

## 鉄筋ガス圧接部の超音波探傷法の基礎理論 (その6)

## —専用探傷器の開発—

齊藤 鉄夫  
(技術研究所)矢部 喜堂  
(技術研究所)小早川 恵実  
(技術研究所)藤盛 紀明  
(技術開発本部)

## § 1. はじめに

前報(その1)~(その5)<sup>1)~5)</sup>において、鉄筋ガス圧接部の超音波探傷法の基礎理論について報告した。本報は、提案された探傷法を現場に適用する際の専用簡易探傷器の開発について述べるものである。

一般のAスコープ超音波探傷器が使用される鋼加工工場や造船、鉄骨の現場に比べ、異形鉄筋のガス圧接工事現場はきわめて探傷作業環境が劣悪である。例えば、足場が十分でない、圧接箇所が足場から離れている、移動に際し梁配筋を乗り越えたりくぐったり、また配筋の上を歩いたりしなければならぬ等である。このような作業環境で、重量が7~9kgもある一般のAスコープ超音波探傷器を使用することは、探傷作業の能率、コスト、安全等の面できわめて困難である。

また、一般のAスコープ探傷器を操作するのは高度な技術が必要とされ、(初)日本非破壊検査協会の認定する有資格者が探傷作業に従事することになっている。しかし、この有資格者はほとんどが造船、重工業、鉄骨、橋梁関係の従事者で、異形鉄筋のガス圧接工事の超音波探傷が実用化されても検査技術者の不足が予測される。

上記の二つの問題点を解決し、本探傷法を普及定着させ、圧接工事の品質管理に使用するためには、軽量小型で操作・現場内移動が容易な専用探傷器を開発する必要がある。

本報告は、専用簡易探傷器の試作と、その探傷精度および検査結果の自動記録装置の開発について述べる。

## § 2. 専用簡易探傷器の試作

## 2.1 専用探傷器の持つべき機能

透過パルスレベルを基準とした最大エコー高さによって、圧接部の品質を評価する<sup>2)</sup>とすれば、探傷器は次の二つの機能を有せばよい。

- (i)リブ間の透過パルスレベルの測定(基準感度の設定)
- (ii)リブ上の前後走査による最大エコー高さの測定

したがって、この二つの機能を具備し、測定精度がAスコープ探傷器と同等であり、かつ軽量で操作の容易な異形鉄筋のガス圧接部専用探傷器があれば、鉄筋工事現場での探傷作業を安全に、かつ能率的に行なうことができる。

上記の二つの機能を満足するために、次の条件を設定した。

- (1)基準感度の設定および最大エコー高さの測定がCRTなしで、ブザーもしくはランプでできる。
- (2)呼び名D19からD51のすべての径に対応できる。
- (3)各呼び名ごとのゲート機構を備えている(妨害エコーとの識別)。
- (4)電源(電池)も含め重量は1.5kg以下で、首から下げられる。
- (5)首から下げて能率的に探傷ができる大きさである。

上記(1)を満足させるためには、受信音圧がある閾値を越えれば、ブザー(ランプ)が作動する機構と減衰器が備わっていればよい。また、上記(3)のゲート機構とは、被検体の鉄筋の呼び名(径)が定めれば、最大エコー高さを得るときの送信から受信までの時間 $T$ がある幅をもって予測できるので、その幅のなかに受信された信号のみを判断の対象として、妨害エコーとの識別をする機構である。

## 2.2 ゲートの設定

図一は、ゲート設定の基本となる異形鉄筋内における横波の音速の測定結果である。用いた鉄筋材は、既報(その2)<sup>2)</sup>の実験に用いた材料と同一ロットのものである。ここで、常温(23℃)と50℃の場合の音速を測定した。50℃は圧接作業終了後、圧接部が自然冷却されて超音波探傷が可能となる温度である。

図中の白丸印はSTB-A1試験片の測定結果である。鉄筋中の音速は、STB試験片中の音速よりわずかに大

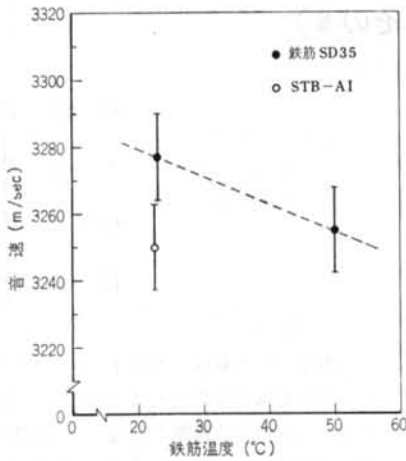


図-1 鉄筋中の検波の音速

1	リブ間距離のばらつき	} 屈折角 の変化
2	温度変化による鉄筋内音速の変化	
3	温度変化によるくさび内音速の変化	
4	くさび摩擦によるくさび内通過時間の変化	

