

超音波計測器「UT1000シリーズ」の開発

Development of Ultrasonic Instrument “UT1000 Series”

小倉幸夫* Yukio Ogura

池田利道** Toshimichi Ikeda

Aスコープ表示の超音波探傷器が、現在構造物や機器類の健全性を確認する手段として多用されているが、作業性、定量性、記録性などに問題がある。

今回、これらの問題を一挙に解決できるタッチパネル方式デジタル超音波計測器UT1000シリーズを開発した。

本装置は、ブラウン管上のエコーのピークポイントを軽くタッチするだけで測定結果がリアルタイムでデジタル出力されるポータブルタイプの計測器である。

本装置には、豊富な測定用ソフトウェアが内蔵されており、欠陥位置や寸法、接触面圧などを高精度で測定することが可能である。

1 緒言

機械、造船、車両、プラント、原子力発電などに用いられている各種構造物や機器類の健全性を確認する手段として、超音波探傷試験が広く適用されている。超音波探傷試験に用いられる装置としては、Aスコープ表示の探傷器が多用されている。Aスコープ表示探傷器とは、エコー表示方式でブラウン管の横軸に超音波の伝搬時間(ビーム路程)を、縦軸にエコー強度(エコー高さ)をそれぞれ表示させた、いわゆるオシロスコープ的表示の装置を言う。

Aスコープ表示探傷器は、現在多用されてはいるものの、次のような問題がある。

- (1) ビーム路程やエコー高さを目読する必要があるため、そのため測定に多大な労力と時間がかかるとともに、読み間違いなどを起こしやすく測定に熟練を要する。
- (2) デジタル出力(記録)ができないために、欠陥の寸法や位置などを求めるためには、めんどろな計算をしなければならない。
- (3) 測定範囲や基準感度の校正を、測定ごとにいちいち行な

わなければならない。

このたび日立建機株式会社では、これらの問題を一挙に解決するとともに、多くの新しい機能を付加したがん新な超音波計測器UT1000シリーズを開発し、製品化した。

本装置は、Aスコープ表示探傷器にマイクロコンピュータを内蔵させ、かつブラウン管前面にタッチパネルを装着させて、ブラウン管上に得られるエコーのピークポイントを軽くタッチするだけで測定データが入力、演算され、ビーム路程及びエコー高さを即時にデジタル出力させるようにしたものである。そして、過酷な稼働を強いられる建設機械の生産を通じて長年にわたり蓄積した独自開発による種々の超音波測定用ソフトウェアをプログラムとして組み込み、欠陥寸法や欠陥位置、接触面圧などを定量かつ高精度にデジタル測定できるようにした装置である。

今回開発したUT1000シリーズは3機種であり、UT1100は欠陥探傷用、UT1200は接触面圧測定用、UT1500は接触面圧測定機能付き欠陥探傷用である。これら3機種は測定用ソフトウェアが異なるだけで、ハードウェアの基本的な部位での相違はない。

本稿では、開発した装置の概要、測定用ソフトウェアの内容、それらの応用例などについて述べる。

2 装置の概要

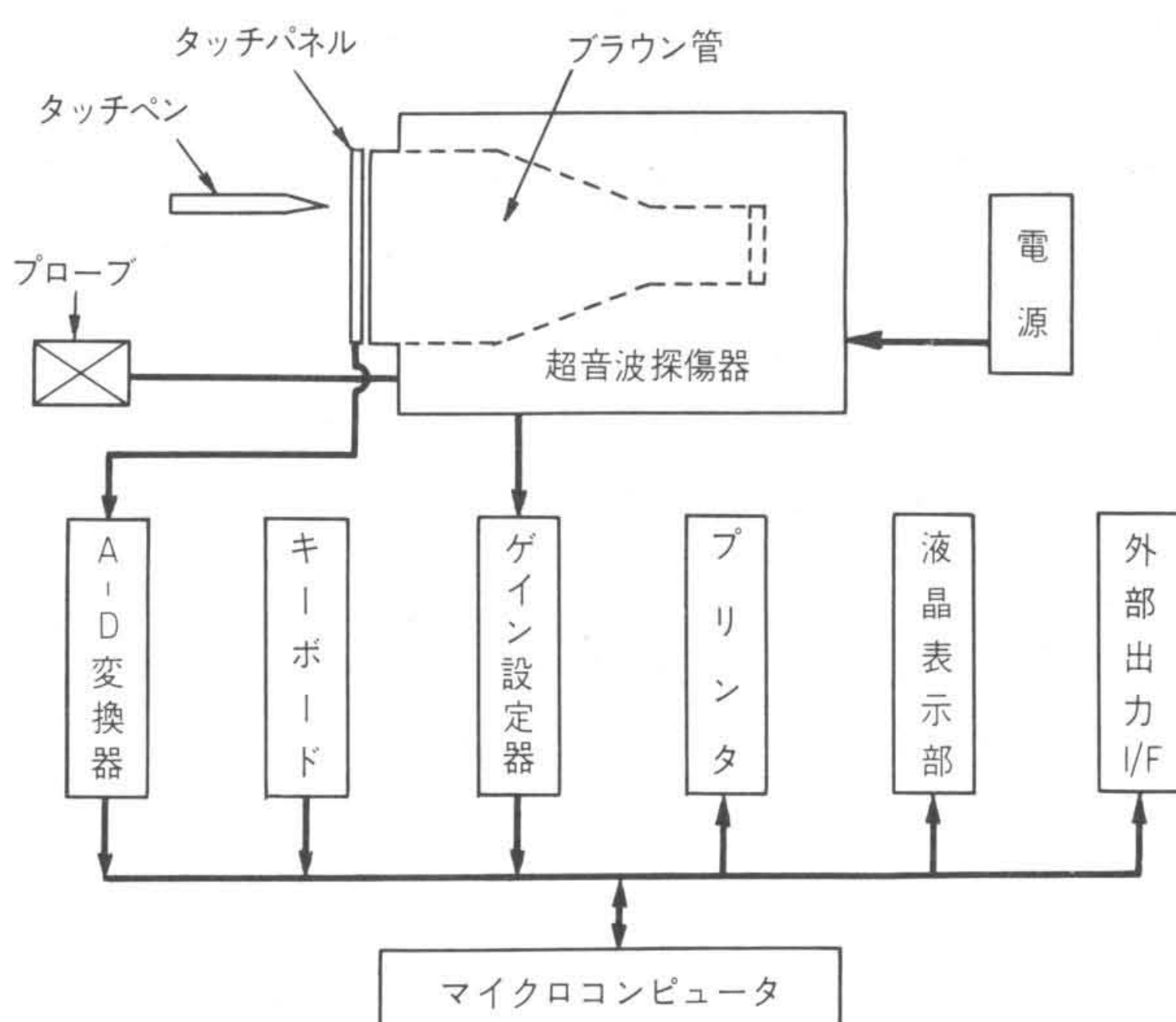
開発した装置(UT1500)のブロックダイアグラムを図1に、外観を図2に示す。幅240mm、長さ350mm、高さ175mm、総重量(バッテリー込み)8.5kgfのポータブルタイプである。

本装置は、(1)超音波探傷器、(2)入力部(タッチパネル、タッチペン、キーボード、ゲイン設定器)、(3)A-D変換器、(4)マイクロコンピュータ、(5)出力部(液晶表示部、プリンタ、外部出力用I/F)、(6)電源、などで構成されている。

以下に、主な構成部位の仕様、機能及び特徴を述べる。

2.1 超音波探傷器

超音波周波数範囲が0.4~10MHz、測定範囲が0~1万mm、感度調整範囲が総合90dBのもので、1探触子法及び2探触子法の併用が可能である。受信周波数帯域は広帯域特性をもっているため、被検体の材質として、鉄鋼はもちろん、Cu、Al合金、樹脂、ゴム、ガラスなどにも広く適用すること



注：略語説明 I/F(インタフェース)

図1 開発装置UT1500のブロックダイアグラム このブロックダイアグラムはUT1000シリーズ共通である。



図2 開発装置UT1500超音波探傷器(面圧測定機能付き)の外観
幅240mm×長さ350mm×高さ175mmのポータブルタイプである。重量はバッテリー込みで8.5kgfである。

ができる。

また、適当な探触子を使用することにより、高分解能のエコーを得ることができる。図3は本装置を用いたときの近距離及び遠距離分解能の程度を示した実験例である。この場合の実験は、図4に示すような2分割形垂直探触子を用いて行なったもので、その距離振幅特性は図5に示すような特性をもっている。図3(a)は表面直下0.1mmに内在する直径1mmの横穴を検出した例であり、同図(b)は1mm間隔で並んだ直径1mmの3個の横穴のエコーを分解している例である。従来の超音波探傷器に比較して格段の分解能向上が図られていることが分かる。なお、従来の超音波探傷器での近距離及び遠距離分解能は、いずれも良好なもので3mm程度である。

