

## 建築鉄骨溶接部用超音波自動探傷装置の開発

藤 盛 紀 明  
倉 持 貢

### § 1. まえがき

著者等は溶接部の超音波探傷試験に関する基礎的研究を進めてきた<sup>1)2)3)4)5)6)</sup>。それらの成果をもとにして、溶接部の超音波探傷試験方法の日本工業規格 (JIS) の専門委員会が1974年の12月に開催されるまでに至った。

超音波探傷試験について、現在もっとも急を要することは試験の自動化である。超音波探傷試験の自動化については、他分野ですでにかなり進められている<sup>7)8)</sup>。

しかし、建築鉄骨用の自動装置は、次節で述べるように、他分野のそれと比して、多くの制約条件をもっている。

本報告は、軽量、小型、簡便を旨とした建築鉄骨溶接部用の超音波自動探傷装置の開発に関するものであるが、得られた成果は他分野の溶接の検査にも十分応用し得るものである。

### § 2. 建築鉄骨溶接部用自動探傷装置に課せられた制約条件

鋼構造建築溶接部用の超音波探傷装置は、造船用比べて次のような制約条件がある。

- ①溶接線が短かく、かつ飛び離れている。
- ②高所作業が多い。
- ③継手形状、開先形状が複雑である。
- ④種々の板厚がある。
- ⑤各種溶接方法があるが、一般に手溶接が多く、欠陥発生位置が一定していない。
- ⑥溶接施工業者の規模が千差万別である。

そのため鋼構造建築用の装置は、軽量、小型、堅牢、低廉、かつ継手形状への適用性が満足されることが要求される。また本装置の使用にあたっては、オペレーターに熟練を要求せず、得られた結果が記録され、その記録により検出された欠陥の等級分類が容易に、しかも合理