表-1 送信-受信時間Tの変動要因

きい。送信から受信までの時間Tは、

$$T = (D/v \cdot \cos \theta) + 2de \quad \dots\dots(1)$$

で表わされる。ここで、vは鉄筋中の音速、deは探触子のくさびのなかを超音波が通過する時間である。しかし、Tは種々の要因で変動する。表-1はその変動要因を示したものである。変動要因のなかで支配的なのは、探触子の屈折角θの変動であり、これを支配するのは温

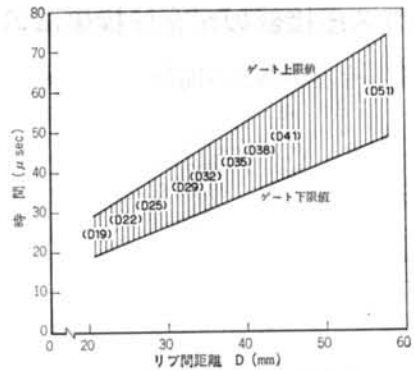


図-2 ゲートの上限値と下限値

度変化に起因するくさび内音速の変化である。ここで、-5℃から50℃までの温度変化を考慮し、最終的に図-2に示すようなゲートを設定した。なお、くさび(アクリル)内音速の温度依存性は文献6)の値を用いた。このゲートの位置・幅は、§4.の実験の探触子距離任意方式における最大エコーをすべて包含する。

### 2.3 専用簡易探傷器の動作

専用簡易探傷器のシステム系統図を図-3に示す。送信探触子で発生した超音波信号は、接触媒質を介してリブ面から鉄筋内に屈折角70°で入射する。圧接面に欠陥が存在すると一部分が反射されて、反対側のリブにある受信探触子で検出される。このときの鉄筋内の超音波信号のビーム路程は鉄筋径で定まる一定値であるので、あらかじめ監視範囲、すなわちゲートの位置と幅を

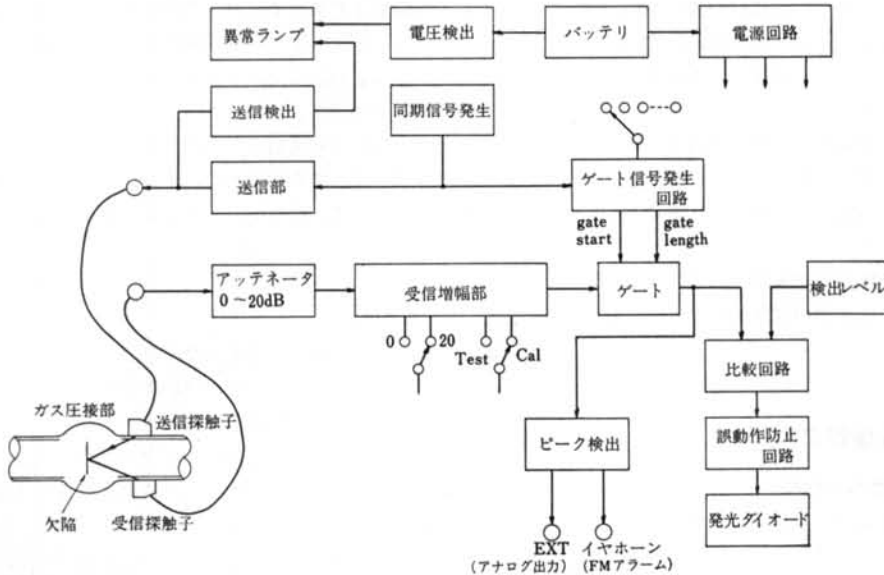


図-3 専用簡易探傷器のシステム系統図

決めておけば、欠陥信号を発光ダイオード(LED)等で表示できるので、監視用ブラウン管が無くても検出可能となる。

欠陥で反射した超音波は受信用探触子で検出され、アッテネータ(0~20 dB, 1 dB ステップ)を通して受信増幅器で増幅される。受信増幅器には二つのアッテネータ(20dB, 1dB毎20ステップ)とCAL-TEST 切換(24dB, 1ステップ)があり、探傷感度の設定に使用される。

