

第 13 回

千葉県非破壊検査研究会・研究発表会

講演資料

日時 平成11年2月2日（火）

13:00～17:00

場所 川崎製鉄(株)みやぎき倶楽部

目 次

1. 耐圧ポリエチレンリブ管の超音波探傷法の実験的検討 1
 ジャパンプローブ(株) ○高橋雅和
 大日本プラスチック(株) 時吉充亮
2. 円柱面エコーN₃'による横波音速および弾性定数の測定 9
 (株)トキメックエンジニアリング ○若林弘夫
 (株)トキメック 茂木良平, 鬼丸昭夫
3. SH波探傷用の新しい接触媒質の開発 23
 日合アセチレン(株) ○上坂和雄, 大橋 剛, 新谷和也
4. 超音波フェイズドアレイシステムによる新技法の確立 31
 R/D Tech Japan ○ドミニク ブラコニエ
 栄進化学(株) 江原英治(訳)
5. 高温用接触媒質の横波(SH波)への適用 35
 石川島検査計測(株) ○熱田美道
6. 鋼溶接部の超音波自動探傷装置IMPACT(AUT1000)の紹介 39
 日本クラウトクレーマー(株) ○南 康雄, 坂代一郎
7. 無害なきずと有害なきずを見分けるために 45
 (財)発電設備技術検査協会 ○岸上守孝
8. 遅延材と接触媒質の組合せによる探傷感度に及ぼす表面粗さの影響 51
 (株)検査技術研究所 ○林 栄男, 岡 賢治
 木村超音波探傷研究所 木村勝美
 (株)ジャスト研究所 名取孝夫

耐圧ポリエチレンリブ管の超音波探傷法の実験的検討

Experimental Study of Ultrasonic Testing for Profile Wall Polyethylene Pipes

時吉 充亮
Mitsuaki Tokiyoshi

大日本プラスチック㈱
DAINIPPON PLASTIC CO., LTD

○ 高橋 雅和
Masakazu Takahashi

ジャパンプローブ㈱
Japan Probe Co., Ltd

概要

耐圧ポリエチレンリブ管の超音波探傷法の検討のため、高密度ポリエチレンの試験片に深さの異なる横穴を加工した。また、溶接界面に欠陥を作成し、これらの傷の検出方法を検討した。その結果、高密度ポリエチレン等のプラスチック類は減衰が非常に大きいために、周波数2MHzの広帯域探触子による探傷が望ましい。溶接部の上面よりの垂直探傷がもつとも有効で、走査性を向上出来る音響ゴムの適用が可能であることがわかった。

KEYWORDS : Polyethylene, Attenuation, Broad Band

1. まえがき

近年、土木分野において従来のコンクリート製品にかわってプラスチック樹脂製品が注目されているが、特に高密度ポリエチレンを材料とした耐圧ポリエチレンリブ管(JIS K 6780)は、コンクリート管材に比べ、軽量性、耐腐蝕性、耐薬品性に優れている為、現在普及が進んでいる。更に素材である高密度ポリエチレンは、阪神淡路大震災時のガス、水道等の管路で耐震性能に優れることも実証された。

そこで、管路における水密性能を確認する為、継手溶接部の非破壊検査が行われることとなった。

本研究では、耐圧ポリエチレンリブ管の継手溶接部の超音波探傷法の検討のため、今回高密度ポリエチレン材の試験片に深さの異なる横穴を加工した。また、溶接界面にも疑似欠陥を作成し、これらの傷の検出方法を検討した。基本的となる音速、減衰を測定調査し探傷方法を検討した。その結果、高密度ポリエチレン材は減衰が非常に大きいために、周波数2MHzの広帯域探触子による探傷が望ましく、深さ5mm~35mm、φ3mmの横穴は周波数2MHzの広帯域垂直及び縦波斜角探触子で十分検出できる。又、溶接部の溶接界面の欠陥の検出には、溶接部の上面より垂直探傷が望ましく、探触子の走査性を向上するのに保護膜用音響ゴムが有効であることがわかった。以下に、実験結果とその考察を述べる。

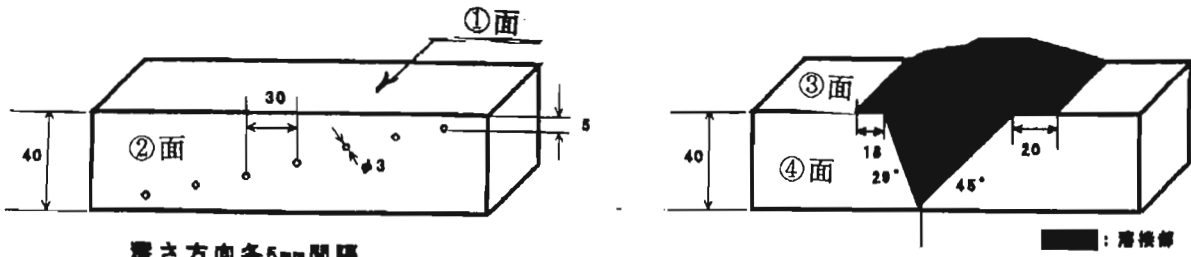
2. 実験内容

2.1 試験片：実験に使用した試験片は高密度ポリエチレン材で横穴試験片及び溶接界面欠陥試験片を使用した。図1に横穴及び溶接界面の疑似欠陥の試験片を示す。横穴試験片では厚さ40mm、幅40mm、長さ280mmで深さ5mm, 10mm, 15mm, 20mm, 25mm, 30mm, 35mmにφ3mmの横穴を加工した。又、溶接界面に模擬欠陥を製作した。

2.2 探触子：実験に使用した探触子は表1の垂直探触子と縦波斜角探触子を使用した。

表1 実験に使用した探触子

区分	探 触 子 の 形 式
垂直探触子	B2C10N、B5C10N、5Z10N、1C60N、5Z10X10SN、2Z10X10SN
縦波斜角探触子	B2C10Nに楔を組み合わせた