的に行ない得ることが要求される。

### § 3. 左右走査形装置 (試作1号器)

#### 3.1 概要

本装置は写真-1に示す本体 (制御・記録部) と写真-2および写真-3に示す走査器からなっている。走査器

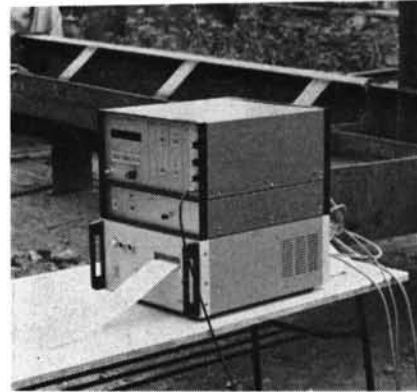


写真-1 本体

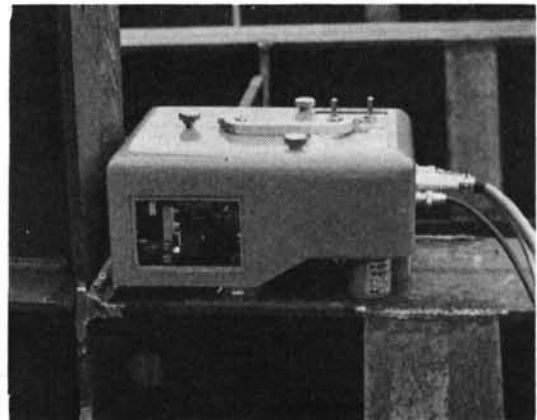


写真-2 走査器A

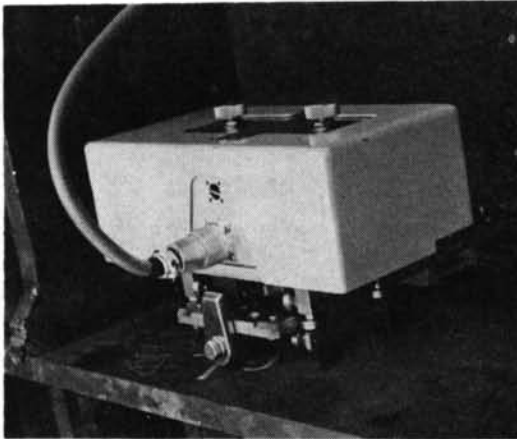


写真-3 走査器B

に取り付けられた探触子は、図-1に示すように決められた範囲を数段に分けて左右走査される。

探傷結果は時分割法によるマルチプルゲートとA-D変換により、ビートエコーと欠陥エコーを識別できるようにラインプリンタで印字される。エコー高さは数字で表示される。

本体は適当な場所に設置し、走査器だけを探傷場所に運ぶ。この間はケーブルで接続される。

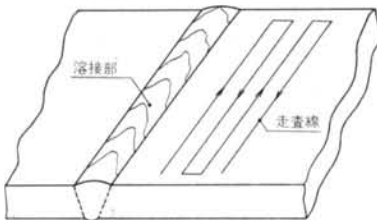


図-1 探触子の走査

### 3.2 探傷方式

超音波による斜角探傷方式で、そのブロック図を図-2に示す。

送信部、受信部は一般の探傷器と同様である。時間軸は、被探傷材中を伝播する音速に対応した周波数で発振する発振器により制御される。零点調整は探触子のくさび内の超音波の遅れを調整するためのプリセットカウンタで、同期信号が発信されてより音速発振信号を計数して遅れに対応する時間を測定して、ゲート位置初期手動設定回路に送る。この回路もプリセットカウンタでビーム路程に合せて設定する。この値は基準探触子距離によ

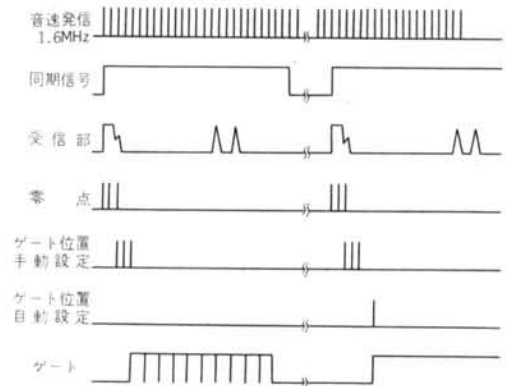


図-3 タイムチャート

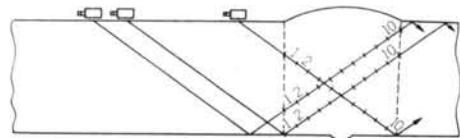


図-4 ゲートと溶接部

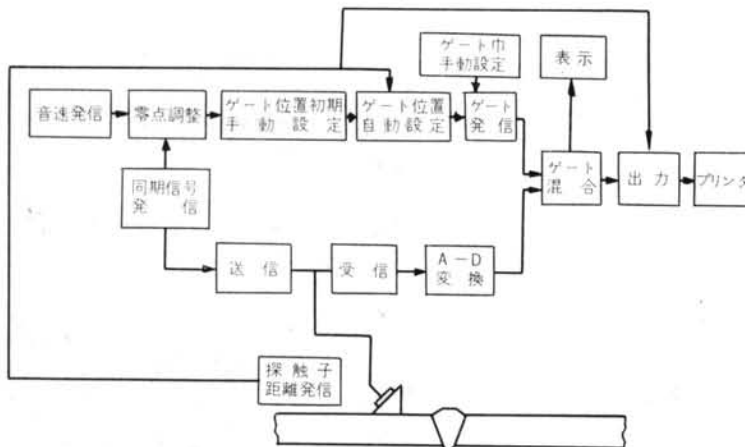


図-2 左右走査形装置および前後走査形装置のブロック図

り決める。次に探触子が走査され、探触子距離が単位長さ変化するごとにゲート位置を自動的に変化させ、常に溶接部にゲートがかかるようにする。ゲート幅は手で設定され、ゲート位置設定信号が入ってより決められた幅のゲートが連続して10個発振する。

受信部よりの出力はA-D変換された後にゲートと混合され、表示部でエコー高さを数値で表示される。この場合、10個のゲートから独立に出力をだし表示するので、ゲートの番号が探傷器の時間軸に相当し、個々の数値がエコー高さに相当する。

次の出力回路では、探触子距離が一定の長さ走査されるごとにプリントアウトさせる。この場合その間の最大値をプリントさせるための比較器を持っている。

この間の時間関係を、図-3に示す。図-4は、被探傷材のどの位置にゲートがかかっているかを示す図である。

このように、あらかじめ探触子距離の基準を決めて、そのビーム路程にしたがって初期ゲート位置を手動設定すれば、あとは自動的に探触子距離の変化に応じて、ゲートの位置も変化して、常に溶接部の近傍が10のゲートで分割され、各ゲートに入ったエコー高さをA-D変換して探触子位置と同時にプリントアウトさせることになる。