測定時のノイズを消去する目的として、リニアリジェクシ

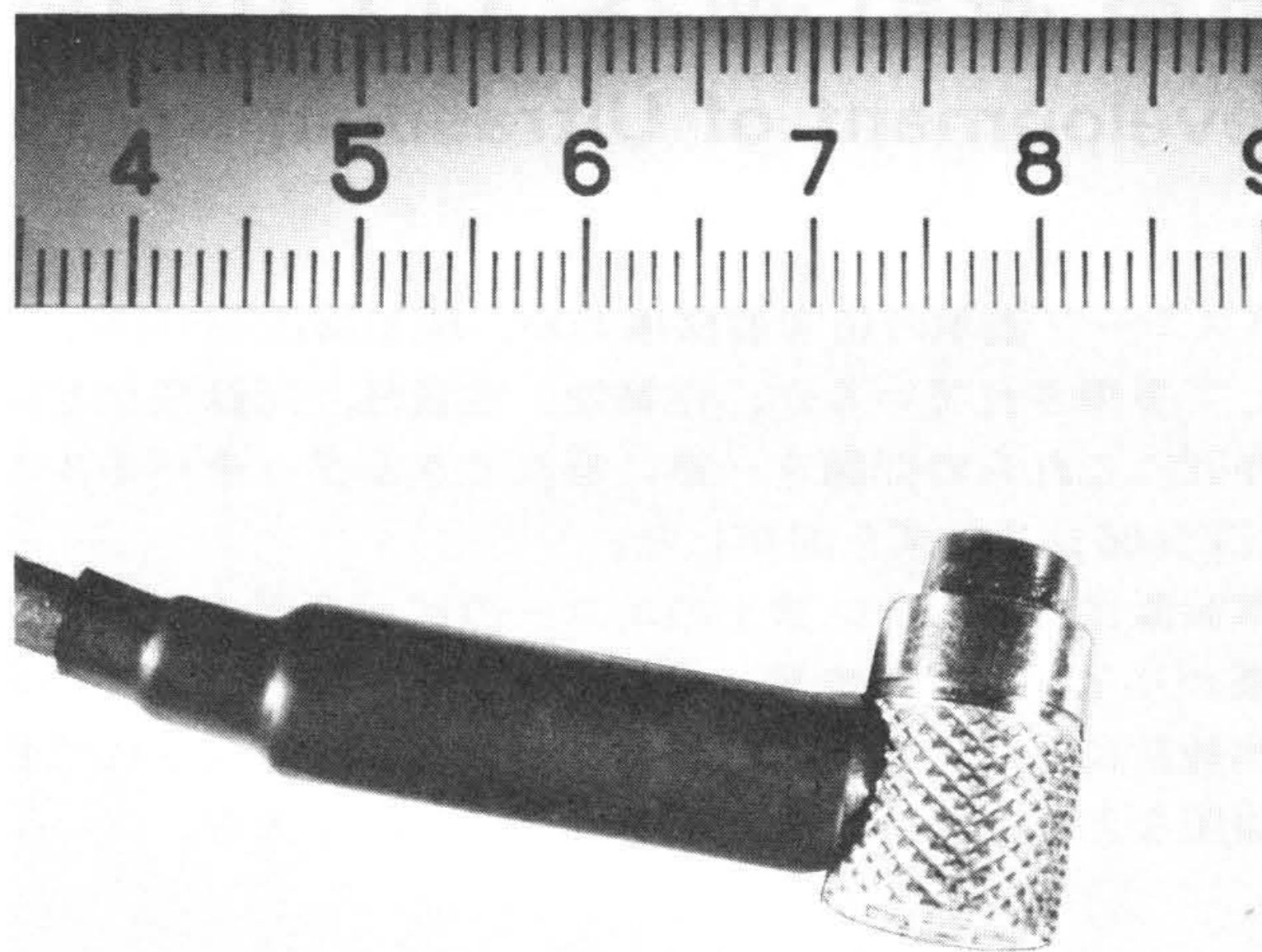
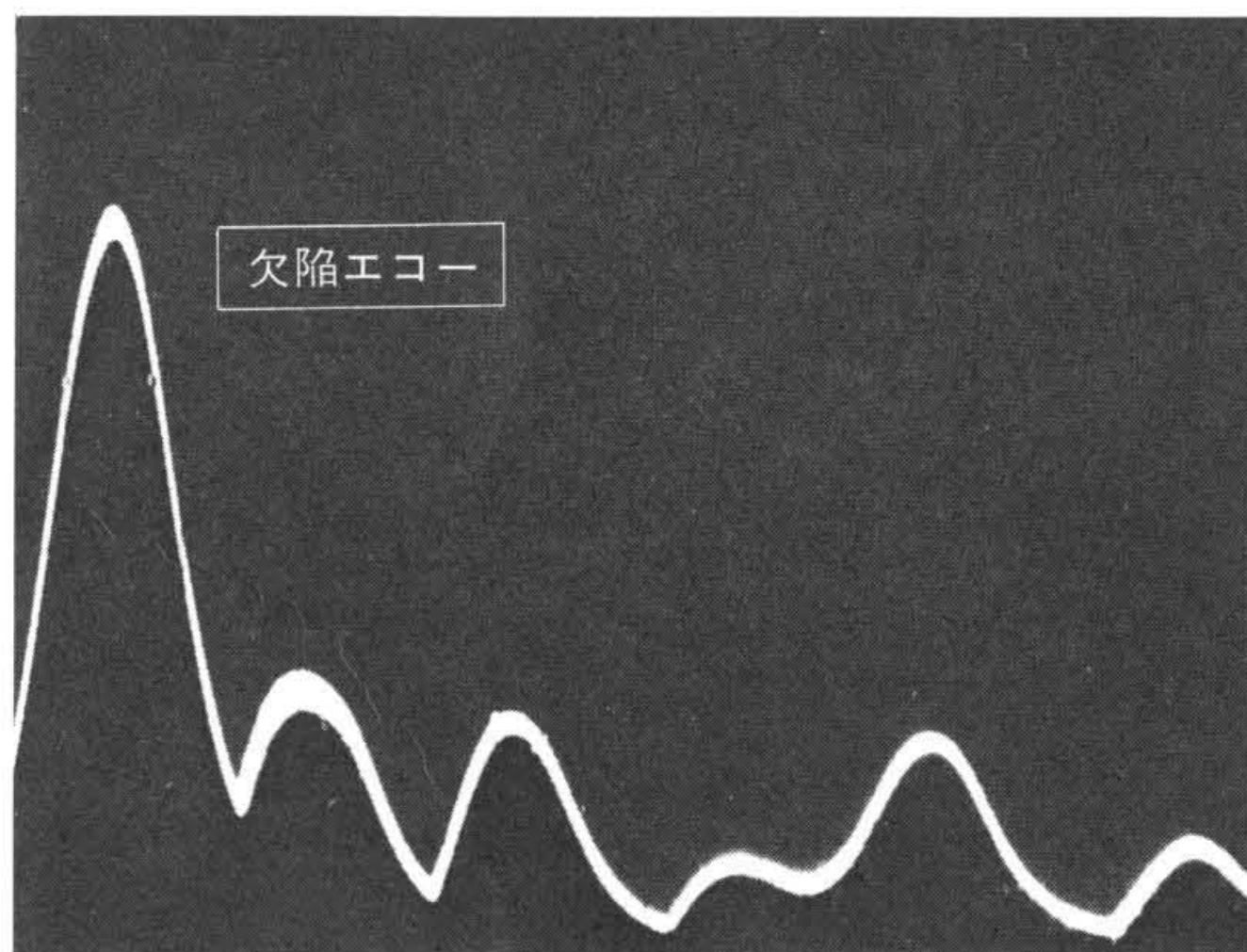