厚さ方向各5mm間隔

(a) No. 1 横穴試験片

(b) No. 2 溶接界面欠陥の試験片

図1 横穴及び溶接界面欠陥の試験片

2. 3 超音波探傷器：KRAUTKRAMER(株)製USD15、三菱電機(株)製MITSUBISI UI-22である。

2. 4 接触媒質：縦波はソニコート、横波はSHN-20である。

2. 5 実験内容：音速及び減衰に関しては図1の試験片の厚さ方向及び幅方向の値を求めた。音速は送信エコーと底面エコー B_1 との時間を測定し、ノギスで測定した寸法と比較して縦波音速を求めた。減衰は B_2/B_1 の値を目安²⁾とした。距離特性は垂直探触子及び縦波斜角探触子で求めた。又、溶接界面の疑似欠陥の検出に保護膜用音響ゴムを使用した。

3. 実験結果及び考察

3. 1 音速及び減衰

表2に音速及び減衰の測定結果を示す。高密度ポリエチレン材の縦波音速は2450~2500m/sである。又、探触子と高密度ポリエチレン材との伝達損失が含まれる減衰²⁾は厚さ方向で15~20dB/40mm、幅方向で20~25dB/40mm程度で非常に大きい。図2はその時の探傷図形を示す。

表2 音速及び減衰の測定値

探触子形式	試験片	試験片の方向	寸法測定値(mm)		縦波音速(m/s)	エコー高さ(dB)		
			ノギス	超音波		B_1	B_2	B_2/B_1
B2C10N 広帯域	No. 1	①厚さ方向	40.25	97.1	2446	47.0	62.5	15.5
		②幅方向	49.70	118.7	2470	51.5	72.0	20.5
	No. 2	③厚さ方向	40.00	97.4	2423	46.5	61.5	15.0
		④幅方向	39.70	95.1	2463	49.0	74.0	25.0
B5C10N 広帯域	No. 1	①厚さ方向	40.25	96.5	2461	56.0	75.0	19.0
		②幅方向	49.70	116.8	2510	61.0	65.0	24.0
	No. 2	③厚さ方向	40.00	96.5	2446	56.5	74.0	19.5
		④幅方向	39.70	93.6	2502	61.5	63.0	21.5
5Z10N 狭帯域	No. 1	①厚さ方向	40.25	96.3	2466	61.5	102.0	40.5
		②幅方向	49.70	116.8	2510	70.5	---	---
	No. 2	③厚さ方向	40.00	96.6	2443	57.5	---	---
		④幅方向	39.70	94.1	2489	67.5	---	---

広帯域探触子B2C10N, B5C10Nでは底面のエコー B_2 は検出するが、狭帯域探触子5Z10Nでは B_2 エコーの検出はむづかしい。このことは、高密度ポリエチレン材は高減衰材であるため、5MHzの狭帯域探触子では音が非常に通過しにくいことを意味している。探傷には広帯域探触子であるB2C10Nが適している。