### 3.3 各機器の機能および性能

本装置の構成は表-1に示すようである。以下に各構成機器の機能および性能を示す。

#### (1) 本体

##### (a) 送受信部

一般の探傷器と同様である。距離補正回路、減衰器

本体	①超音波探傷装置	減衰器 DAC 回路内蔵
	内 送受信部 表示部 ゲート制御部 ゲート部 出力部 電源部	デジタル表示
	②プリンタ部	20桁
	③操作ボックス	
走査器	①マグネット式	溶接線長さ150~300mm用、および80~150mm用
	②レール式	主として梁下端用
付属品	①探触子ケーブル	
	②電源ケーブル	

表-1 左右走査形装置の構成

が内蔵されている。

#### <性能>

- ①総合感度：STB-A2 試験片  $2\phi \times 2$  の人工欠陥を検出可能
- ②直線性：NDIS-2404 で規定した内容を満足
- ③分解能：同上
- ④減衰器：1dB ステップ 60dB 以上
- ⑤DAC：20dB 以上補正可能  
補正曲線は指数関数

#### (b) 表示部

数値で表示する。時間軸は10桁、垂直軸の読みの数値は0~9まで、図-5に表示例を示す。

時間軸の最小単位は1mmで9mmまで、1mmステップに可変できる。

#### (c) ゲート制御部

探触子距離を0.5Sの位置におく。このときのビーム路程によりゲートスタート点を手動で設定する。探触子が走査され、探触子距離が1mmずれるごとにゲートのスタート点を $(1/\sin 70^\circ)$ mmずらす。時間は距離に換算された周波数で発振する水晶発振器を使用しているので非常に正確である。

精度は $\pm 1$ mm。

#### (d) ゲート部

A-D変換部およびマルチプルゲート部より構成される。

A-D変換部は、受信部出力のエコー高さを10に分

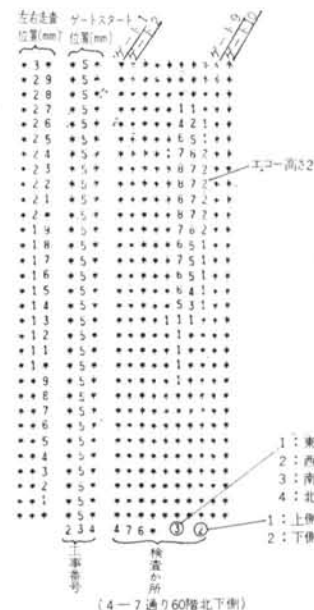


図-5 記録例

割する。マルチプルゲート部はゲートを10分割して、エコー高さと10×10のマトリックスを作り、表示部で表示すると同時に出力部に送る。

<性能>

- ①A-D変換精度 ±5%
- ②ゲート幅 0~9mm, 1mm ステップ

(e)出力部

ゲート部の出力をプリンタに印字させるための回路で探触子が一定距離走査するごとにその間の最大エコー値を印字させる。印字間隔は5mm または10mm。

(f)電源部

- AC 100V 入力を DC に変換、各部に供給する。
- 入力電圧 AC 100V  $\begin{matrix} +5\% \\ -20\% \end{matrix}$

(g)ラインプリンタ

探傷結果を記録する。記録内容は探触子の位置(長手方向)3桁、探触子距離3桁、探傷結果10桁。

印字速度 5桁/sec

(h)操作ボックス

走査器を操作するためのスイッチ、および自動的に走査するための制御回路を内蔵する。片手で簡単に持て、走査器・本体のいずれにも接続可能である。

(2)走査器

(a)概要

走査器はポータブル形として、どのような方向にも被探傷材に固定できる永久磁石を有している。探触子と被探傷材との接触状態は一定に保たれる構造となっている。左右幅(W)、ジグザグの幅(P)は任意に設定することができる。ゲートのスタート点の制御、およびプリンタの印字指令を発するために探触子が左右、前後に1mm移動するごとに1パルスを発振する。

(b)仕様

- ①駆動源: AC 100V, または 60Hz モータ 使用
- ②走査速度: 左右, 前後とも 20mm/sec
- ③勝手: 被探傷材の形状によって右勝手, 左勝手に自由で使用可能。
- ④探触子位置信号: 探触子が前後, 左右に1mm走査されるごとに1パルスを発振する。左右に走査される場合はプリンタの印字指令信号として使用され, 前後に走査される場合はゲートのスタート点を制御する信号として使用される。
- ⑤重量: 8kg 以下