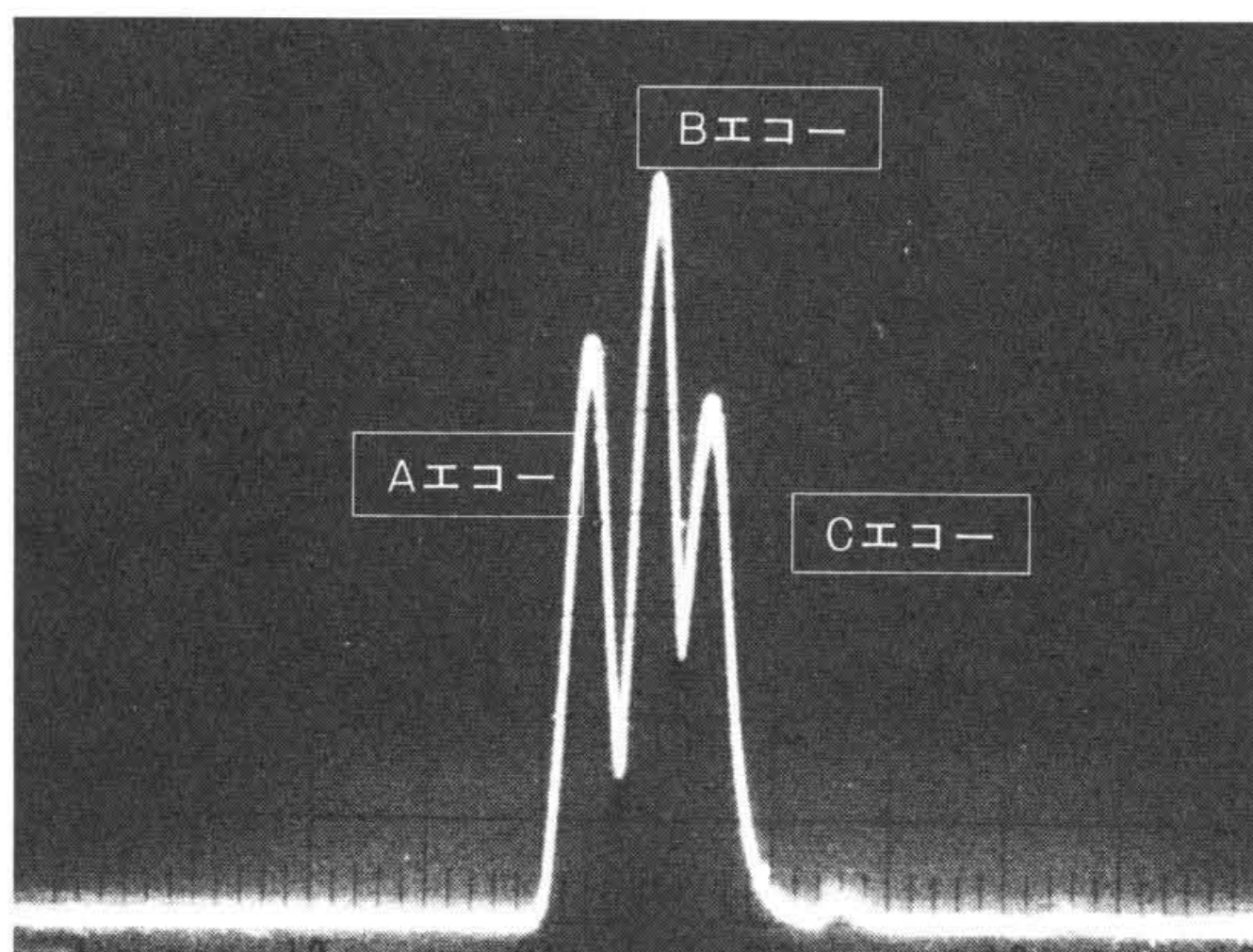
図4 2分割形垂直探触子の外観 実験に用いたときの探触子の外観を示す。周波数5MHz、振動子寸法 5ϕ mmの2分割垂直用遅延材付き探触子である。

ョン機能を採用している。リニアリジェクションとは、目的とするエコーの高さには何ら影響を与えることなく、ノイズだけを消去してSN比を向上させる手段である。本装置では、ブラウン管縦軸目盛の50%までのノイズを消去することができる。

エコー波形は、3種類の検波方式を採用しているので、3段階に切り換えることができる。また、パルス繰返し数は125～2,000Hzの範囲で可変であり、ブラウン管の明るさを3段階に調整することができる。また、エコーゲート回路及び警報回路(ブザー及びランプ表示)が設けられている。なお、出力端子を付加することによりアナログ出力も可能である。



(a) 近距離分解能



(b) 遠距離分解能

図3 近距離及び遠距離分解能を調べた実験例
(a)は周波数5MHz、振動子直径6.4mmの遅延材付き探触子、(b)は周波数5MHz、振動子直径10mmの広帯域周波数特性用探触子をそれぞれ用いたときの実験結果の例である。

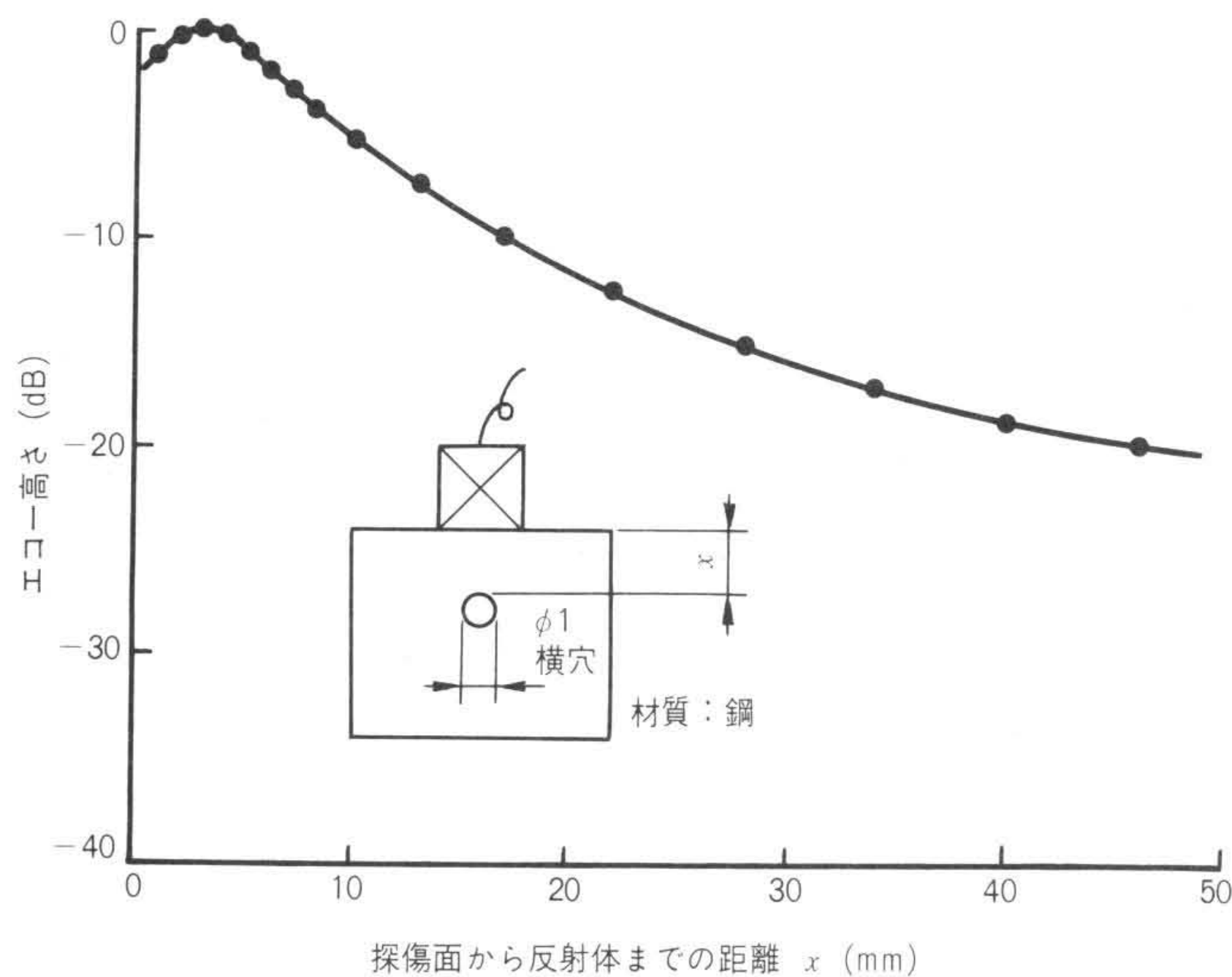


図5 2分割形垂直探触子の距離振幅特性 実験に用いた探触子の距離振幅特性を示す。表面直下の近距離でエコー高さが最大値を示すことが分かる。

2.2 タッチパネル

本装置では、ブラウン管前面にタッチパネルが装着されており、タッチパネル上の任意の位置をタッチするだけで、その点の2次元座標をデジタル量として検知できることを大きな特長とする。