3. 2 距離特性

高密度ポリエチレン材試験片に加工した深さ5mm, 10mm, 15mm, 20mm, 25mm, 30mm, 35mmの $\phi 3$ mm

探触子：B2C10N、接触媒質：ソニコートBS

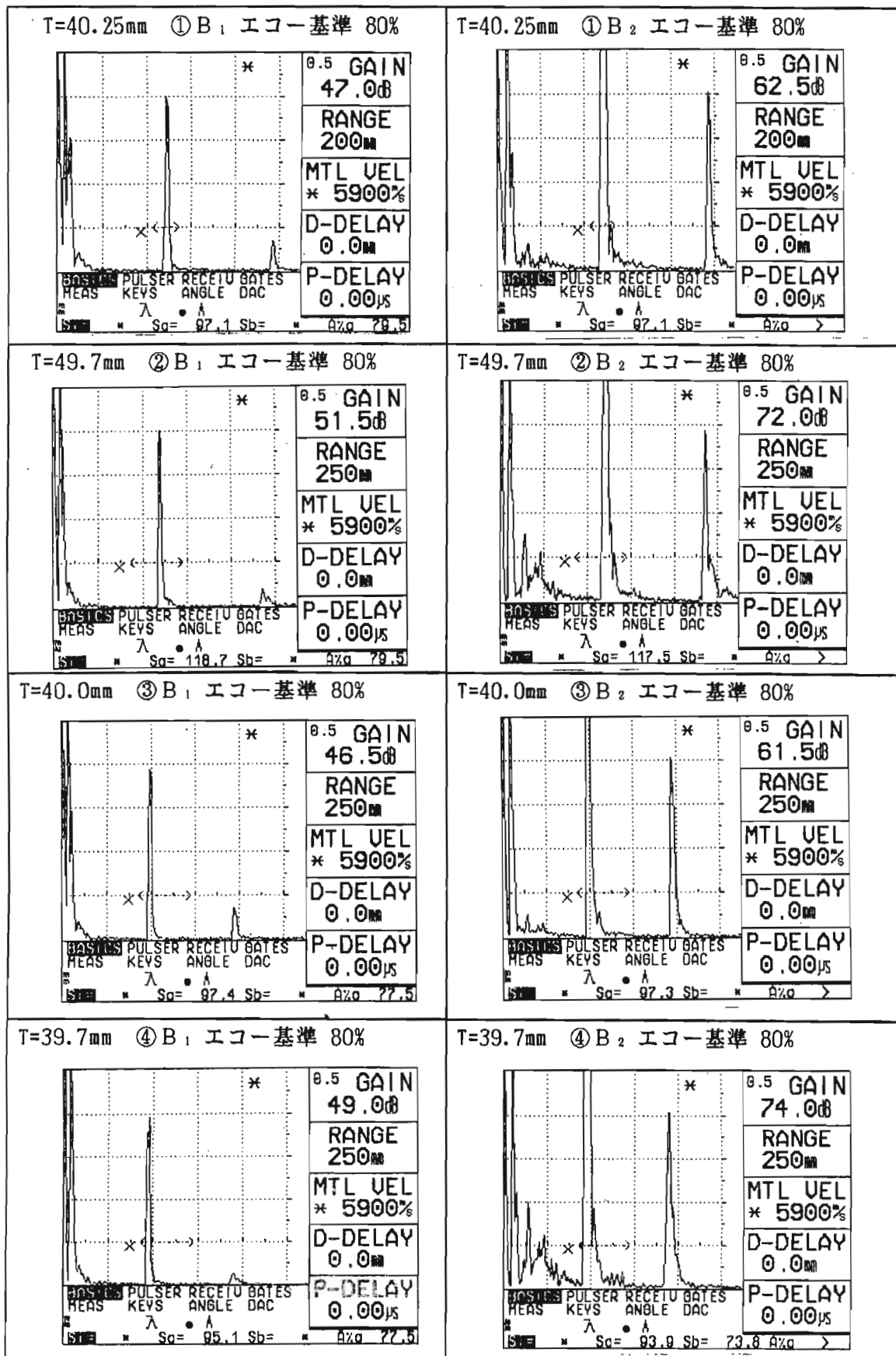


図2 垂直探触子による高密度ポリエチレン材試験片の探傷図形

の横穴の距離特性を測定した。その結果を表3に示す。図3はその探傷図形を示す。表3及び図3に示す如く高密度ポリエチレン材は減衰が非常に大きいため、 $\phi 3\text{mm}$ の横穴の深さが5mmから35mmに深くなると、エコー高さは垂直探傷で15dB、縦波斜角探傷で21dB低下する。

表3 高密度ポリエチレン材の $\phi 3\text{mm}$ の横穴の距離特性

横穴の 深さ(mm)	垂直探触子		縦波斜角探触子	
	横穴のエコー高さ(dB)		横穴のエコー高さ(dB)	
5	41.5dB	0	49.0	0
10	47.5	-6.0	49.5	-0.5
15	46.5	-5.0	56.5	-7.5
20	47.5	-6.0	59.0	-10.0
25	52.5	-11.0	64.0	-15.0
30	54.0	-12.5	65.0	-16.5
35	56.0	-15.0	70.0	-21.0

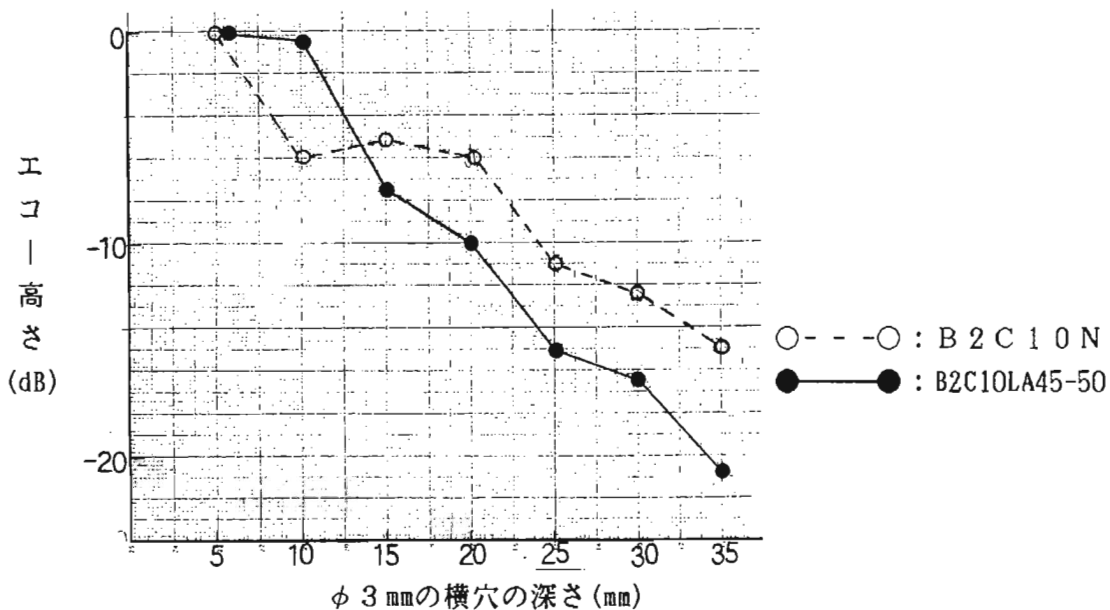


図3 高密度ポリエチレン材の横穴の距離特性

縦波斜角探傷の方がビーム路程が長いのでエコー高さの低下は大きい。図4～図5に横穴の距離特性の探傷図形を示す。

3.3 溶接部の界面欠陥の検出

溶接部の界面欠陥を検出するため、縦波斜角探傷を実施した。斜角探傷では溶接部の界面欠陥の位置の関係でビーム路程が非常に長くなるので、溶接部の界面欠陥は検出できなかった。しかし、溶接部の上面より垂直探傷した結果、図6に示す如く溶接部の界面欠陥は検出できた。今回の様な溶接部の幾何学的形状をした耐圧ポリエチレンリブ管の溶接部の界面欠陥の検出では、溶接部の上面より垂直探傷するのが最も適している。

3.4 音響ゴムの適用

溶接部の幾何学的形状は滑らかではあるが曲面で(若干凸凹がある)あるため、溶接部の上面より垂直探傷する場合、探触子の走査に支障を来たす。そこで、高密度ポリエチレン材と音響インピーダンスの近いゴムを介して探傷することで探触子の走査性を向上出来る。図7は音響ゴムを介して探傷した探傷図形を示す。音響ゴムを介して探傷することによる感度