3.4 操作要領

以下のような操作で行なう。

- ①A1 試験片で入射点、屈折角を測定し、零点調整を行なう。
- ②A2 試験片で距離振幅補正をする。
- ③被探傷材に合せてゲートのスタート位置、幅を設定する。ゲートの調整はあらかじめ表を作っておき、この表に従って行なえばよい。
- ④探傷器の感度を STB-A2 試験片を使用して設定する。
- ⑤被探傷材の表面を清掃して、探触子の走査部にグリセリンを塗布する。
- ⑥探触子走査器を基準線に合せて設置する。基礎線は被探傷材表面にあらかじめ開先より一定の距離に画かれているものとする。
- ⑦探触子を基準の位置に合せて設定完了ランプが点灯する。
- ⑧設定完了ランプが点灯したならば、探傷開始ボタンを押す。探触子は走査を開始し、探傷結果は自動的にプリントされる。
- ⑨探傷が終わると装置は自動的に停止する。記録を見て可否の判定を行なう。

3.5 探傷結果例

(1)STB-A2 の探傷

図-6に走査装置の概要を示す。図-7にスキャンナンバー3の記録を示す。

(2)突合わせ溶接部の探傷

図-8に試験体および走査位置の概要を示す。図-9に

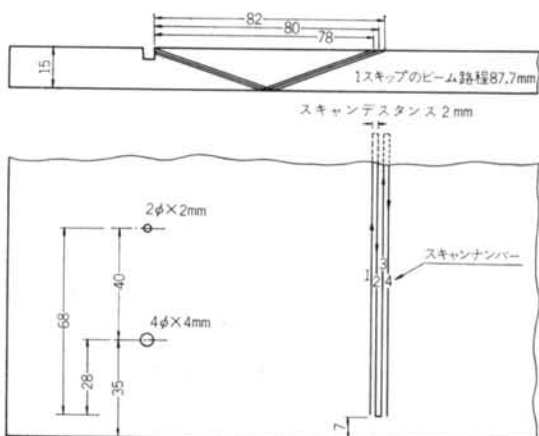


図-6 走査位置の概要

スキャンナンバー1の記録を示す。図-10に欠陥位置を示す。

### 3.6 考察

本装置で得られる記録は、放射線透過試験の写真と同じく、溶接部を上から透視したようなものである。しかし、放射線透過試験と異なり、欠陥の深さ、溶接線上の位置、エコー高さ、欠陥の長さも容易に読みとることが