一方、前面パネルにある選択つまみで鉄筋径(BAR-DIA)を選択するとゲート信号発生回路によって送信パルスより所定の時間だけ遅れ、所定の時間幅  $e_2$  をもったゲート信号が発生しゲート回路を制御する。受信増幅器で増幅された信号はゲート回路へ入り、ゲート時間幅  $e_2$  内に受信された信号のみがゲート回路出力として比較回路(Comparator)に入って、あらかじめ設定された検出レベルと比較され、さらに雑音による誤動作防止回路を経て発光ダイオードを点灯させる。

また、ゲート回路出力はピーク検出回路でピーク検出されて、受信波の強さに比例した FM (Frequency modulated)アラーム信号を発生すると同時にアナログ記録用として出力される。作業者は FM 信号をイヤホンにより聴くことができるので、探触子を走査することによる受信波強さの変化をとらえることができる。

以上が専用簡易探傷器の主たる動作であるが、その他自己点検機能として電池電圧の検出と送信パルスの検出により異常を検知できるので、誤動作を防ぐことができる。

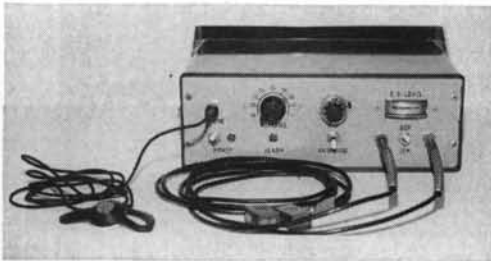


写真-1 鉄筋ガス圧接部専用簡易探傷器 (試作1号機)

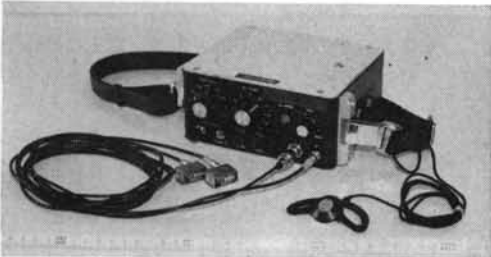


写真-2 鉄筋ガス圧接部専用簡易探傷器 (試作2号機)

## 2.4 装置とその構成、主要性能

試作1号機を写真-1に、試作2号機を写真-2に示す。試作2号機の型式が普及型となっている。電源は単3電池6箇であり、重量は電池を含めて1.2kgである。大きさは幅15cm, 高さ7.2cm, 奥行13cmである。装置の構成および主要性能を表-2に示す。

## 2.5 操作手順

試作2号機の前面および側面パネルを図-4に示す。図中①はゲートつまみで、被検体である異形鉄筋の呼び名に合わせることで、図-3に示されている各径ごとのゲートが設定される。図中②, ⑦, ⑧は減衰器のつまみで、②が1dB毎20ステップの20dB減衰器、⑦が1ステップ20dB減衰器、⑧が1ステップ24dB減衰器である。図中③は警報ランプ、④は警報ブザー用の音量調節つまみである。図中⑤が電源スイッチ、⑥が電源電圧のチェックランプである。⑨, ⑩は探触子ケーブル接続コネクタ、⑪がイヤホンケーブル接続コネクタである。

操作手順を以下に示す。

電 源	単Ⅲ6箇 最低8時間作動, 電圧低下表示機構具備
本 体	送受信部 一般の探傷器と同様
	減 衰 器 1ステップ24dB, 1ステップ20dB, 1dB毎20ステップ20dB
体	ゲート部 図-2に示されるゲートが1操作で設定できる
	出 力 部 ランプおよびイヤホン
探 触 子	5Z5×5A70 2箇