探触子：B2C10N、接触媒質：ソニコートBS : 音速：2450 (m/s) $B_1 \times$

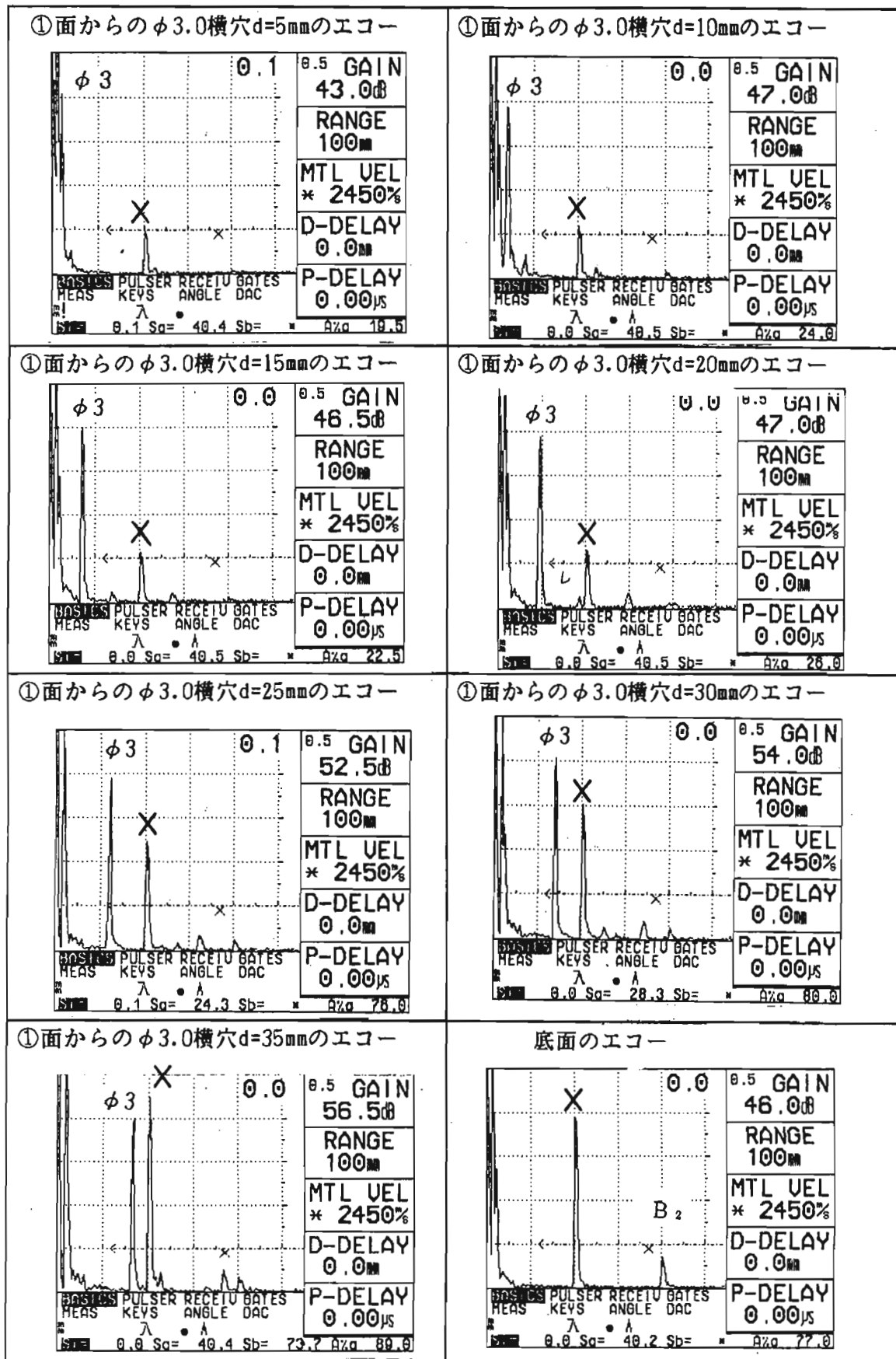


図4 垂直探触子による高密度ポリエチレン材の横穴の距離特性の探傷図形

探触子：B2C10N、接触媒質：ソニコートBS：斜角探傷 45°

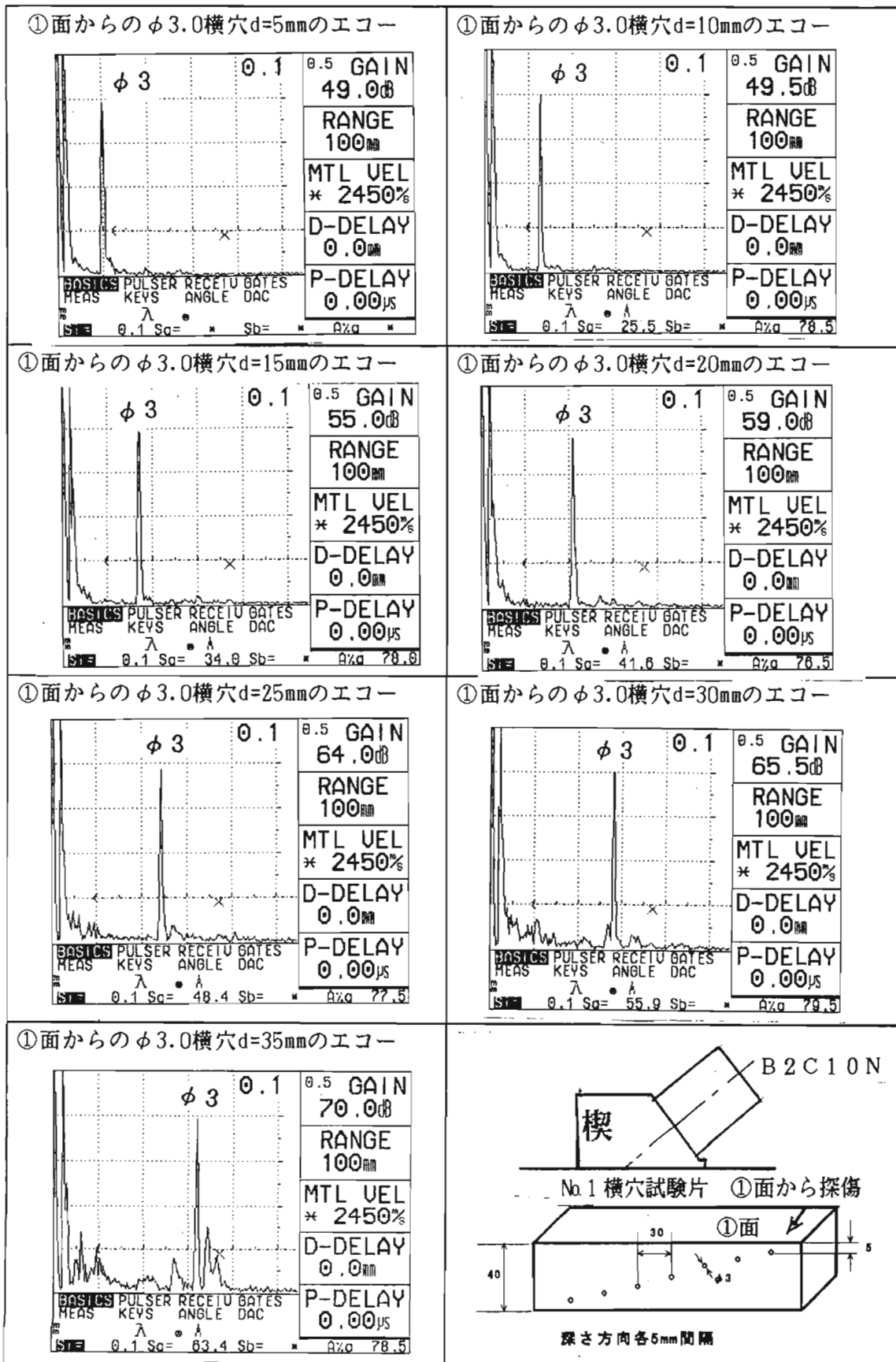


図5 縦波斜角探触子による高密度ポリエチレン材の横穴の距離特性の探傷図形

試験片：NO.2 高密度ポリエチレン材の溶接部及び溶接界面の欠陥 探傷面：溶接部上面より
 探触子：B2C10N、接触媒質：ソニコートBS WD：溶接部欠陥 I：溶接界面の欠陥

