

鋼床版溶接部の自動超音波探傷

郡 司 敬 一 *

山 下 文 武 **

工 藤 憲 二 ***

1. まえがき

道路橋鋼床版溶接部の検査は、一般的に放射線透過試験による抜取り検査が多く行なわれている。しかし、放射線透過試験では、橋桁内に入り込んで、X線フィルムを着脱する必要があり、作業性が良いとは言えない。また、撮影時の立入り禁止区域の設定等安全面でも問題がある。

今回、住友金属より借用した、溶接部の自動超音波探傷装置を使用し、建設省東京国道工事事務所の御協力を得て、現場溶接部（国道6号線言問橋側径間上部工事）の検査に適用し、作業性、検出能等につき検討を行ったので報告する。

2. 鋼床版溶接部

今回の鋼床版溶接部断面の略図と溶接条件を図-1に示している。板厚は12mmであり、溶接はサブマージ自動溶接(SAW)により裏当材(FAB)を用いて1passで行なう裏波法で行なった。ビード面は滑らかであり、超音波的には通常、妨害エコーを生じるような形状ではない。

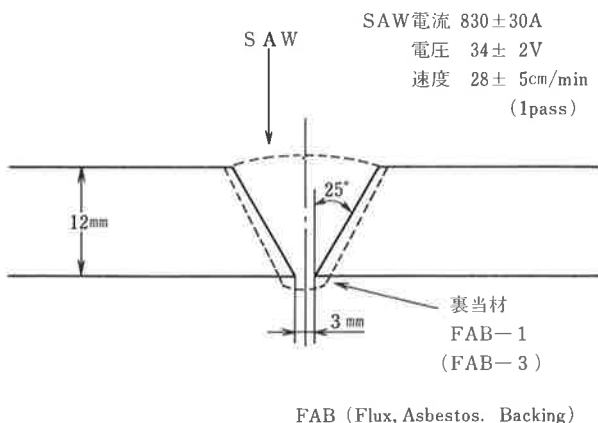


図-1 溶接条件

3. 自動超音波探傷装置

3-1 装置の概要

表1に装置仕様を示す。

表-1 装置仕様

探傷長さ及び時間	1500mm/回(速度Max、2m/min) 探傷結果の表示迄、約4分
探触子走査方法	横方形走査(3.0mmピッチ)
使用探触子	4B8×9A70
探傷結果の表示	プロッタ、プリンタ

3-2 装置ブロック図及び外観

装置ブロック図を図-2に示す、また写真-1は今回の現場探傷の状況を示している。本装置は計算機により、探触子走査機の制御（探傷）から、結果の表示迄を自動的に行う。

探触子走査機には、探触子走査の為に2回(X、Y)のパルスモータを内蔵している。パルスモータは、1パルス当たりの回転角度が正確であることから、1パルス当たりの探触子走査行距離を実験により確認しておけば位置測定に利用できる。本装置の位置検出(X、Y)もこれによっている。探触子は1回の探傷で溶接線長手方向に最大1500mmの範囲で走査する。また走査機はマグネットにより容易に鋼床版上に固定できる。