表-2 専用簡易探傷器の構成と主要性能

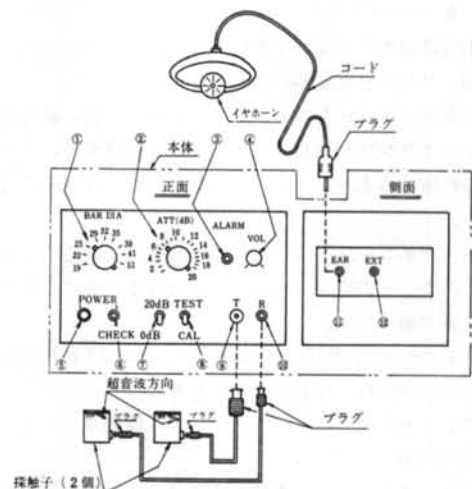
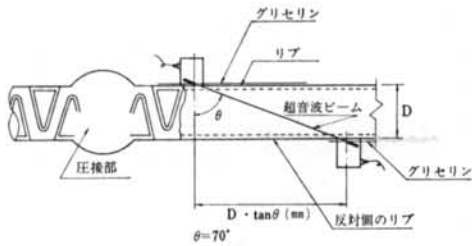


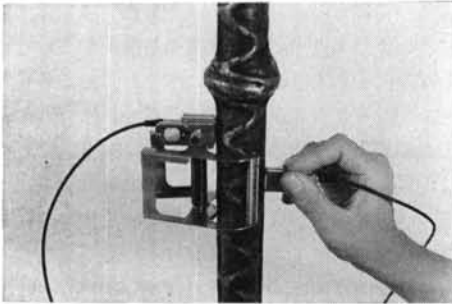
図-4 専用簡易探傷器の前面および側面パネル



図一五 基準感度の設定



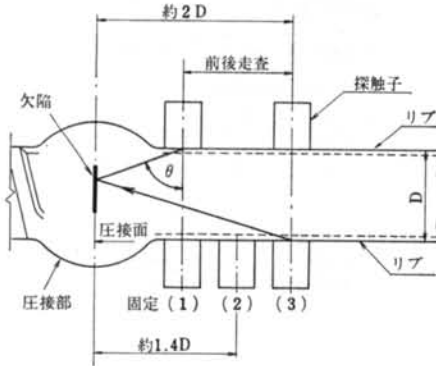
写真一四 現場における基準感度の設定状況



写真一三 探触子保持治具



写真一五 現場における探傷状況



図一六 探触子操作図

- (1) 探傷器本体と探触子を接続する。
- (2) イヤホンを探傷器に接続する。
- (3) 電源スイッチを投入する。電源電圧が弱い場合は、チェックランプが点滅するので電池を交換する。
- (4) 鉄筋径つまみを、検査対象異形鉄筋の呼び名に合わせる。
- (5) イヤホンを耳に当てる。後の基準感度設定時に音がするので、その時点で適当な音量となるように音量調節つまみで調節する。
- (6) 1ステップ 20dB 減衰器つまみ、および 1dB 毎20ステップの 20 dB の減衰器つまみを 0 にする。
- (7) 1ステップ 24dB 減衰器つまみ (探傷スイッチ) を OFF (CAL) にする。
- (8) リブにグリセリンを塗布する。塗布する範囲は探触子がリブに接する位置近辺である。

(9) 図一五に示すように探触子を配置し、基準感度を設定する。この状態で警報ランプが点灯し、イヤホンから警報音が鳴る。

(10) この状態で 1dB ステップの減衰つまみ②を 1dB ずつ増加させる。このとき、探触子保持治具 (写真一三) があれば便利である。減衰つまみを 1dB ずつ入れてゆくと警報音は徐々に下がり、ついにあるところで警報ランプが消える。

(11) 一方の探触子を前後走査し、警報ランプが再び点灯する探触子位置を探す。このとき、イヤホンの音色の変化に注目し、音色が上がる方向に探触子を動かす。警報ランプが再び点灯する点がなかったら、イヤホンの音色が最も高くなる位置で探触子を止める。また、警報ランプが点灯する点があったら、その位置で減衰つまみをランプが消えるまで回す。そして再び一方の探触子を前後走査し、警報ランプの点灯する点を探す。以上の操作を繰り返し、警報ランプが点灯しないでイヤホンの音色が最も高くなる位置を求める。

(12) その後、減衰つまみを 1dB 戻せば (dB 数を 1 減ずる) 警報ランプは点灯する。この状態が基準感度である。

(13) 次に、探傷スイッチを ON (TEST) にする。この状態では、基準感度 -24dB のレベルで警報ランプが点灯する。実際に用いた合否判定レベルで探傷する場合は、

