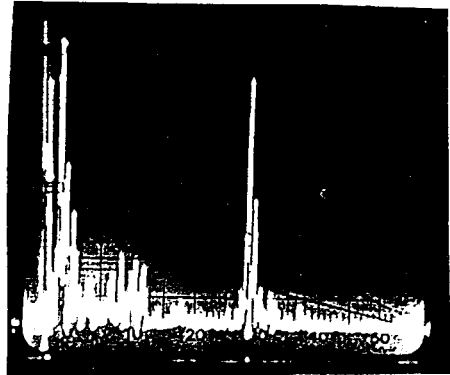


写真5 欠陥エコー 1S

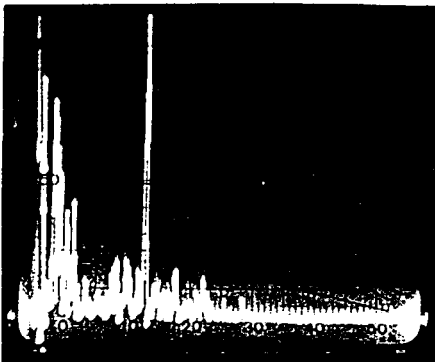


写真6 探傷面粗さ $R_{max} 14 \mu m$

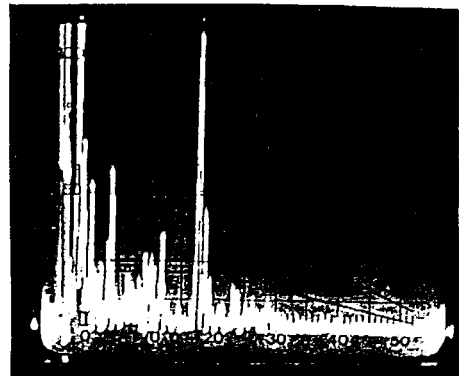


写真7 探傷面粗さ $R_{max} 64 \mu m$