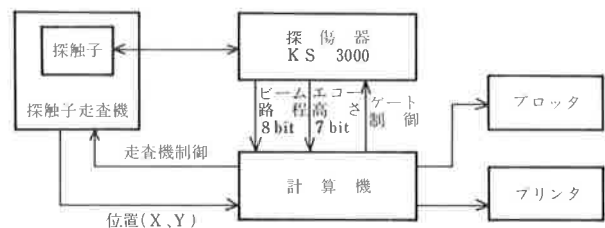


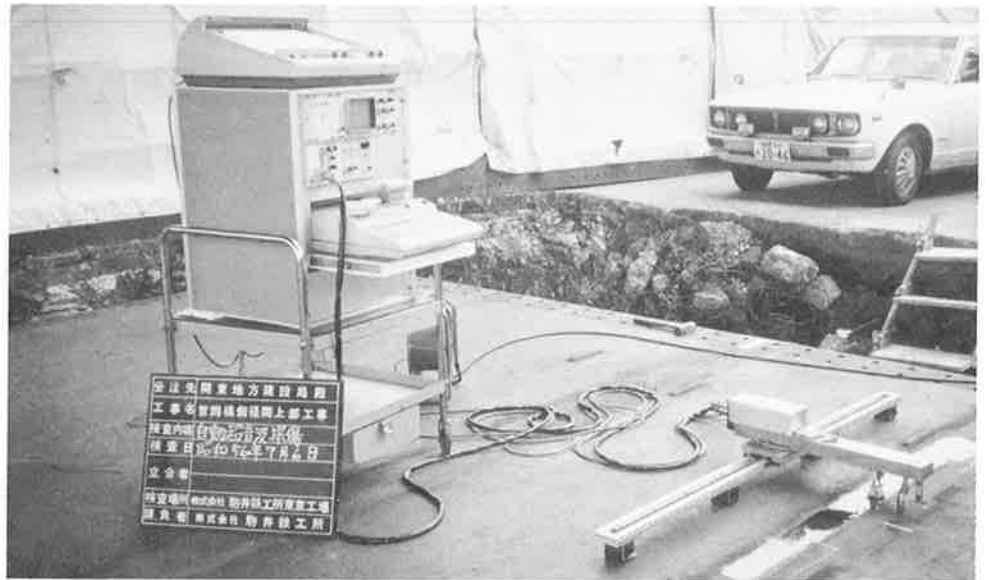
図-2 装置ブロック図

* 技術部部长

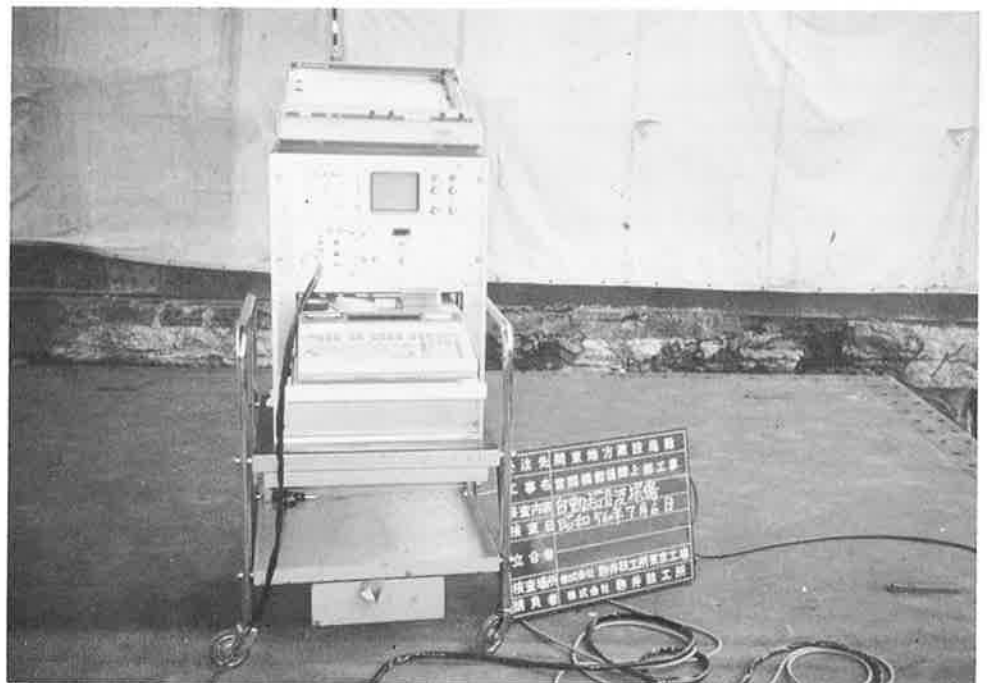
** 技術部東京品質管理課長

*** 技術部東京品質管理課技術係員

探傷状況



探傷器及び
データ処理装置



探触子走査器

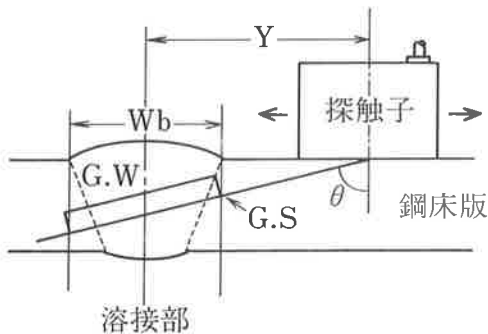


写真-1 自動探傷装置の外観

3-3 データ処理

データ処理の具体的方法について述べる。図-2のブロック図で示したように、計算機からは探傷器 (KS 3000) にゲート位置制御の為の信号が出力される。探触子位置が変わるとゲートを常に、溶接部に設定する必要があるため、①式に基づきゲートスタート点を計算機内で算出している。

ゲート幅は②式により計算できる、これらの関係を図-3に示している。



ゲートスタート点 $G.S = (Y - \frac{Wb}{2}) / \sin \theta$ …①式
 ゲート幅 $G.W = Wb / \sin \theta$ …②式
 ここで、Wb: ビード幅、Y: 探触子距離、 θ : 屈折角