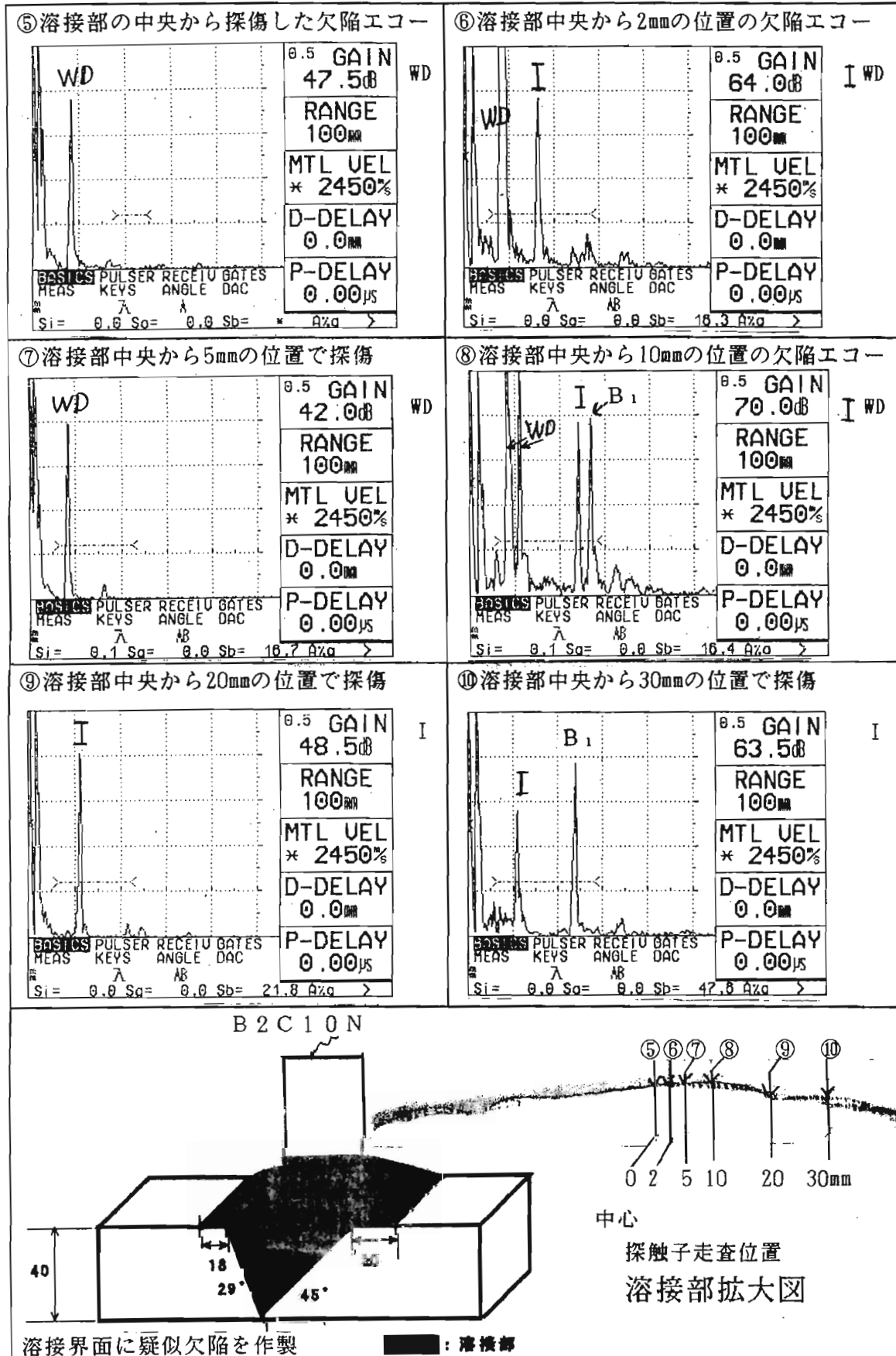


図6 高密度ポリエチレン材の溶接部及び溶接界面の欠陥の探傷図形

NO.2 高密度ポリエチレン材の溶接部上面より音響ゴム(厚さ1mm)を使用し探傷した探触子：B2C10N、接触媒質：ソニコートBS WD：溶接部欠陥 I：溶接界面の欠陥

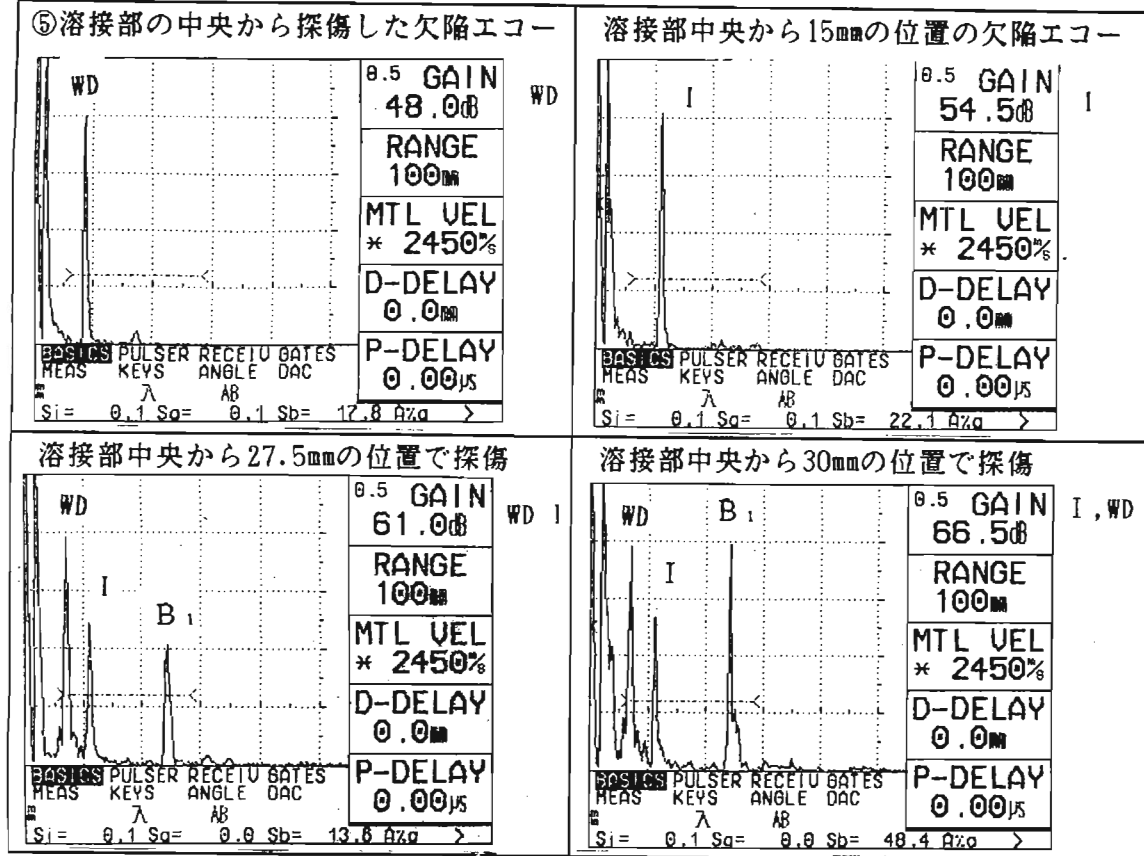


図7 音響ゴムを介して探傷した探傷図形

低下は高々2dB程度である。このことは溶接部の上面より垂直探傷する場合に十分適用でき、溶接部の垂直探傷を可能にする。

4. 結論

耐圧ポリエチレンリブ管の継手溶接部の超音波探傷法の検討のため、高密度ポリエチレン材に深さの異なる横穴を加工した試験片及び溶接界面に疑似欠陥を作成し、探傷方法を検討した。その結果、今回の試験範囲で次の結論が得られた。

- 1) 高密度ポリエチレン材の縦波音速は約2450m/s、減衰は15~20dB/40mm程度である。
- 2) 高密度ポリエチレン材は減衰が非常に大きいため、周波数2MHzの広帯域探触子による探傷が望ましい。
- 3) 深さ5mm~35mm、φ3mmの横穴は周波数2MHzの広帯域垂直及び縦波斜角探触子で十分検出できる。
- 4) 溶接部及び溶接界面の欠陥の検出には、溶接部の上面より垂直探傷が望ましい。
- 5) 溶接部の上面は曲面のため、探触子の走査性と伝達特性が向上出来る音響ゴムを介して、垂直探傷するのが望ましい。

今後溶接部の上面より音響ゴムを介した垂直探傷の試験を更に実施したい。

参考文献

- 1) JIS K 6780-1996 : 耐圧ポリエチレンリブ管、(1996)
- 2) 高橋雅和：CEN規格の伝達損失に関する実験的検討、超音波分科会資料No.21593、(1998)