図-7 STB-A2の探傷, スキャンナンバー③

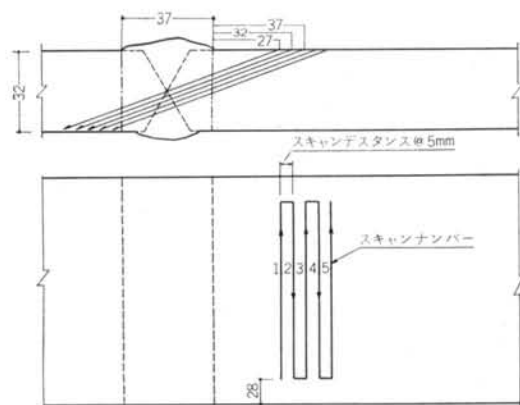


図-8 試験体および走査位置概要

できる。本装置は、3.3で示した機能と性能を損うことなく、写真-1に示すよりもより軽量・小型にすることができ

る。本装置の問題点は、記録結果の用紙が長くなることである。



図-9 図-8の突合せ溶接部の探傷記録, スキャンナンバー①

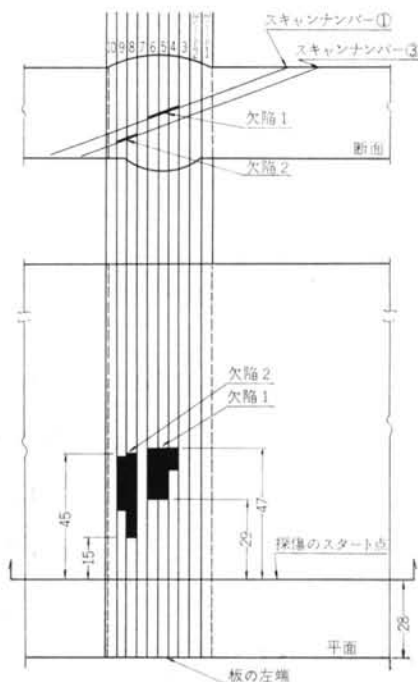


図-10 欠陥位置図

## § 4. 前後走査形装置（試作 2 号器）

### 4.1 装置の概要

本装置は写真-4に示す本体（制御・記録部）と写真

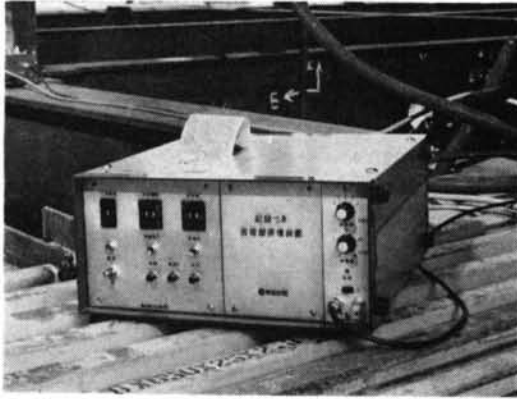


写真-4 本体

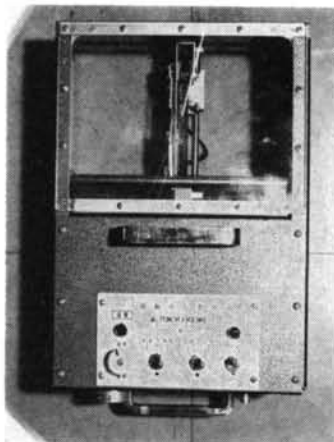


写真-5 走査器A

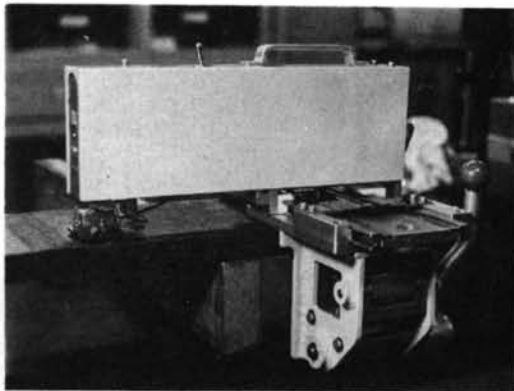


写真-6 走査器B

—5および写真-6に示す走査器からなっている。走査器に取り付けられた探触子は、図-11に示すように決められた範囲を数列に分けて前後走査される。

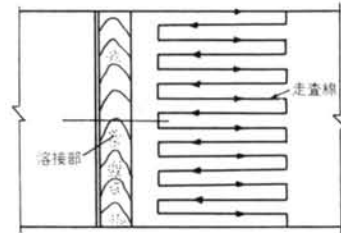


図-11 探触子の走査



図-12 記録例

本 体	超音波探傷器部 信号処理部 プリンタ部 走査器制御部	} を含む
表 示 器	外付き	
走 査 器	被試験体には電磁石で固定される	
レ ー ル	走査器用	
そ の 他	電源ケーブル、探触子ケーブル 制御ケーブル、記録紙10本	

表-2 前後走査形装置の構成

### 4.2 装置の構成・性能および記録形式

装置の構成を表-2に、性能を表-3に、記録形式を図-12に示す。

名称	項目	性能および仕様
本体	本体重重量	約10kg
	" 大きさ	200mm(高さ)×340mm(幅)×400mm(奥行)
	探傷器の性能	NDIS 2404-74で規定する内容を満足
	ゲートの数	10
	ゲート幅の最小単位	0.1mm
	ゲート幅の可変範囲	0.6~99mmまで0.1mm単位(1ゲートあたり)
	ゲート幅の精度	±2%
	ゲート起点の可変範囲	手動0~99mm, 自動で0~99mm 合計198mm
	" の精度	±2mm
	信号処理方式	1回の前後の走査により各ゲートごとエコー高さを加算, または最大値検出
	プリンタ	ノンインパクト放電記録紙
	前後走査範囲	0~99mm手動設定(1mmごと)
走査間隔	0~9mm手動設定(1mmごと)	
表示器	表示方式	本体と接続することにより, ゲート内のエコー高さをそれぞれ独立に数値で表示
走査器	駆動源	パルスモータによる
	前後走査駆動	ロープによる, ロープ外径約1mm
	平行走査駆動	ラックのあるレール上を平行走査
	重量	約5kg
走査器	前後走査範囲	最大100mm
	平行走査範囲	レール長さによる
レール	走査速度	2mm/sec
	固定方式	ネジによる
	レール長さ	300mm平行走査できる長さ
レール	重量	5kg
	振触子制御	ケーブル長 10m
レール	電源ケーブル長	10m