図-3 ゲートの設定

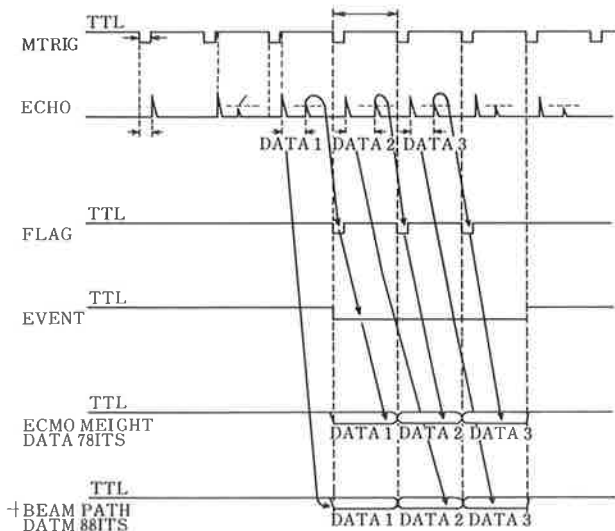


図-4 タイミングチャート

図-2には記していないが、この他に探傷器のしきい値を監視する信号も計算機から出力されている。従って、しきい値 (検出レベル) 以上のエコーが現れると、図-4のタイミングチャートに示すように、FLAGがHighからLowに変わり、この信号を起点にEVENT信号もHighからLowに変化し、探傷器からエコー高さのデータが7bit (0~127%)、ビーム路程のデータ8bit (0~255mm)で出力される。従って、計算機からはこのEVENT信号を監視し、HighからLowの変化を確認し、これら2つのデータと探触子位置(X、Y)を入力する。

このように探傷中は刻々データを計算機内に入力し、探傷終了後、欠陥があれば演算処理し、図-5に示す溶接部断、平面図データ用紙上にプロットし、左側枠内に欠陥の定量的評価、合否判定結果迄も出力する。欠陥がなければ図-5に示すデータ用紙余白部に「欠陥がない」ということを表示する。

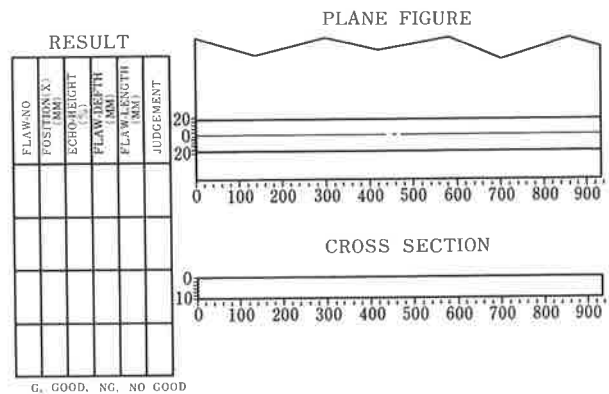


図-5 データ用紙

図-5の左側枠内には欠陥4個分の評価しか出来ないが、5個目からは、計算機内蔵のプリンタにより同様の内容を入力する。さらに探傷中、読み込んだ生データ (X、Yエコー高さ、ビーム路程) も出力する。図-6にプリンタによる出力例を示す。

Flow No.=	6	X =	754
X(mm)=	287	Y =	38
Echo Height(%)=	70	H =	17
Flow length(mm)=	6	W =	48
Flow Depth(mm)=	10	X =	755
		Y =	33
		H =	16
Class=	1	W =	43
Acceptable		X =	756
		Y =	42
		H =	16
		W =	54

評価結果

生データ

図-6 プリンタによる出力例

4. 自動超音波探傷方法及び結果と考察

4-1 探傷条件

今回の現場探傷は、片面片側探傷により実施した。探傷条件を表-2に示す。尚、準拠規格はJIS Z3060-75「鋼溶接部の超音波探傷試験方法及び試験結果の等級分類方法」である。

表-2 探傷条件

探触子走査方法 (ピッチ、速度 走査範囲)	横方形走査 (3.0mmピッチ) 速度 900mm/min 1スキップ以内
接 触 媒 質	グリセリン 100%
探 傷 感 度	STB-A 2 φ4×4 H線CRT (80%)
検 出 レ ベ ル	L検出レベル

4-2 探傷箇所

図-7に示すように、本所側Aライン約25mの探傷を行った。

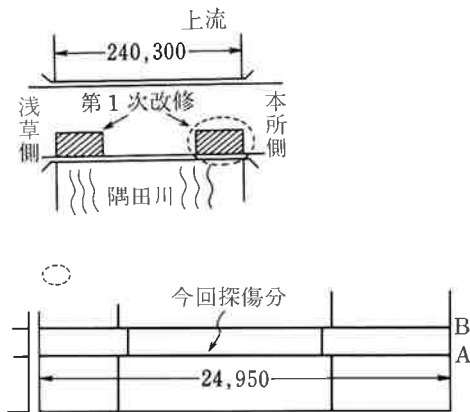


図-7 探傷箇所

4-3 探傷方法 (手順)

図-8に探傷方法(手順)を略図で示している。計算機キーボードより探触子の現在停止位置を入力すると、

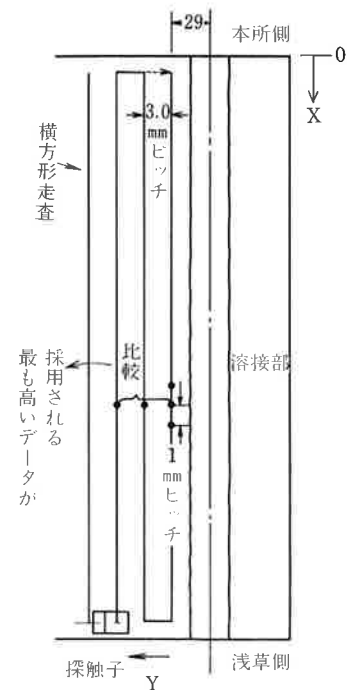
- ①探触子は、まずビード中心より29mm (Y=29)の所迄(ビード間際迄)前進する。
- ②横方形走査より0~1.0スキップ迄探傷を行う。