円柱面エコー-Nによる横波音速および弾性定数の測定

(株)トキメック エンジニアリング (株)トキメック

○ 若林 弘夫 茂木 良平 鬼丸 昭夫

1 はじめに

縦、横弾性係数 E, G およびポアソン比 ν の値は機械部品のはね車軸、シャフト等の設計に重要な数値であり、これらの数値は超音波測定で得られる縦波音速 C_L および横波音速 C_S と密度 ρ の値から算出することも出来る。⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾ 横波音速を定めるには遅れエコーによる方法もあるが、⁽²⁾⁽³⁾ しかし実際には横波用の探触子と準備する必要がある。

ただし、円柱体については縦波用垂直探触子だけで横波音速を測定できる可能性が示唆されていた⁽¹⁾。今回我々はそのために便利な図表と算出法を開発したので報告する。

2 縦波音速と横波音速の音速比 C_S/C_L と円柱面エコー-Nの関係

丸棒の側面から垂直探傷を行うと超音波が拡がるため丸棒の側面での反射波が戻ってくる。これ等のエコーは円柱面エコーと呼ばれ、1回目の底面エコー B_1 より遅れて現れるが欠陥エコーと見誤ることのないよう注意しなくてはならない。(図1参照)

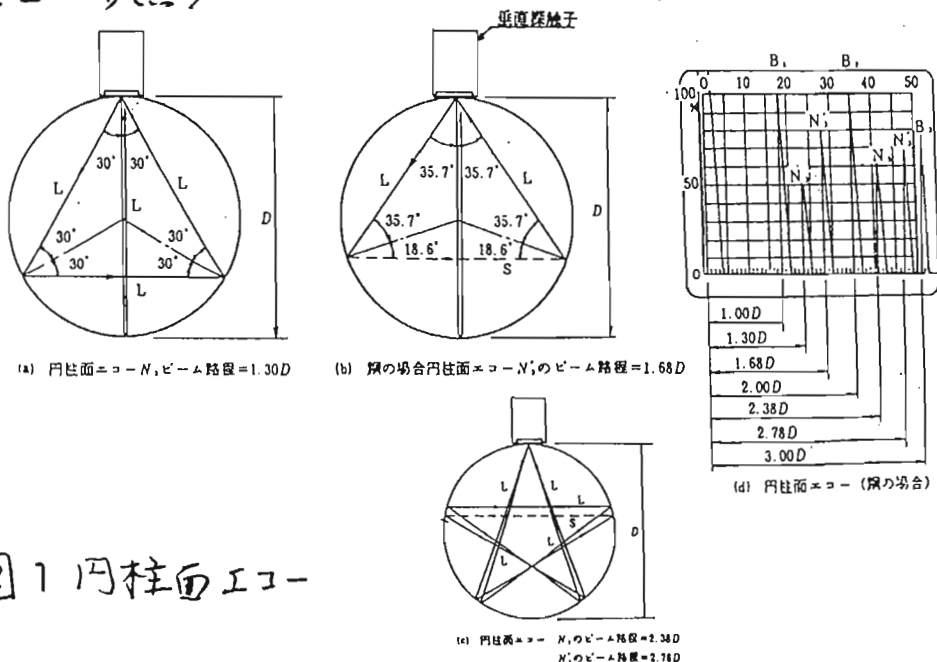


図1 円柱面エコー

垂直探傷であるので超音波は縦波で伝搬するが、これ等のエコーの内伝搬経路の三角形の底辺をモード変換した横波で伝搬するものがあり円柱面エコー N_3 と称している。(図1(b)および図2参照)

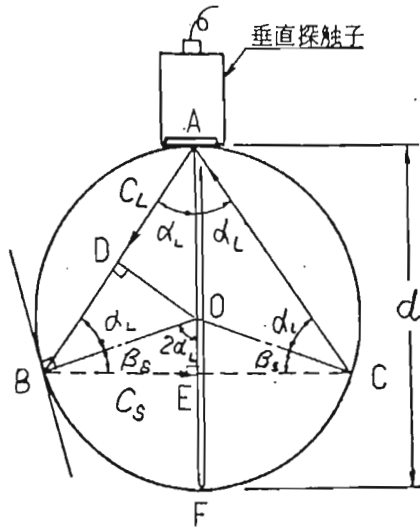


図2

$\triangle ABC$ は N_3 のヒール路程とする。

$\triangle ABC$ は二等辺三角形となる $AB=AC$

AB間, AC間は縦波となり BC間はモード変換した横波となっている。

B点に於て縦波から横波へのモード変換ではスネルの法則が成立すると考える

$$\frac{\sin \alpha_L}{C_L} = \frac{\sin \beta_S}{C_S} \quad \text{---- (1)}$$

一方 $\triangle OBE$ に於て $\angle BOE = 2\alpha_L$ $\left\{ \begin{array}{l} \because \triangle OBA \text{ は二等辺三角形} \\ \text{三角形内角の和は } 180^\circ \end{array} \right.$

$$\therefore \beta_S = 90^\circ - 2\alpha_L$$

$$\sin \alpha_L \frac{C_S}{C_L} = \sin(90^\circ - 2\alpha_L) = \cos 2\alpha_L = 1 - 2(\sin \alpha_L)^2$$

$$\therefore 2(\sin \alpha_L)^2 + \frac{C_S}{C_L} \sin \alpha_L - 1 = 0$$

-12-

$$\sin \alpha_L = \frac{1}{4} \left(\sqrt{8 + \left(\frac{C_S}{C_L}\right)^2} - \frac{C_S}{C_L} \right) \quad \text{---- (2)}$$