表-3 前後走査形装置の性能および仕様

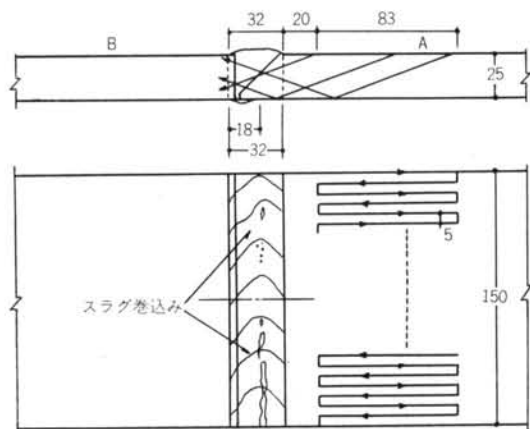


図-13 試験体および走査位置概要

### 4.3 操作手順

以下のような手順で行なう。

005	0000000000
010	0000000000
015	0000000000
020	0000000000
025	0000000000
030	0001111000 欠陥
035	0001000000
040	0001100000
045	0001100000
050	0001000000
055	0000000000
060	0000000000
065	0000000000
070	0000000000
075	0000000000
080	0000000000
085	0000000000
090	0002200000
095	0000100000
100	0002121000 欠陥
105	0012331100
110	0001110000
115	3002200000
120	0001132000
125	0001171000
130	0044265110
135	0013351000
140	0026541100
145	0002252000

図-14 図-13の裏はつり形式突合せ溶接部の探傷記録

a) 専用の試験片により, 時間軸および感度を設定する。これに要するつまみ類は, すべて本体内部に収納されている。

b) 溶接ビード幅を測定し, この幅をそのまま溶接幅として設定する。

c) 板厚により探触子の前後走査範囲, および左右走査間隔を設定する。

d) 被探傷材表面のスパッタ等を除去し, 接触媒質を塗布する。

e) 走査器のガイドとビードのトウを合わせて, 走査器を設置する。

f) 復帰ボタンを押す。探触子は自動的に探傷開始点にくる。探傷開始点に探触子が復帰されると, 準備完了ランプが点灯する。この完了ランプが点灯していないと

以後の操作を行なっても探触子は走査しない。

g) 準備完了ランプが点灯したならば、走査開始ボタンを押す。探傷ランプが点灯し、探触子はあらかじめ定められた走査線に沿って走査される。

h) 探傷結果は順次プリントアウトされる。

i) 溶接部を全域探傷すると、走査は自動的に停止し、探傷ランプは消灯する。

#### 4.4 探傷結果例

##### (1) 裏はつり形式突合せ溶接部の探傷

試験体の形状を図-13に示す。(図中の欠陥種類、寸法、分布はX線フィルムから転写したものである)

探傷条件は以下のようである。

- イ) 探触子：5Z10×10A70
- ロ) ゲート開始点のビーム路程：37mm
- ハ) 左右走査のスタート点：5mm
- ニ) 感度：STB-A2の4φ×4mm, 1スキップで表示5ホ
- ホ) 溶接幅：32mm(測定値)
- ヘ) 左右走査間隔：5mm
- ト) 前後走査範囲：83mm

探傷記録を図-14に示す。記録結果から欠陥が2つあることが分る。

また欠陥の分布、大きさはX線フィルムの結果とよく一致することが分る。

##### (2) 裏当金付き突合せ溶接部の探傷

試験体の形状を図-15に示す。(図中の欠陥種類、寸法、分布はX線フィルムの結果と、手探傷の結果を転写したものである)

探傷条件は以下のようである。

- イ) 探触子：5Z10×10A70
- ロ) ゲート開始点のビーム路程：37mm
- ハ) 左右走査のスタート点：5mm
- ニ) 感度：STB-A2の4φ×4mm, 1スキップで表示5ホ
- ホ) 溶接幅：36mm
- ヘ) 左右走査間隔：5mm
- ト) 前後走査範囲：80mm