このとき、X方向のデータ採取ピッチは1mm、前後のピッチは3.0mmである。このとき探触子は、溶接線長手方向に対し、何度も同じ位置(X座標)を通過するから、常に同一位置に於いて先のエコー高さと、今回採取したエコー高さを比較し、高い方のエコー高さをその時の位置(X、Y)と共に記憶するようにプログラミングしている。

- ③欠陥があれば断、平面図上にデータをプロットする。
- ④欠陥に番号を付け、データ用紙左側の枠にX(mm)、エコー高さ(%)、欠陥指示長さ(mm)、深さ(mm)、判定(JIS Z3060の3級以下を不合格とした場合)を記入する。
- ⑤欠陥No.5以上はプリンタにより④項の内容を出力する。
- ⑥生データ(Y、Y、エコー高さ、ビーム路程)を出力する。
- ⑦データをカセットテープに記録する。(後日、このデータを用い結果を表示することが可能)

尚、探傷は隅田川上流方向から超音波を入射し、本所側から浅草橋の方へ順次探傷を行った。(4-1項で述べた片面片側探傷)。

図-8 探傷方法(略図)



4-4 自動探傷結果

本所側Aライン約25mの自動探傷の結果、2箇所 microscopic defects were detected.

図-9、10に微小欠陥の部分の探傷結果を示している。図-9はH-A16の部分で、探傷開始点より612mmの所で深さ10mmの位置に長さ6mmの欠陥が存在することを示している。これはJIS Z3060では1級である。

また、図-10はH-A28の部分で探傷開始点より461mmの所で深さ9mmの位置に長さ7mmの欠陥が存在することを示している。JIS Z3060によれば2級であり、いずれも今回の判定基準では合格となる。