試験体	繰り返し数	汎用器		専用探傷器	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
D25-L	50	-6.8	1.73	-6.1	2.08
D25-U	50	-7.9	1.88	-7.6	1.94
D32-L	50	-19.0	1.75	-19.1	1.45
D32-U	50	-21.9	1.65	-22.5	1.18
D38-L	50	-8.4	1.91	-8.9	2.08
D38-U	50	-9.1	1.92	-8.2	1.90
D51-L	50	-10.4	1.86	-10.6	2.35
D51-U	50	-18.4	1.77	-17.9	1.94

表-3 汎用器および専用器で繰り返して探傷したときのエコー高さのばらつき

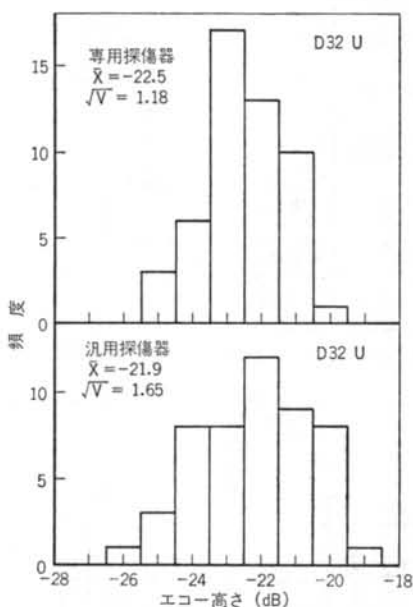


図-7 汎用器および専用器で測定したエコー高さのばらつきその合否判定レベルの-24dBに対する高低を求め、減衰つまみ②、⑦で設定する。

④図-6に示すような探触子走査を、圧接部のふくらみをはさむ両側で行なう。この時点で警報ランプが点灯すれば、その圧接部は不合格と判定できる。

⑤欠陥エコーが検出された場合、イヤホンの音色が最も高くなる位置に探触子を固定し、減衰器つまみ②、⑦を調節して警報ランプが消えるまで回す。

⑥減衰つまみを1dB戻せば警報ランプが点灯する。このときの減衰つまみの読みをA(dB)、基準感度設定時の読みをB(dB)、合否判定レベルをC(dB)とすると欠陥エコーレベルE(dB)は、

$$E = A - B + C \quad \dots\dots(2)$$

となる。

以上が操作手順である。現場における基準感度の設定状況を写真-4に、探傷状況を写真-5に示す。

## 2.6 探傷精度

表-3は、呼び名D25、D32、D38およびD51の圧接部に対して一般のAスコープ探傷器(汎用探傷器と表示)および試作した専用探傷器を用いて、それぞれ50回繰り返して探傷したときの最大エコー高さのばらつきを示したものである。ここで、探傷者は旧日本非破壊検査協会認定の1級技術者で、各径を1回づつ探傷し、それを50回繰り返す方法で行なった。また、基準感度はそのつど求めた。一例として、呼び名D32の圧接部のエコー高さの分布を図-7に示す。上段が専用探傷器を用いた場合、下段が汎用探傷器を用いた場合である。

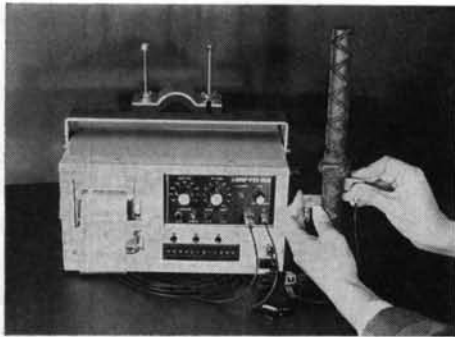
エコー高さは、平均値を中心としてほぼ正規分布に近い分布となっている。この分布を正規分布と仮定して、専用探傷器と汎用探傷器の測定精度の差を検定した。その結果、表-3に示すすべての試験体について、そのばらつき、平均値とも危険率5%で有意な差があるとはいえないことが分かった。汎用探傷器、専用探傷器に精度上の差は、実用上はないと考えてよい。

## 3. 自動記録装置の試作

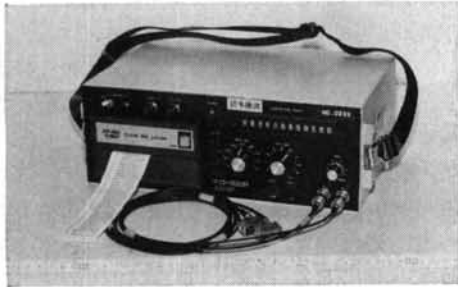
官庁工事や原子力工事においては、特に検査結果の記録性が重視される。先に開発した専用探傷器と記憶・記録装置を組み合わせた自動記録装置付きの専用簡易探傷器を試作した。