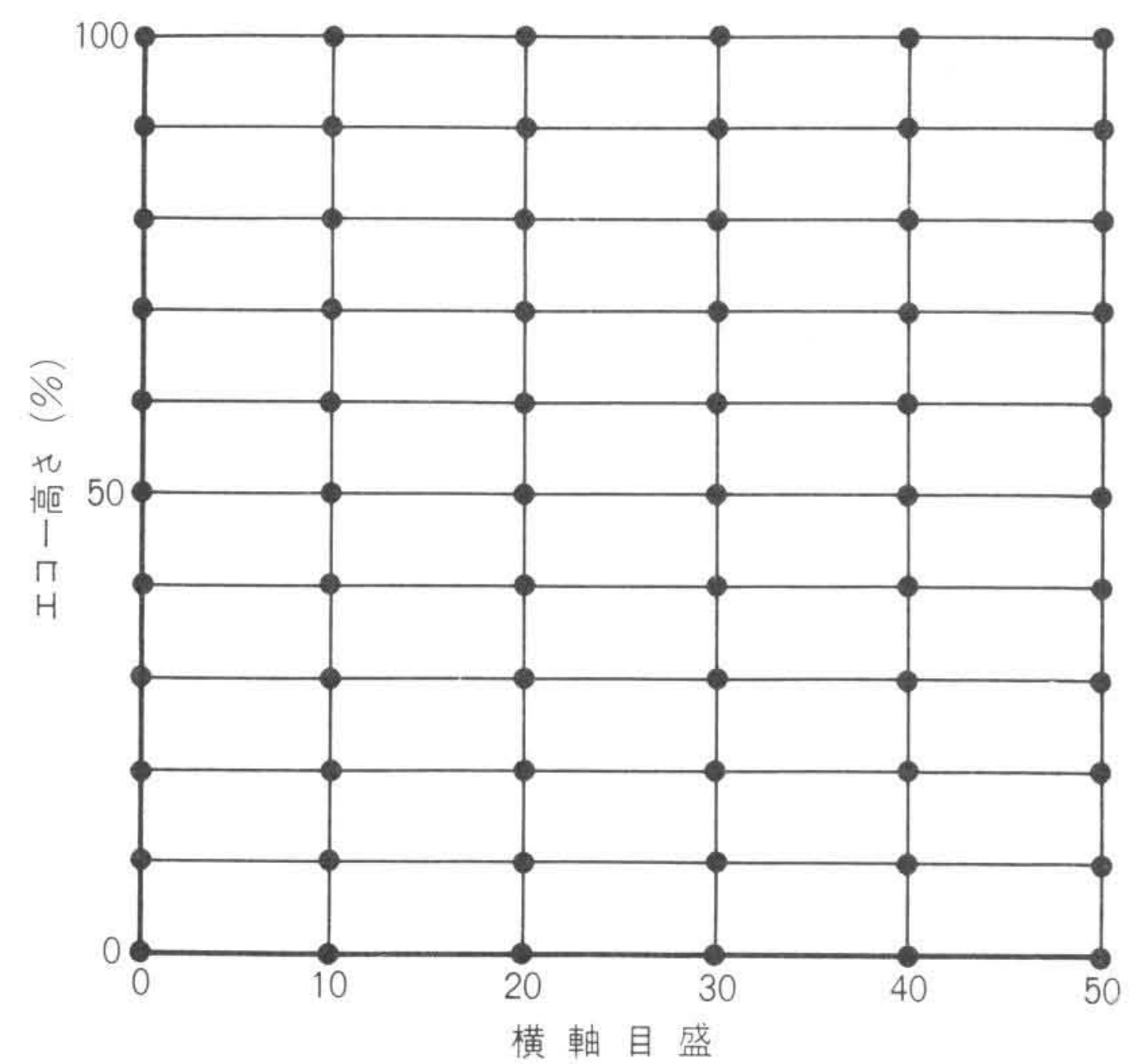
タッチパネルは、透明樹脂の表面に薄い電極層を塗布した板と、透明樹脂板の端に電極を設け、かつ樹脂表面に薄い抵抗層を蒸着した板とをスペーサを介して重ね合わせて、電気的な回路を形成している。透明樹脂板の表面をタッチすることにより、電極層と抵抗層が接触して通電し、電極と電極層間に電圧が生じる。その電圧がタッチする位置(電極からタッチするまでの距離)に比例することを利用して、タッチした位置座標を検知するものである。なお、タッチして生じた電気信号(アナログ量)はA-D変換器でデジタル量に変換された後、マイクロコンピュータに伝送され、演算処理される。

本装置では、ブラウン管上に得られるエコーのピークポイントをタッチパネルを介して入力することができるので、従来のようなめんどろでミスを起こしやすいエコーの読取りや計算が不要である。

タッチパネル上での2次元位置の座標決め精度を調べた一例を図6に示す。同図での●印はブラウン管目盛板の交点でのずれ量を示すが、ビーム路程(横軸)、エコー高さ(縦軸)いずれもフルスケールの0.5%以内の精度であることが分かる。なお、パネルそのものは、横軸、縦軸共に $\frac{1}{256}$ の分解能をもっている。

また、本方式ではエコーのピーク値を入力させることができるので、従来のようにエコーの立上りで読み取る方法よりビーム路程の測定精度が向上する。測定範囲10mmのときの各々の測定精度の比較例を図7に示す。エコーの立上りで読む場合にはエコー高さの大小により誤差が生ずるのに対し、ピーク値で測定する場合にはエコー高さに影響されず、高精度測定が可能であることが分かる。

タッチパネルでの入力人間の指や鉛筆などを用いてもできるが、パネルを損傷させずに、かつ精度よく入力させるために、先端の半径が0.5mm程度の丸みを帯びた棒状のものを



注：測定範囲(100mmの例)

図6 タッチパネルの位置決め精度の例 ●印はブラウン管目盛板の交点をタッチしたときの出力値のずれ量を示す。最大ずれ量は横軸、縦軸いずれもフルスケールの0.5%以内である。

用いることが必要である。

2.3 ゲイン設定器

探傷器本体に取り付けられているゲイン設定器は、マイクロコンピュータに連結されているのでゲインの合計値をデジタル出力することができる。したがって、エコー高さの基準感度値などを従来のように検査員がいちいち覚えておく必要がない。

2.4 キーボード

キーボードでは、測定方法の選択、測定条件の入力、操作手順の確認などを行なう。キーボードを押すと電子音を発するようにしてある。またキーボードは、カバー付きのシート

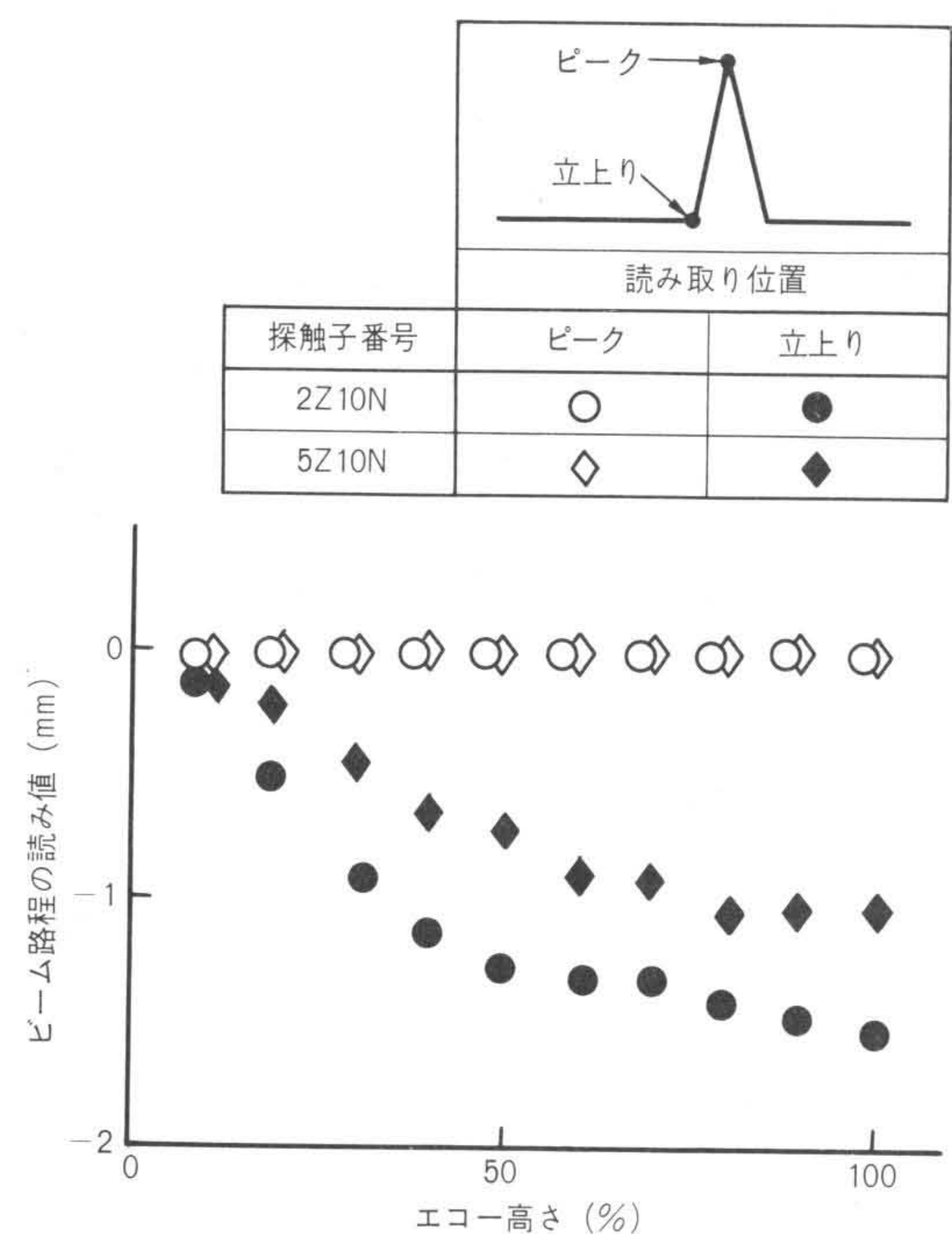


図7 ビーム路程の読取り精度の比較例 エコー高さ10%のときの読み値を基準(0mm)にした場合の、ピーク値と立上りの読み値のずれ量を示したものである。測定範囲が10mmの結果である。