図-11には先のH-A16、H-A28の欠陥の部分の生データの出力結果を参考に示している。

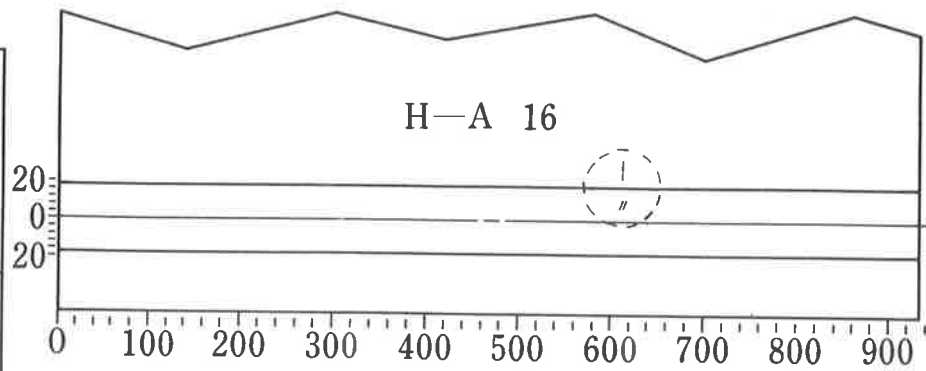
正 誤 表

RESULT

FLAW-NO	POSITION(X) (MM)	ECHO-HEIGHT (%)	FLAW-DEPTH (MM)	FLAW-LENGTH (MM)	JUDGEMENT
1	612	43	10	6	6

G, GOOD, NG, NO, GOOD

PLANE FIGURE



CROSS SECTION

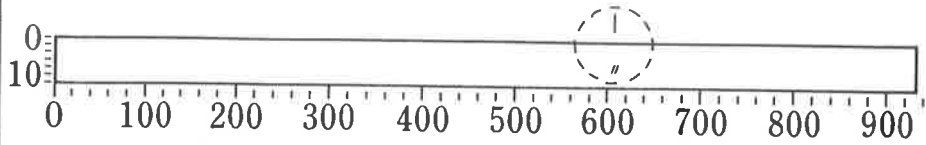


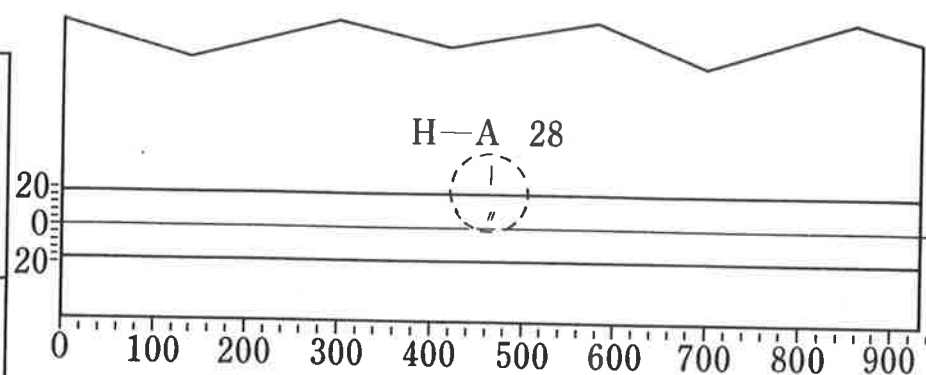
図-9 探傷結果の表示

RESULT

FLAW-NO	POSITION(X) (MM)	ECHO-HEIGHT (%)	FLAW-DEPTH (MM)	FLAW-LENGTH (MM)	JUDGEMENT
1	461	40	9	7	6

G, GOOD, NG, NO GOOD

PLANE FIGURE



CROSS SECTION

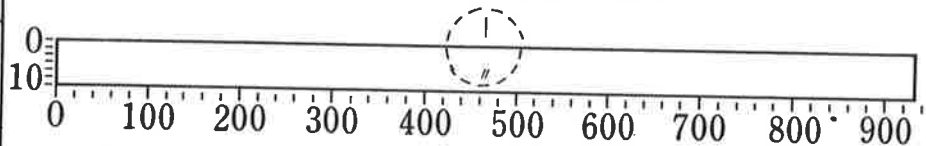


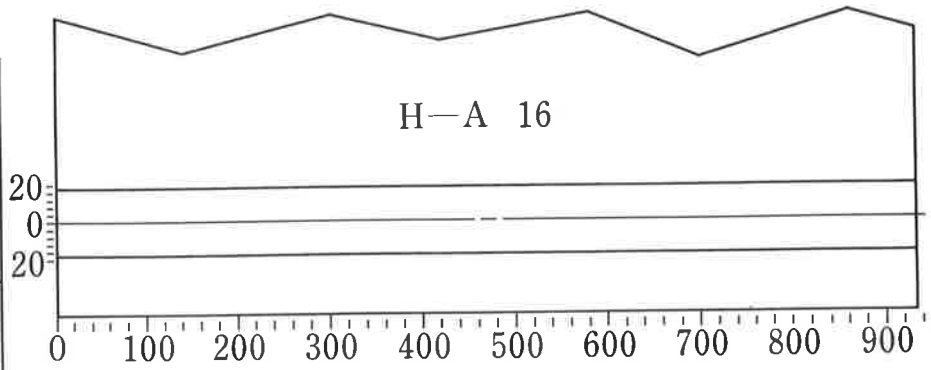
図-10 探傷結果の表示

RESULT

FLAW-NO	POSITION(X) (MM)	ECHO-HEIGHT (%)	FLAW-DEPTH (MM)	FLAW-LENGTH (MM)	JUDGEMENT
1	612	43	10	6	6

G, GOOD, NG, NO, GOOD

PLANE FIGURE



CROSS SECTION

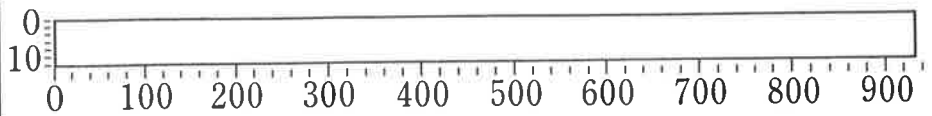


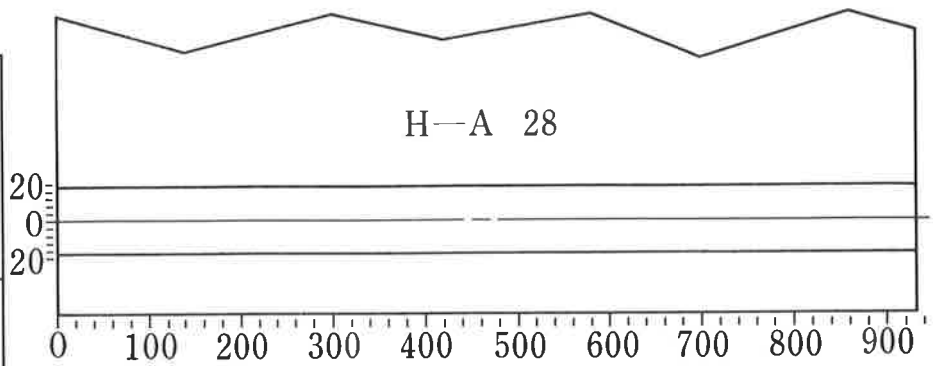
図-9 探傷結果の表示

RESULT

FLAW-NO	POSITION(X) (MM)	ECHO-HEIGHT (%)	FLAW-DEPTH (MM)	FLAW-LENGTH (MM)	JUDGEMENT
1	461	40	9	7	6

G, GOOD, NG, NO GOOD

PLANE FIGURE



CROSS SECTION

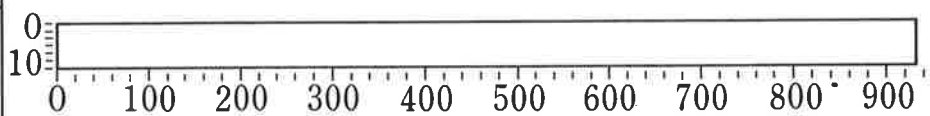


図-10 探傷結果の表示

HA-16

X =	608
Y =	29
H =	22
W =	42

X =	609
Y =	29
H =	29
W =	42

X =	610
Y =	29
H =	30
W =	42

X =	611
Y =	29
H =	39
W =	41

X =	612
Y =	29
H =	43
W =	41

X =	613
Y =	29
H =	38
W =	41

X =	614
Y =	29
H =	26
W =	41

HA-28

X =	457
Y =	36
H =	20
W =	46

X =	458
Y =	36
H =	20
W =	46

X =	459
Y =	33
H =	28
W =	43

X =	460