写真-6が試作1号機、写真-7が試作2号機である。試作1号機は重量が9kgであり現場における試用に耐えられなかったため、軽量小型化に重点を置いて開発したのが試作2号機である。2号機が普及型で、重量は3.7kg、幅30cm×高さ11cm×奥行き19.5cmの大きさで、首にかけて操作する。自動記録装置付き専用探傷器のシステム系統図を図-8に示す。構成および機能を図-4に示す。

探傷作業は基本的には専用簡易探傷器と同等である。探傷作業中に得られた最大エコー高さを記憶保持し、探傷作業終了後にあらかじめプリセットされた圧接箇所記号とともに合否および反射エコー高さの領域を指令によって印字する。ここで、合否判定レベル-6dB未満の場合は「-2」が、合否判定レベル-6dB以上0dB未満の場合は「-1」が、合否判定レベル以上6dB未満の場合「+1」が、合否判定レベル+6dB以上の場合に「+2」が印字される。したがって、-2、-1は合格、+1、+2は不



写真一六 自動記録装置付き鉄筋ガス圧接部専用簡易探傷器  
(試作1号機)



写真一七 自動記録装置付き鉄筋ガス圧接部専用簡易探傷器  
(試作2号機)

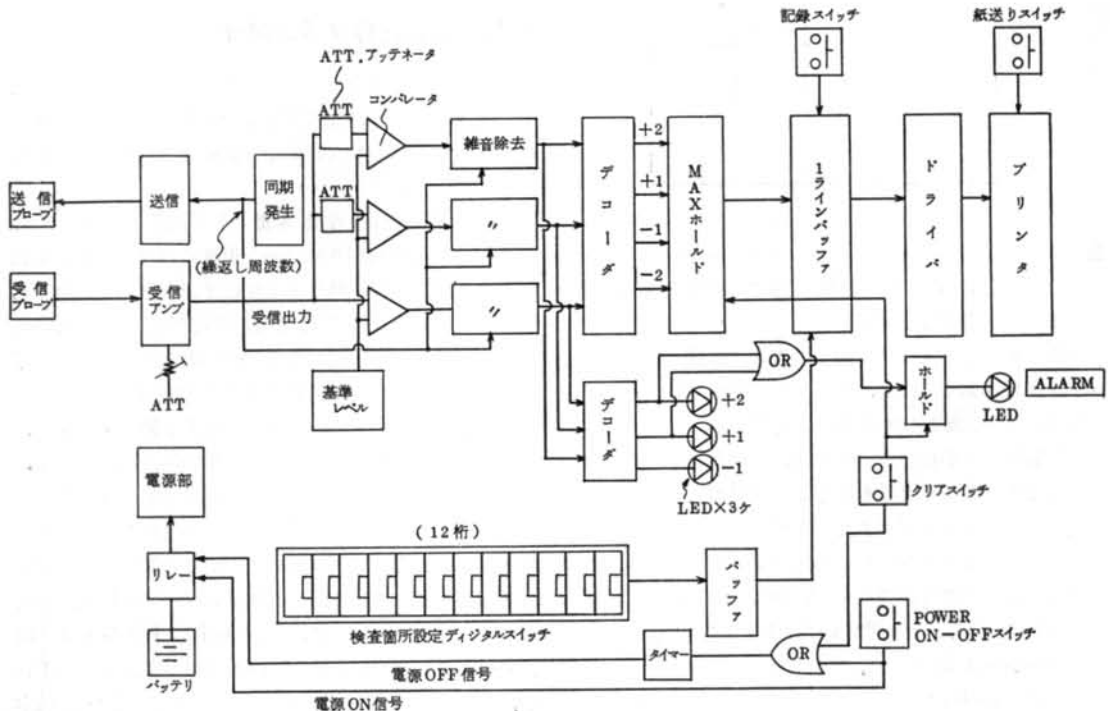
合格を、その数字は圧接部の品質のレベルを表示しているといえる。検査結果の印字例を図一9に示す。