キー方式としており、測定時の接触媒質や雨水などが装置内部に浸入しないように配慮してある。

2.5 マイクロコンピュータ

タッチパネル、キーボード及びゲイン設定器から入力されたデータはマイクロコンピュータに転送され、演算処理された後、液晶表示部、プリンタ及び外部出力用I/F(インタフェース)に出力される。

マイクロコンピュータでのCPU(Central Processing Unit)は日立8ビット用HD46802Pを用いている。また、記憶部の容量はROM(Read Only Memory)、RAM(Random Access Memory)合わせて50kバイトをもっている。ROMには種々の測定用プログラムが記憶されている。なお、EEPROM(Electrically Erasable and Programmable Read Only Memory)を用いて、測定範囲や感度の較正值を一度記憶させておけば、更新しない限り電源を切っても半永久的に記憶させておくことができるようにしてある。

2.6 液晶表示部

液晶表示板として、40けた×2行のものをを用いており、この表示板にはエコー高さ、ビーム路程、欠陥位置、欠陥寸法などの測定結果が実時間でデジタル表示される。また、操作手順が対話形式でステップごとに表示される。なお、液晶表示板の上側前面に電球を3個取り付け、暗い場所でも表示部を容易に見られるよう設計されている。

2.7 プリンタ

装置本体の上部にマイクロサーマルプリンタが内蔵されており、測定結果は即時に記録することができる。プリンタでの記録例を図8に示す。従来の探傷器では記録を採れないことが大きな欠点であるが、本装置ではこの欠点を解消することができる。

2.8 外部出力用I/F

8ビットのシリアルI/F、RS232Cを設けてあるので、測定データをデジタルで外部に出力できる。したがって、このI/Fを介してパーソナルコンピュータなどと連結することにより、欠陥分布などの表示や探傷結果の報告書の作成などが可能である。

2.9 電 源

本装置は、現場で使いやすくするため、電源はAC(100~240V)のほかバッテリーでも使用できるようにしてある。バッテリーは、電圧が6Vでニッケルカドミウム電池を用いており、連続で約4時間の使用が可能である。

NO.1	注：略語説明
ヒツケ：84.08.06	h1(直接波のエコー高さ)
ホウホウ：モード・ペンカンホウ	X1(直接波のビーム路程)
イタツ：100 mm	h2(変換波のエコー高さ)
カクト：45 ト	X2(変換波のビーム路程)
シュウンスウ：5 MHz	PFD(探触子欠陥距離)
シントウシ：10 mm × 10 mm	de(欠陥深さ)
h1：8.103 dB	H(欠陥高さ)
X1：18.66 mm	l(欠陥長さ)
h2：-12.06 dB	
X2：25.83 mm	
PFD：13.19 mm	
de：15.81 mm	
H：5.239 mm	
l：5 mm	

図8 プリンタでの記録例 マイクロサーマルプリンタでの出力結果である。測定結果をすべてデジタルで記録できることが本装置の大きな特長である。

3 測定用ソフトウェア

本装置のROMには、前述したように日立建機株式会社で独自に開発した豊富な測定用ソフトウェアがプログラムされている。UT1000シリーズの標準測定用ソフトウェアの内容を表1に示す。また、ソフトウェアの代表例を図9に示す。標準ソフトウェアとしては、探傷用及び接触面圧測定用が主体となるが、このほかオプションとして音速測定法、ダクタイル鑄鉄の黒鉛球状化率測定法などがあり、ソフトウェアは必要に応じて随時追加することができ広範囲に利用可能である。本装置でのソフトウェアの特長は、欠陥寸法や欠陥位置あるいは接触面圧などをリアルタイムで高精度に求められるという点にある。特に斜角探傷の場合には、幾何学的な手計算が全く不必要となるので非常に便利となる。

プログラムで考慮した点は、操作手順を対話方式にしてステップごとに確認しながら進めるようにし、素人でも容易に取り扱えるようにしたこと、目的以外のエコーをタッチしたときには、先に進まないように配慮したこと、手順の途中でミスしたときには、直前のステップに順次戻れるようにフィードバック機能を設けたこと、などである。

4 本装置の応用例

本装置には、前述したように豊富な測定用ソフトウェアが組み込まれているので、各種構造物や機器類の探傷用あるいは接触面圧測定用として広く応用することが可能である。

ここでは、溶接部での溶け込み不良高さ及びき裂進展量の測定に適用した例と油圧ショベル用ローラのブッシング圧入部の接触面圧測定に適用した例について述べる。

4.1 溶接部での内部溶け込み不良高さの測定例

図10(a)に示すような内部溶け込み不良が内在する試験体を用いて、垂直探傷での散乱波法²⁾を適用して溶け込み不良高さを測定し、欠陥深さに伴う測定誤差を調べた実験結果が同図(b)である。同図(b)での△印は本装置(UT1500)を用いてエコーのピークポイントにより測定した値、○印は通常の方法によりエコーの立上りを目読して測定した値である。同図から明らかなように、エコーのピークポイントで測定するほうが立上りで読むよりもはるかに誤差は小さくなり有効であることが分かる。これは、散乱エコーの波形の形状が複雑であることが多いために、エコーの立上りで読むとどこを立上り位置とするかによって、ビーム路程の読取り精度が大幅に

表1 測定用ソフトウェアの内容 UT1000シリーズの標準ソフトウェアの内容である。このほか、オプションとして音速測定法、黒鉛球状化率測定法などがある。

機 種	測定方法	測定用ソフトウェア
UT1100	垂 直 探 傷 法	一般探傷・AVG法・F/B _G 法・B _F /B _G 法・F/B _F 法・散乱波法・端部エコー法・6dBドロップ法・減衰測定法
	斜 角 探 傷 法	一般探傷・薄板評価法・距離補正法・薄肉配管法・端部エコー法・モード変換法・6dBドロップ法・JIS Z3060法
UT1200	平面面圧測定法	反射透過法・反射法
	曲面面圧測定法	反射透過法
UT1500	上記UT1100及びUT1200のソフトウェアを併せもつ。	

注：略語説明 AVG(Abstand Verstärkung Größe)