Y =	33
H =	38
W =	43

X =	461
Y =	33
H =	40
W =	43

X =	462
Y =	33
H =	38
W =	43

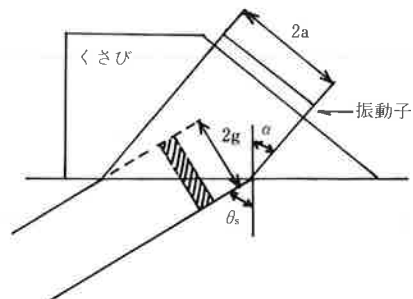
X =	463
Y =	33
H =	32
W =	43

X =	464
Y =	33
H =	22
W =	44

図-11 生データの出力結果

今回用いた探触子は4MHz振動子寸法8×9mm、屈折角度70°であるが見掛けの振動子寸法(肉厚方向のビーム幅)は図-12の③式に示すようになる。くさびはアクリル樹脂であり、縦波音速 $C_{12} = 2730 \text{ m/s}$ 、鋼床版(SS41)中の横波の音速 $C_{25} = 3230 \text{ m/s}$ とすると、③式より $2g \div 5 \text{ mm}$ となる。これに-3dBの範囲の音の拡がり角度を2°とすると(実験値)、12mm鋼床版中の超音波ビームの様子は図-13のようになる。

このことを考慮に入れ、2のY=29mmより1スキップの範囲を3mmピッチで走査したとすれば、超音波ビームによる溶接部のカバーの様子(-3dB範囲)は図-14に示す如くになり、全域をカバーすることになり、有害欠陥を見逃すことにはならないと思われる。よって今回の現場探傷において、もし有害欠陥が存在すれば当然検出することになり、今回の結果は妥当であろう。



$$2g = 2a \times \frac{\cos \theta_s}{\cos \alpha} \dots\dots \textcircled{3} \text{式}$$

図-12 見掛けの振動子寸法(2g)

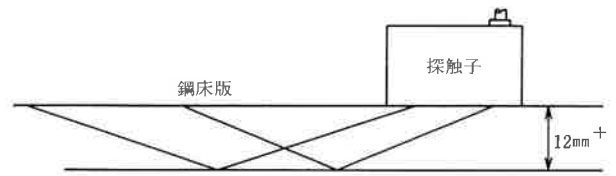


図-13 超音波ビームの様子

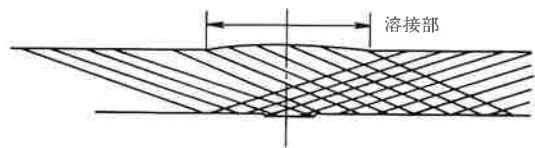


図-14 超音波ビームによる溶接部のカバー

4-5 X線透過試験結果

巻末に添付資料1として、検査結果比較表を示している。この結果からもわかる通り、欠陥は大きくても第1種欠陥(ブローホール及びこれに類する丸みをおびた欠陥)であり、すべて合格である。

4-6 自動超音波探傷結果とX線透過試験結果

今回の探傷では、この両者の対応はなかった。つまり自動探傷においてHA-16、28で微小欠陥を検出したがX線フィルム上では認められなかった。これは添付資料2に示すようにHA-16ではフィルム上から外れた位置に発生したため検出不能であり、HA-28ではフィルムをセットする際に、10mm程度正規の位置からずれた可能性が強いと思われる。また反対に、X線フィルム上に映った微小欠陥は、自動探傷では検出していない。

これはX線で検出した欠陥は主に、第1種欠陥の微小ブローホールであろう。一般的にブローホールは、超音波では検出されにくいことが知られている。図-15に溶接欠陥の斜角探傷におけるエコー高さを示してい

る。グラフの右側にJIS Z3060が確定している。距離振幅特性曲線による、エコー高さ区分線のレベルが示されており、これら今回のL検出レベルでは、微小なブローホールと微小なスラグ巻込みは検出されにくいことが判る。