#### § 4. まとめ

小型、かつ軽量で操作の容易な圧接部専用簡易探傷器を開発・試作した。この探傷器は、圧接部の超音波探傷法における基本的な操作であるところのリップ間の透過パ

電源	NiCd 蓄電池 (充電式, 1回8時間作動) 6V 3.5 Ahr, 電圧低下表示機構具備
送受信部	一般の探傷器と同様
減衰器	1ステップ24dB, 1ステップ20dB, 1dB 毎20ステップ20dB
ゲート部	図一2に示されるゲートが1操作で設定できる
プリセット部	12桁の英数字をプリセットできる
出力部	ランプ (反射エコー高さにより4領域に分けて表示) 4個, イヤホン
印刷装置	プリセットした英数字および合否, 反射エコーレベル (4領域) を印字
探触子	5Z5×5A70 2箇

表一四 自動記録装置付き専用簡易探傷器の構成と主要性能



図一八 自動記録装置付き専用探傷器のシステム系統図



C07AH4081104	+1
C07AI4081104	+1
C07AH4081105	-2
C07AI4081105	-2
C07AH4081105	-2
C07AH4081106	-2
C07AI4081106	-2
C07AH4081107	+2
C07AI4081107	+2
C07AH4081108	-2
C07AI4081108	-2
C07AH4081109	-2
C07AI4081109	-2
C07AH4081110	-1
C07AI4081110	-1
C07AI4081111	-1
C07AI4081112	-1

合否および  
エコーレベル

箇所記号

場所記号

図一 自動記録装置付き鉄筋ガス圧接部専用簡易探傷器による検査結果の印字例

ルスレベルによる基準感度の設定、およびリブからの2探触子K走査法による最大エコー高さの測定を、CRTを

用いずに警報ランプもしくはブザー、および減衰つまみを用いて行なうことができる。重量は1.2kgで、大きさは幅15cm、高さ7.2cm、奥行13cmであり、足場等の作業環境のきわめて悪い現場において、首にかけて能率的かつ完全に探傷作業を行なうことができる。また、その探傷精度も一般のCRT付きのAスコープ探傷器と有意な差がないことを確認した。

上記の専用探傷器の機能に、検査結果の記憶・印字機能を付け加えた自動記録装置付きの専用探傷器を試作した。本探傷器は重量3.9kgで幅30cm、高さ11cm、奥行19.5cmである。

謝辞 本研究の実施に当たりご協力を頂いた、三菱電機 関係倉製作所松山宏氏、羽梁嘉郎氏、佐藤春治氏に深甚なる謝意を表します。また、本研究をまとめるに当たり懇切なご教示をいただいた、東京工業大学精密工学研究所教授奥島甚良博士、同工業材料研究所教授黒正清治博士に深い感謝の意を表します。試作機の製作に当たっては、故安孫子淳三氏のご協力を得ました。感謝いたします。

#### <参考文献>

- 1) 齊藤鉄夫, 矢部喜堂, 倉持貢, 藤盛紀明: “鉄筋ガス圧接部の超音波探傷法の基礎理論(その1) 一欠陥性状の把握と探傷手法の検討一” 清水建設研究報告 第40号(1984年10月)
- 2) 齊藤鉄夫, 矢部喜堂, 倉持貢, 藤盛紀明: “鉄筋ガス圧接部の超音波探傷法の基礎理論(その2) 一品質評価手法の検討一” 清水建設研究報告 第41号(1985年4月)
- 3) 齊藤鉄夫, 矢部喜堂, 倉持貢, 藤盛紀明: “鉄筋ガス圧接部の超音波探傷法の基礎理論(その3) 一最大エコー高さと引張耐力の相関関係に関する考察一” 清水建設研究報告 第42号(1985年10月)
- 4) 齊藤鉄夫, 矢部喜堂, 小早川恵実, 藤盛紀明: “鉄筋ガス圧接部の超音波探傷法の基礎理論(その4)” 清水建設研究報告 第43号(1986年4月)
- 5) 齊藤鉄夫, 矢部喜堂, 小早川恵実, 藤盛紀明: “鉄筋ガス圧接部の超音波探傷法の基礎理論(その5) 一検出できない欠陥と品質管理の方法一” 清水建設研究報告 第44号(1986年10月)
- 6) 福原照明: “斜角探触子の屈折角の温度依存性” 日本非破壊検査協会202小委員会資料