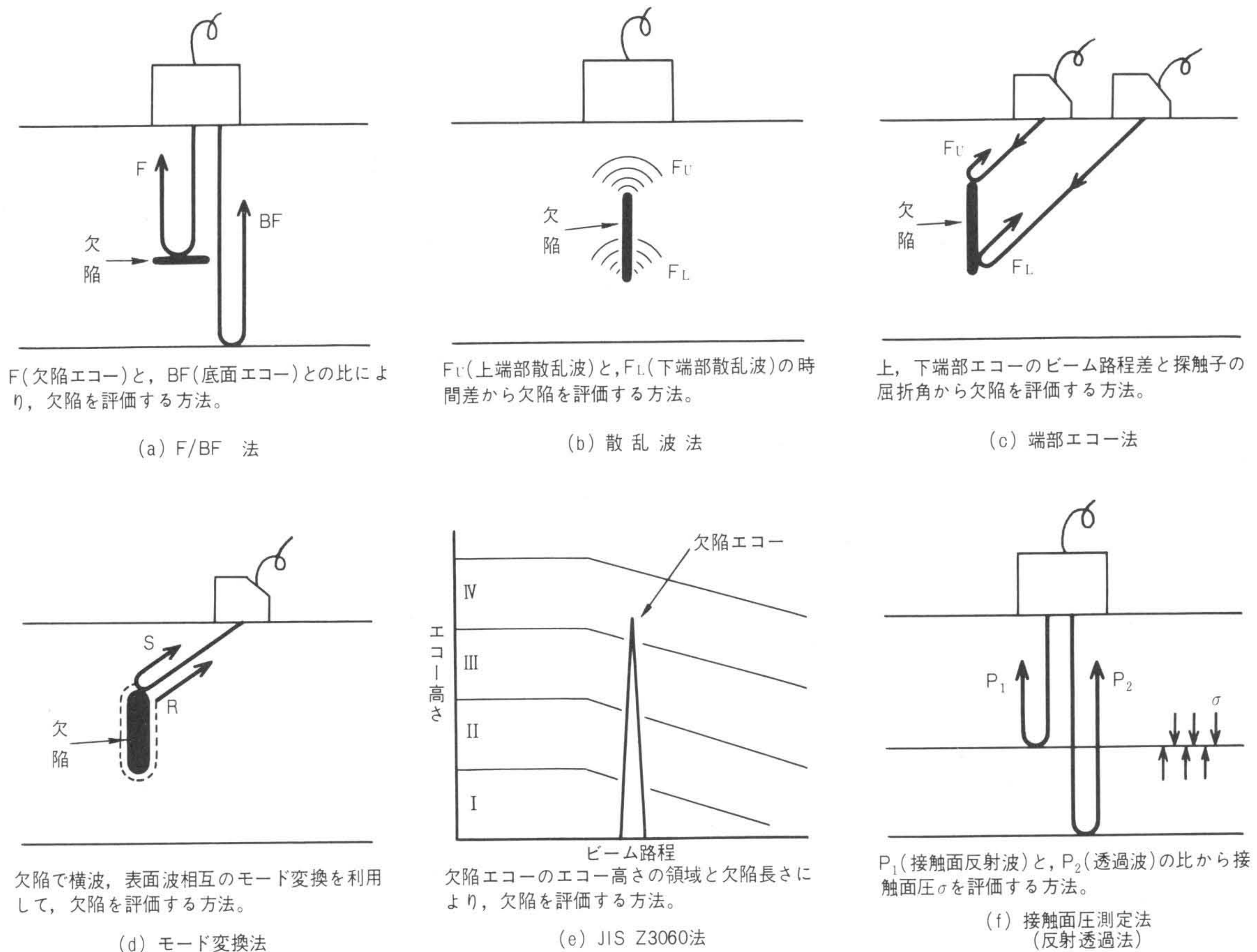


図9 測定用ソフトウェアの代表例 UT1000シリーズに内蔵されている測定用ソフトウェアの代表例である。

変化するのに対して、エコーのピークポイントで測定する場合にはエコーの位置が一定しているので、ビーム路程を正確に測定できるためである。なお、エコーの立上りが送信波に重なるような場合には、立上りでビーム路程を読むと異常に精度が悪くなる。

4.2 油圧シリンダ溶接部でのき裂進展量を測定した例

図11(a)に示すようなシリンダチューブ内部にパルス状の圧力を250~500kgf/cm²の範囲にわたって作用させたときの、ボトムとチューブの突合せ溶接部のルート部に発生するき裂進展量を、UT1500を用いて調査した。測定法は斜角端部

エコー法である。斜角端部エコー法とは、き裂端部からのエコーが最大値となるときのビーム路程と探触子の屈折角から幾何学的にき裂寸法を求める方法である。本実験での測定はチューブ側から円周上4箇所行ない、平均値を求めそれらを測定値とした。探触子は点集束形斜角探触子(5 Z10A60SF 3~20)を用いた。測定結果を同図(b)に示す。圧力が高いほどき裂進展量の大きいことが分かり、また全体的に見てもばらつきの少ない測定ができることが分かる。本法ではき裂寸法 H が約1~20mmの範囲で測定が可能であった。なお、試験終了後、試験体を切断して実際のき裂寸法を確認したところ、そ