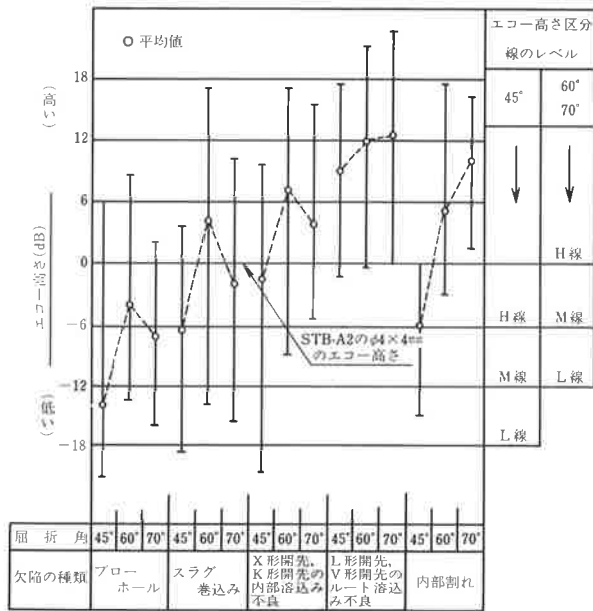


図-15 溶接自然欠陥の斜角探傷におけるエコー高さ

微小ブローホールを検出しようとするれば探傷感度を上げることが考えられる。

さらに表-3に対射線透過試験と超音波探傷試験との種々の比較を示している。一般的に超音波では、ブローホールのような球状欠陥は見つけにくいだが、ワレ状欠陥はブローホールに比較してよく検出することが知られている。

表-3の超音波探傷試験ではブローホールも割れも△印になっているがブローホールの場合、単独の小さなブローホールは検出しにくいだが密集ブローホールは比較的検出し易い。

割れの場合は、方向性と大きさ、発生位置により検出能は変わり、場合によっては二探触子法の適用を考慮する必要がある。

表-3 放射線透過試験と超音波探傷試験の比較

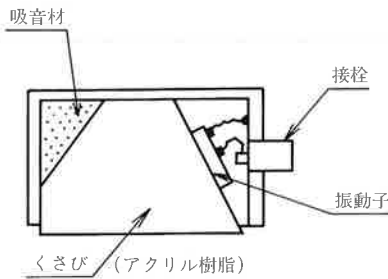
試験方法		放射線透過試験 (直接撮影法)	超音波探傷試験
原理	原理的方法	透過法	ハルス反射法
	物理的エネルギー	電磁波	弾性波
	欠陥部における現象	健全部と欠陥部とは透過線量が異なる。その程度は健全部と欠陥部の材質および放射線の透過する方向の欠陥寸法に關係する。	健全部では反射波が生じないが、欠陥部では反射波が生じる。その程度は健全部と欠陥部の材質に關係する。
	情報を表示する機材	X線フィルム	ブラウン管
	表示の内容	健全部と欠陥部とは写真濃度が異なる。	欠陥部のエコー(反射波)が現れる。
物理	検出しやすい欠陥の方向	放射線の進行方向に平行な方向	超音波の進行方向に垂直な方向
	検出しやすい欠陥の形状	放射線の進行方向に輻行のあるもの	超音波の進行方向に直角に広がりのあるもの
	加工方法	鑄造材 ○ 鍛造材 × 圧延材 × 溶接部 ○	○ ◎ ◎ ○
欠陥の検出	二枚割れ	×	◎
	ひげ巣	◎	○
	パイプ(鑄造材)	◎	○
	ブローホール	◎	△
	パイプ(溶接部の)	◎	△
	溶込み不良	○	○
欠陥の検出	融合不良	△	○
	割れ	△	△
	スラグ巻込み	◎	○
	欠陥の種類の特別	◎	△
試験方法の特微	欠陥の形状の判別	◎	△
	欠陥の寸法判別	○	△
	欠陥の厚さ方向の位置判別	△	◎
	試験結果記録の優劣	◎	△
	現場に判定者立会が不要	◎	△
	片面からのみで試験が可能	×	◎
	試験ができる肉厚の上限	○	◎
	試験ができる肉厚の下限	◎	△
	装置の小型軽量	×	◎
	試験の迅速性	×	◎
消耗品費が少額	×	◎	
総合費用が少額	×	◎	
安全管理	△	◎	

◎非常によい ○よい △条件付きでよい ×よくない

5. 現場適用時の留意点

5-1 探触子屈折角度の補正

夏期等炎天下で現場探傷を行った際、鋼床版温度は最高60℃くらい迄上昇すると予想される、通常、斜角探触子の構造は図-16に示すようになっており、鋼床版温度が上昇すると探触子にも伝熱して、くさび(アクリル樹脂)の音速が変化する。当然鋼床版中の音速も変化し、鋼床版10℃の上昇で屈折角が約1°大きくなる。(実験値)、屈折角度が変化すると欠陥の深さ評価も変わることになる。従って、今回の現場実験で用いたプログラムは鋼床版温度を測定し、計算機キーより入力すれば、屈折角度が自動的に補正されるようになっている。