探傷結果を図-16に示す。記録結果から、欠陥は溶接線の半分にわたってみられる。残りの半分にみられる反射エコーは、母材と裏当金とのすきまからの妨害エコーである。両者は1ゲート分ずれて記録され、この分離は可能である。

##### (3) 裏はつり形式T継手の探傷

試験体の形状を図-17に示す。(図中の欠陥種類、寸法、分布は手探傷による結果を写したものである)

探傷条件を以下に示す。

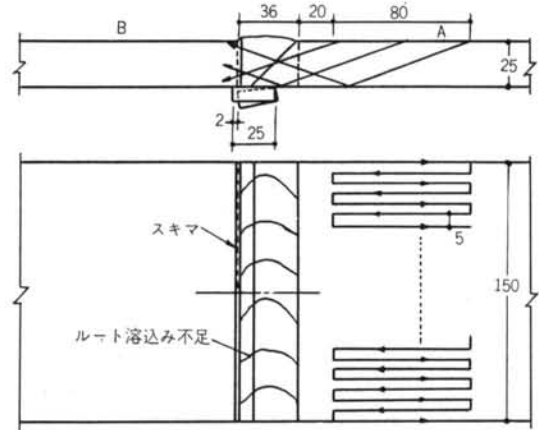
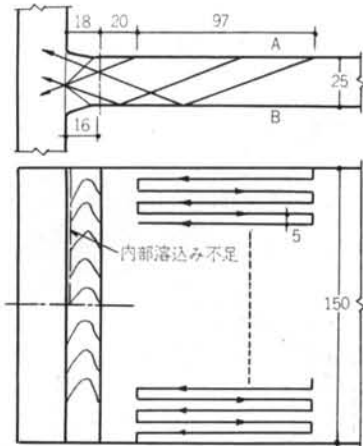


図-15 試験体および走査位置概要

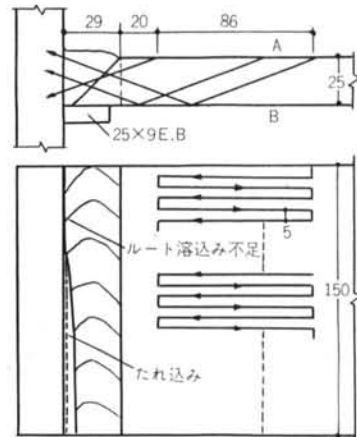
005	1200000000
010	1100000005
015	0000000002
020	0000000002
025	0000000002
030	0000000001
035	0000000002
040	0000000001
045	0000000003
050	0000000003
055	0000000003
060	0000000000
065	0000000000
070	0000000000
075	0323100010
080	0000000022
085	0000000021
090	0000000022
095	0000000001
100	0000000011
105	0000000011
110	0000000011
115	0000000031
120	0000000022
125	0000000011
130	0000000000
135	0000000000
140	0000000001
145	0000000022
150	1011000001

図-16 図-15の裏当金付き突合せ溶接部の探傷記録





図一17 試験体および走査位置概要



図一19 試験体および走査位置概要

005	0000000001
010	0000100002
015	0000110002
020	0000000003
025	0000000005
030	0000000006
035	0000000006
040	0000000004
045	0000000004
050	0000000004
055	0000000003
060	0000000003
065	0000000004
070	0000000003
075	0000000002
080	0000000000
085	0000000000
090	0000000000
095	0000000000
100	0000000000
105	0000000000
110	0000000000
115	0000000000
120	0000000000
125	0000000000
130	0000000000
135	0000000000
140	0000000000
145	0000000000
150	1000010000

005	0000000000
010	0000000000
015	0000000011
020	0000000023
025	0010000221
030	0000000011
035	0000000012
040	0000000021
045	0000000020
050	0000000002
055	0000000000
060	0001000000
065	0000000010
070	0000000001
075	0000000001
080	0000000000
085	0000000000
090	0000000000
095	0000000000
100	0000000000
105	0000000110
110	0000000000
115	0000000010
120	0000000000
125	0000000000
130	0000000000
135	0000000000
140	0000000000
145	0000000000
150	0000000000

(a)溶接幅：29mm

005	0000000101
010	0000000006
015	0000000109
020	0000000224
025	1000000213
030	0000000116
035	0000000116
040	0000000227
045	0000000119
050	0000000006
055	0000000006
060	0001100004
065	0000000118
070	0000000002
075	0000000001
080	0000000005
085	0000000001
090	0000000000
095	0000000001
100	0000000000
105	0000000101
110	0000000000
115	0000000101
120	0000000000
125	0000000002
130	0000000000
135	0000000001
140	0000000002
145	0000000000
150	0000000000