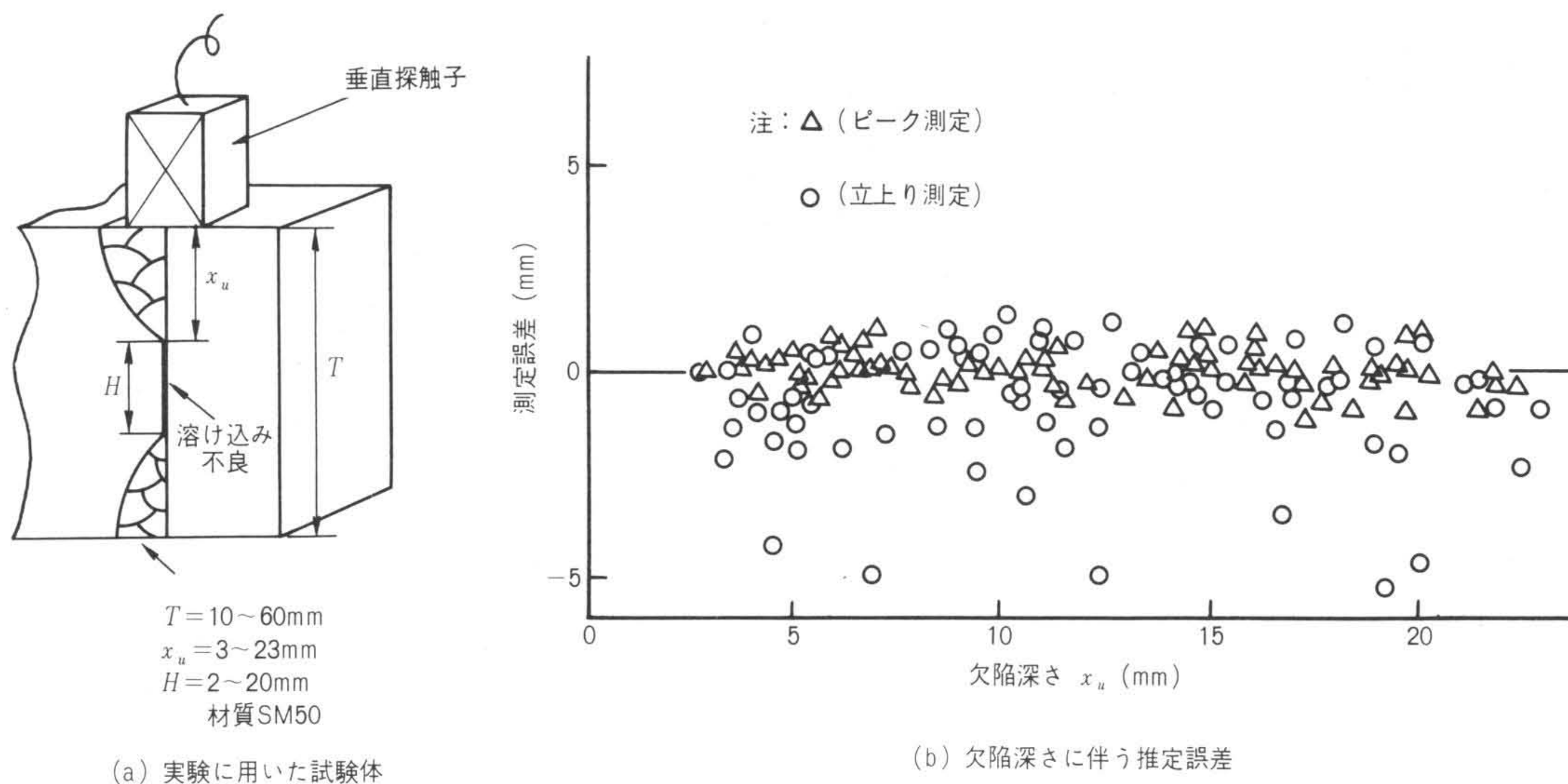
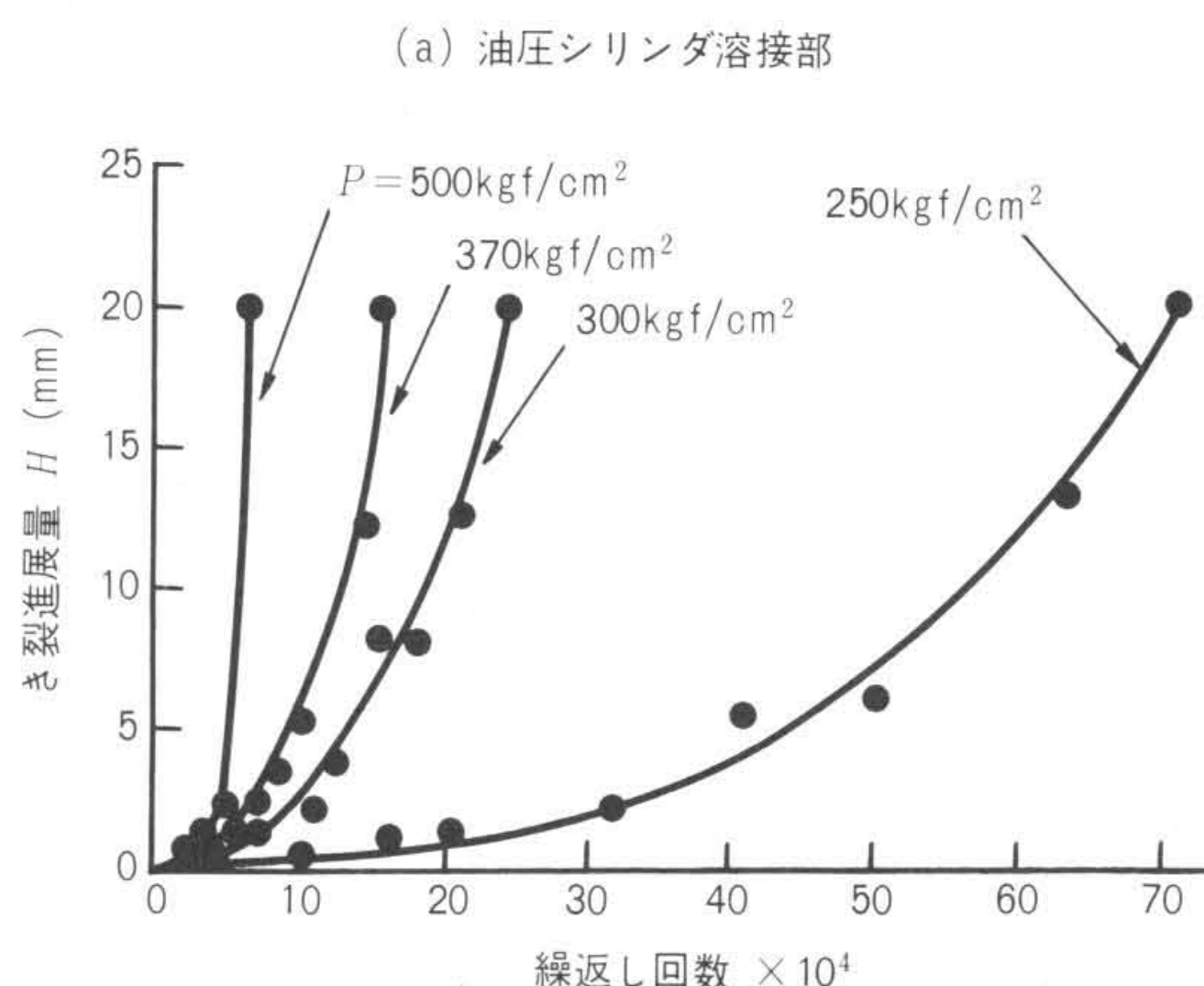
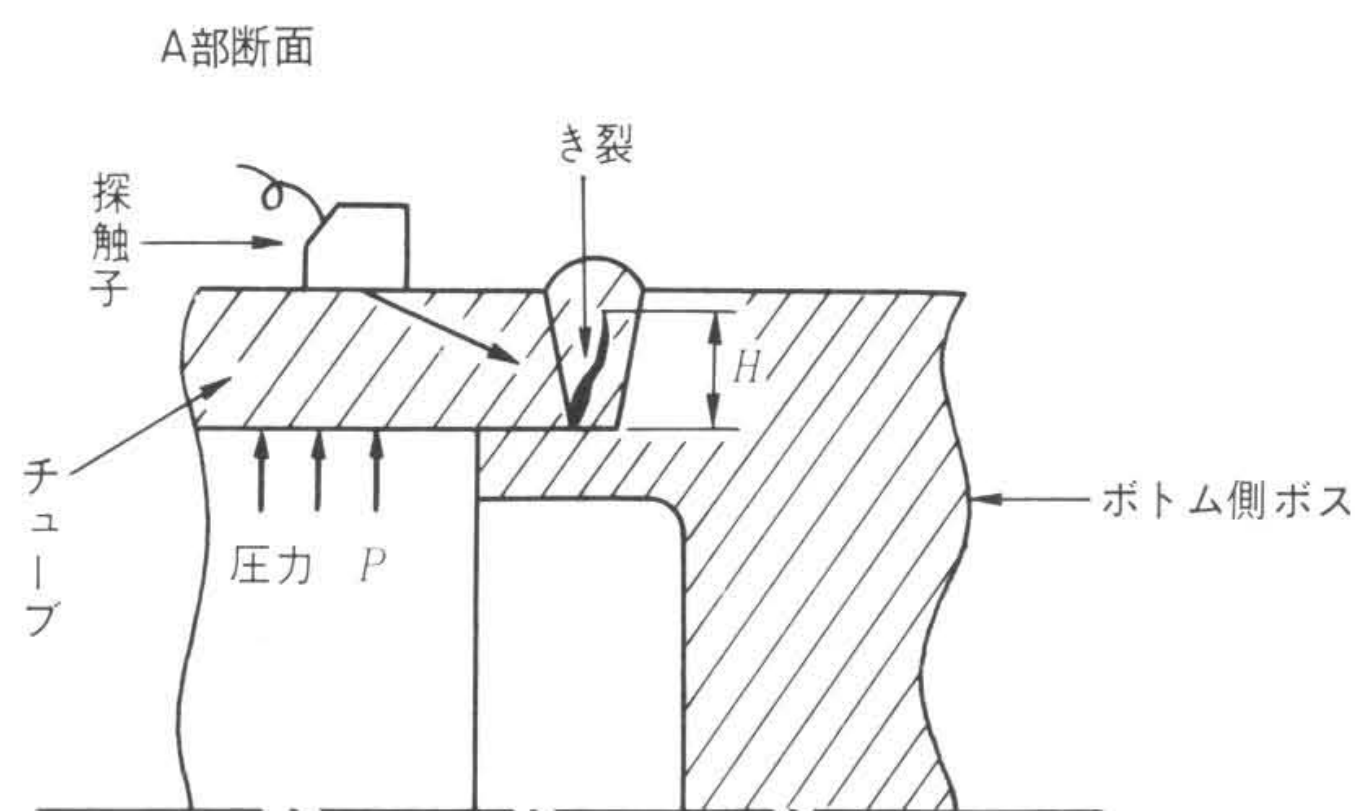
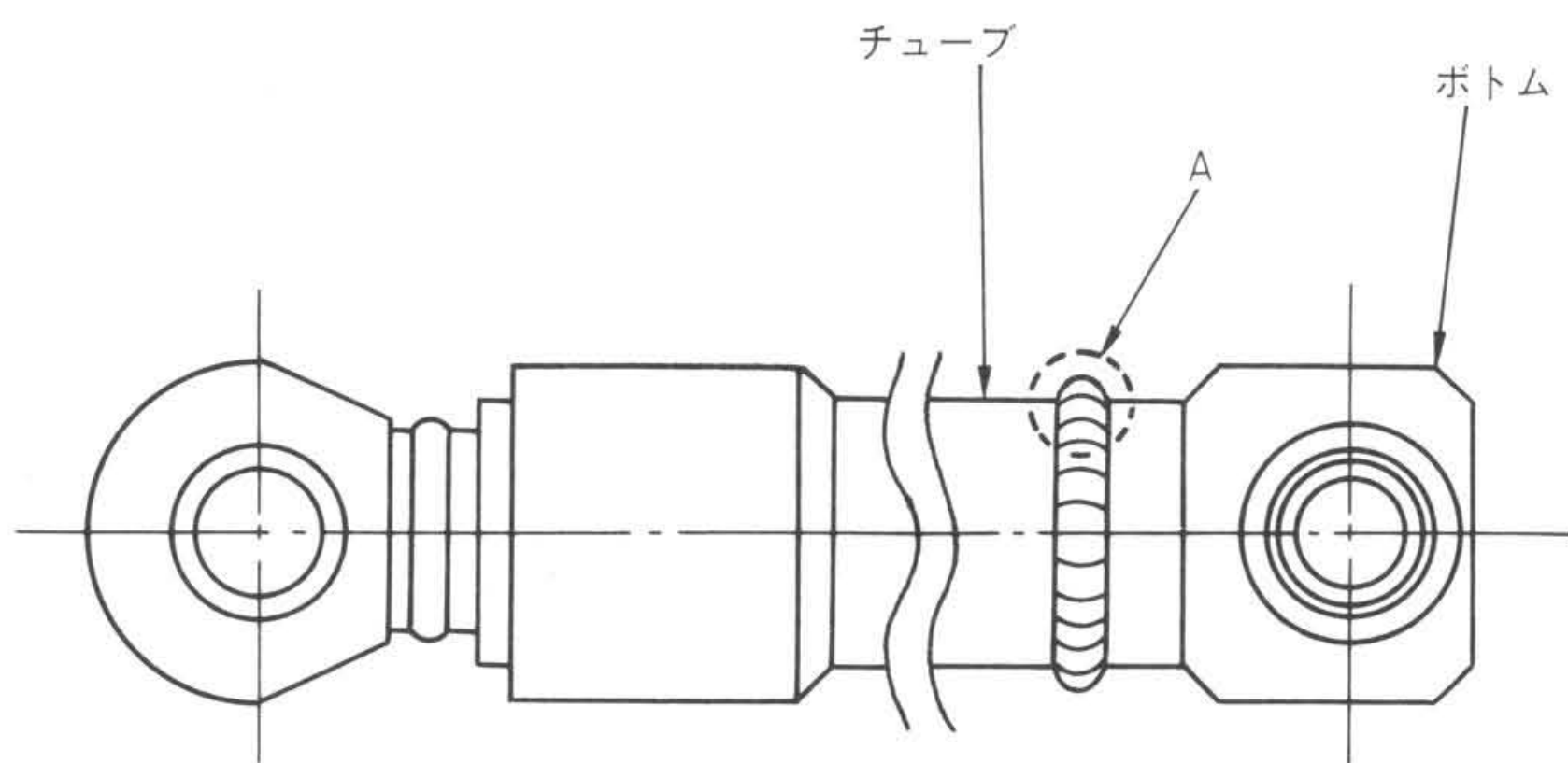