5-2 探触子走査機ガイドレール

鋼床版の平坦度が良好であることから、今回1500mm長さのガイドレールを用いたが、さらに伸長すれば作業性が向上する。ただし運搬、取付け時の事を考え、1500~2000mmぐらいのレールを順次接続していくようにするのが良い。

5-3 探傷速度

今回の装置はMax 2m/minの速度で探傷可能であるが、さらに速度をあげるようにすれば、当然作業性も向上する。実際、工場での製造ラインにおける超音波探傷は20~80m/minの速度で検査が行なわれている。ただし、このように高速化した場合、探触子の接触は現状の直接接法からギャップ法に変える必要がある。

5-4 表面塗料

鋼床版表面塗料により、探傷感度が4~6dB低下(実験値)する場合がある。したがって、溶接線を狭んで200mm間、極力塗装はさけなければならない。不可能な場合は探傷感度を補正する必要がある。この時も探傷子の接触法はギャップ法が好ましい。

5-5 妨害エコー

局部的な補修溶接等、自動溶接に依らず、CO₂半自動溶接又は手溶接にて施工した箇所は、自動溶接に較べてビード面形状及びビード幅が不規則になる場合がある。

この箇所に超音波ビームが入射すると、ビード面からの反射角が一定せず、ビード面に依っては横波から縦波へのモード変換が生じる事も考慮しなければならない。

対策としては、ビード面形状を自動溶接と同等程度に仕上げるのが良い。

仕上げが困難な場合(裏面等)は自動探傷の走査方法を変えたり、自動探傷と手動探傷を併用したり、場合によっては他の非破壊検査法の適用を考慮する必要がある。

6. むすび

- (1)今回現場にて自動探傷を実施したが、安全上X線と異なり、通行人及び現場作業者に対する放射線障害の恐れは皆無であり、超音波探傷検査と他の工事作業が併行で実施できた。
- (2)本方式による検査はX線に比較して非常に作業性が良い、鋼床版の溶接は主に直線的である事、平坦度が優れている事から装置を改良していけばさらに作業性が向上する。
- (3)探傷作業、合否判定、結果の記録等全て電算処理による全自動化が出来ている為、従来の手動探傷による最大のウイークポイントとされた記録性の欠如がほぼ解決した。
- (4)超音波探傷検査とX線透過検査では欠陥検出能の特性が異なる為単純な比較は慎まねばならないが、鋼床版溶接時に発生しやすい重大欠陥が縦割れである事を考慮すると、超音波探傷検査での欠陥検出能は比較的高く、今後超音波探傷検査の適用が拡大されて行く可能性は否定できないと思う。
- (5)ここ数年来の超音波探傷の進歩には目を見張るものがある。しかし、今後解決して行かねばならない問題も数多くあり、自動超音波探傷の橋梁部門での実績の少なさもその一つである。その為、公表されたデータも少なく、他社との比較も思うに任せないのが現状である。
- (6)今後、鋼床版の自動超音波探傷法の適用基準が確立されて、多方面での適用が一般化される事に努力していきたい。

参考文献

- 1) 日本鋼構造協会関西地区委員会スタディーグループ「SAWED」：建築物の溶接接合部における欠陥の評価に関する研究、
- 2) 仙田富男・藤盛紀明：超音波斜角探傷試験による溶接欠陥の定量化、JSSC、Vol.124、1976.
- 3) 日本非破壊検査協会「非破壊検査概論」

検査結果比較表

U T (JIS Z3060)				R T (JIS Z3104)			
探傷記号	等級分類	領域	欠陥形状	フィルムNo.	等級分類	種類	点数×数
HA-2	1 級			HA-1	1 級	1 種	1×1
				2	1		
3	1			3	1		
4	1			4	1		
5	1			5	1		
6	1			6	1		
7	1			7	1		
				8	1		
				HH-45	1	1 種	1×2
10	1			HA-9	1		
				10	1		
				HH-44	1		
11	1			HA-11	1		
12	1			12	1		
13	1			13	1		
14	1			14	1		
15	1			15	1		
16	1	III	6mm	16	1		
17	1			17	1		
18	1			18	1		
19	1			19	1		
20	1			20	1		
21	1			21	1		
23	1			22	1		
				23	1		
24	1			24	1		
25	1			25	1		
26	1			26	1		
27	1			27	1		
28	2	II	7mm	28	1		
29	1			29	1		
30	1			30	1		
31	1			31	1		
32	1			32	1	1 種	1×1
33	1			33	1		
34	1			34	1		
37	1			35	1		
				36	1		
				37	1		
				HI-44	1		
				HA-44	1		
38	1			38	1		
39	1			39	1		
40	1			40	2	1 種	1×3
41	1			41	1		
42	1			42	1		