(b)溶接幅：31mm

図一18 図一17の真はつり形式T継手の探傷記録 図一20 図一19の裏当金付きT継手の探傷記録

- イ) 探触子：5Z10×10A70
- ロ) ゲート開始点のビーム路程：37mm
- ハ) (左右走査のスタート点：5 mm
- ニ) 感度：STB-A2 の  $4\phi \times 4\text{mm}$ ，1 スキップで表示5
- ホ) 溶接幅：18mm
- ヘ) 左右走査間隔：5 mm
- ト) 前後走査範囲：97mm

探傷結果を図-18に示す。記録結果では、欠陥だけがみられ、この継手の手探傷に数多くみられる妨害エコーはすべて削除されている。また、欠陥は柱フランジ面に位置し、このことと溶接施工条件を合わせて考えれば、内部溶込み不足との推定もできる。

#### (4) 裏当金付き継手の探傷

試験体の形状を図-19に示す。(図中の欠陥種類、溶接たれ込みは手探傷の結果を図示した)

以下に探傷条件を示す。

- イ) 探触子：5Z10×10A70
- ロ) ゲート開始点のビーム路程：37mm
- ハ) 左右走査のスタート点：5 mm
- ニ) 感度：STB-A2 の  $4\phi \times 4\text{mm}$ ，1 スキップで表示5
- ニ) 溶接幅：29mm
- ヘ) 左右走査間隔：5 mm
- ト) 前後走査範囲：86mm

探傷結果を図-20(a)に示す。記録は欠陥だけである。図-20(b)は溶接幅を2 mm 増して31mm としたときの結果である。この図では、欠陥からの反射波とたれ込みからの反射波がみられる。しかし、両者は2ゲート分ずれて表示され、その分離は可能である。通常は図-20(a)に示される記録であるので、妨害エコーは削除できる。

#### 4.5 考察

本装置による記録用紙は、ほぼ溶接長に等しい。表示



写真-7 現場の探傷状況

方法は3.1の左右走査形装置と若干異なるが、放射線透過試験の写真と同じく、溶接部を上から透視したようなものである。欠陥の長さ、位置、エコー高さも容易に読みとることができる。現在、記録に欠陥深さも表示できるように改良中である。

本装置はスキャナーを少し改良すれば、曲面材の探傷、極厚材の探傷、長い溶接線の探傷にも利用できる。

## § 5. あとがき

写真-7に本装置による超高層現場における柱-梁接合部の探傷風景を示す。

良い建物を安く売ることが、われわれに課せられた使命である。本装置がその役割の一端を担うであろうことを願う。

本装置は聯東京計器と共同開発したもので、特許を多数出願中である。

#### <参考文献>

- 1) 藤盛紀明：“鋼溶接部の超音波斜角探傷試験に関する研究（その1：表面に開口した長いスリット状傷の深さの推定方法の検討）”日本建築学会論文報告集，第173号 昭和45年7月
- 2) 藤盛紀明：“鋼溶接部の超音波斜角探傷試験に関する研究（その2：De法による欠陥長さの推定に関する考察）”日本建築学会論文報告集，第177号 昭和45年11月
- 3) 藤盛紀明：“鋼溶接部の超音波斜角探傷試験に関する研究（その3：プロホールの応答特性）”日本建築学会論文報告集，第193号 昭和47年3月
- 4) 藤盛紀明：“鋼溶接部の超音波斜角探傷試験に関する研究（その4：探傷面のあらさの影響と接触媒質の効果に関する実験）”日本建築学会論文報告集，第199号 昭和47年9月
- 5) 藤盛紀明：“鋼溶接部の超音波斜角探傷試験に関する研究（その5：内部溶込み不足の応答特性）”日本建築学会論文報告集，

第 205 号 昭和48年 3 月

- 6) 藤盛紀明：“鋼溶接部の超音波斜角探傷試験に関する研究（その6：ルート溶込み不足の応答特性）”日本建築学会論文報告集，第 209 号 昭和48年 7 月
- 7) 上野立：“片面自動溶接の探傷実験”（NDI 資料2458）
- 8) 菊池普一他：“平板溶接継手の超音波自動探傷”（NDI 資料2464）