図10 散乱波法による内部溶け込み不良高さの測定例 周波数5 MHz, 振動子直径6.4mmの探触子を用いたときの実験結果である。溶接ビードを平滑に仕上げ、探触子をビード線上に置いて測定した。



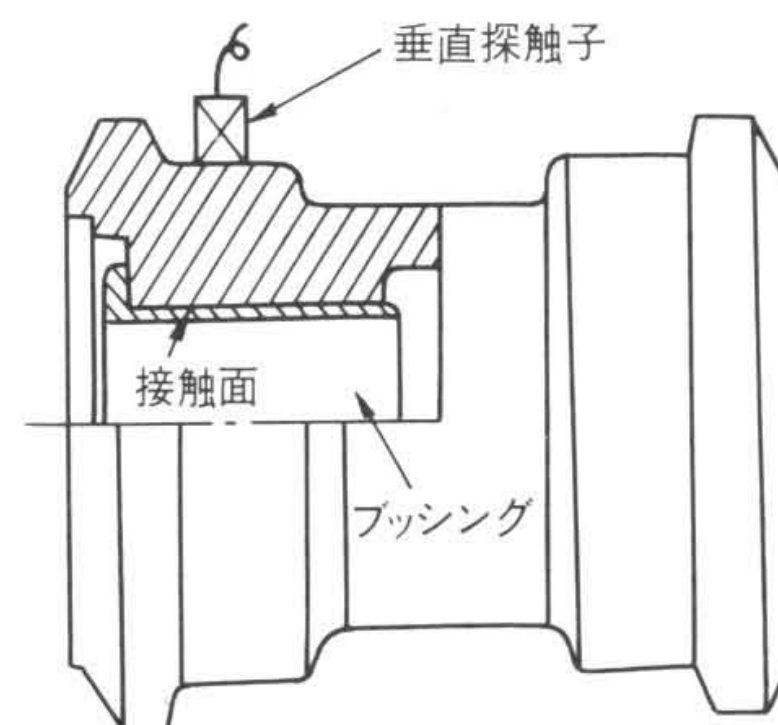
(b) 繰返し回数とき裂進展量の関係

図11 斜角端部エコー法によるき裂進展量の測定例 屈折角60°, 周波数5MHzの点集束斜角探触子を用いたときの測定結果である。測定はチューブの円周上4箇所から行ない、それらの平均値を測定値とした。

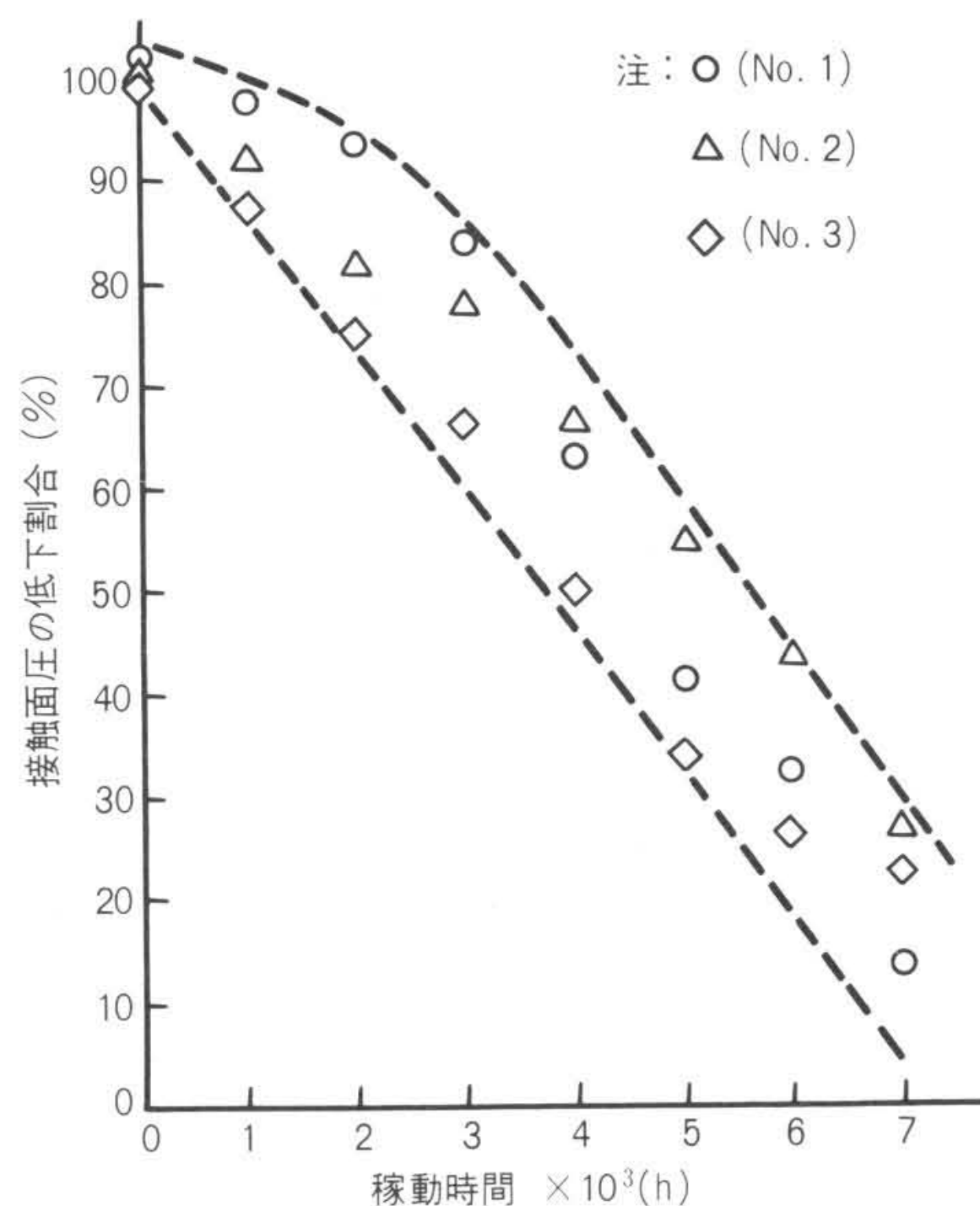
これらの値は超音波による測定値と約±1mmの誤差内で合致していた。

4.3 油圧ショベル用ローラのブッシング圧入部での面圧測定例

接触面での超音波の反射音圧と透過音圧の比が、接触面圧と相関関係のあることを利用して接触面圧を測定することができる¹⁾。この原理を基にした測定用ソフトウェア(曲面面圧測定法)を使用して、図12(a)に示すような油圧ショベル用ローラのブッシング圧入部での面圧測定を行なった。ローラの耐久性を調べるベンチテスト時に約1,000時間間隔で測定したものである。測定したローラは合計3個である。また、測定はローラの円周上4箇所で行ない、それらの平均値を測定値とした。圧入面には回転しながら周期的な圧縮応力が作用する。同図(b)に測定結果を示すが、稼動時間に伴う面圧変化が一目で明確に分かるであろう。このように、部材間の接触面圧を組まれたままの状態ですべて定量的に測定することが可能であり、本測定法は応用範囲も広く非常に有効なものである。



(a) 油圧ショベル用ローラ



(b) 稼動時間に伴う接触面圧の変化

図12 ローラのブッシング圧入部での接触面圧測定例 測定はベンチテスト時に約1,000時間間隔で行なったもので、ローラは合計3個である。測定に用いた探触子は周波数2MHz、振動子直径10mmの垂直用である。縦軸は初期面圧値を100%としたときの稼動時間に伴う面圧低下程度を表わしている。

5 結 言

以上、日立建機株式会社で開発したタッチパネル方式のデジタル超音波計測器UT1000シリーズの概要とその応用例について述べた。

本装置は、ブラウン管上のエコーのピークポイントを軽くタッチするだけで測定結果がリアルタイムでデジタル出力されるもので、在来のAスコープ表示探傷器がもつ種々の問題点を一挙に解決するとともに、現場で使いやすく、測定の省力化も図れる画期的なポータブルタイプの測定器である。

本装置に組み込まれた各種の測定用ソフトウェアを用いれば、き裂の進展量や接触面の面圧分布などを正確に把握することができるので、部品製作時の品質管理手段のほか、保守検査手段としても活用が図れ、各種構造物や機器の安全性の確保及び信頼性の向上に大いに役立てることができる。

今後、装置の小形化、測定用ソフトウェアの拡充などを推進し、機能、性能の向上を更に図ってゆく考えである。

参考文献

- 1) 小倉, 外: 建設機械部品検査への超音波利用新技術, 日立評論, 64, 9, 701~704(昭57-9)
- 2) 小倉, 外: 縦波散乱波を利用した欠陥高さ測定法, 非破壊検査, 33, 2, 124~125(昭59-2)