式(2)は参考文献1でも既に紹介されている。

次に $\triangle ABC$ を超音波が通過するのに必要な時間を求める。

$$\frac{E}{L} \perp AD = \frac{d}{2} \cos \alpha_L \quad AB = AC = d \cos \alpha_L$$

$$BE = AB \sin \alpha_L = d \cos \alpha_L \sin \alpha_L$$

$$BC = 2d \cos \alpha_L \sin \alpha_L$$

$$\begin{aligned} \Delta ABC \text{ 時間} &= \frac{2d \cos \alpha_L}{C_L} + \frac{2d \cos \alpha_L \sin \alpha_L}{C_S} \\ &= \frac{2d}{C_L} \cos \alpha_L \left(1 + \frac{C_L}{C_S} \sin \alpha_L \right) \quad \text{--- (3)} \end{aligned}$$

$$\text{一方 AF 間を超音波が往復する時間} = \frac{2d}{C_L}$$

$$N \text{ 値} = \frac{\Delta ABC \text{ 時間}}{\text{AF 往復時間}} = \cos \alpha_L \left(1 + \frac{1}{C_S/C_L} \sin \alpha_L \right)$$

$$\frac{C_S}{C_L} = X \text{ とし, } \cos \alpha_L = \sqrt{1 - (\sin \alpha_L)^2}, \quad (2) \text{ 式と上式より}$$

$$N \text{ 値} = \sqrt{1 - \left[\frac{1}{4} (\sqrt{8 + X^2} - X) \right]^2} \cdot \left(1 + \frac{1}{X} \left[\frac{1}{4} (\sqrt{8 + X^2} - X) \right] \right) \quad \text{--- (4)}$$

(4) 式により N 値は縦波音速 C_L および横波音速 C_S の比 X の関数として表すことができた。即ち物質の音速比がわかれば円柱面エコー N 値の現れる位置を特定出来ることになった。

このことは逆に N 値位置を測定することにより図表より音速比 X を求めることが出来ることになる。

3 N_s値を利用した横波音速と弾性定数の算出

N_s値は音速比 $\chi = \frac{C_s}{C_L}$ で表わされた。この値と縦波音速 C_L と密度 ρ の値から弾性定数は次のようにして求めることが出来る。

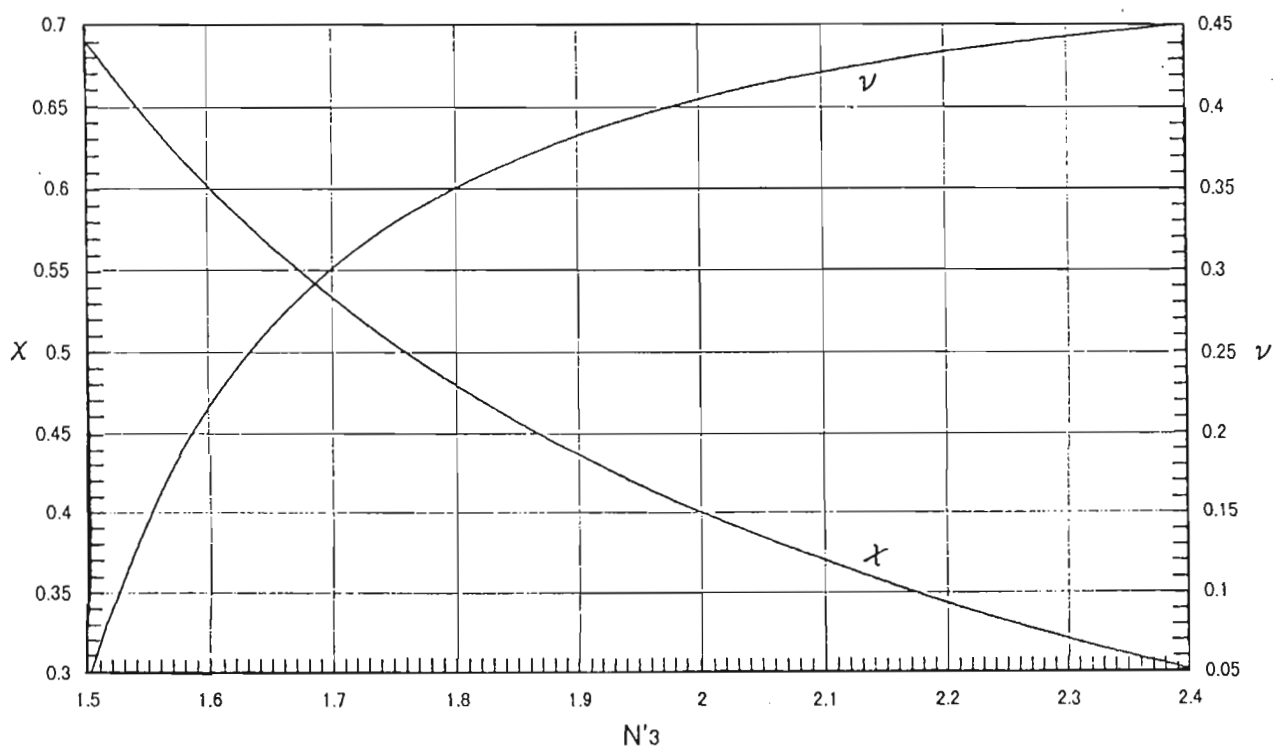
$$\text{ポアソン比: } \nu = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\chi^2}{1 - \chi^2} \right) \quad \text{---- (5)} \quad (\text{参考文献 2.3.4より})$$

$$\text{横弾性係数(せん断弾性係数): } G = C_s^2 \rho = \frac{1 - 2\nu}{2(1 - \nu)} C_L^2 \rho \quad \text{---- (6)}$$

$$\text{縦弾性係数(ヤング率): } E = 2(1 + \nu) G = \frac{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{1 - \nu} C_L^2 \rho \quad \text{--- (7)}$$

式(4),(5)より N_s値からポアソン比を求める場合にこれを解析的に行なうのは複雑なので N_sの値と音速比 χ およびポアソン比 ν の関係を図表として作成した。

図3 N_s表



即ち音速比 α はよく用いられている物質の音速比より 0.300 ~ 0.700 あれば十分と判断し その間の数値を 0.001 きざみで式(4),(5)の α に入れ算出し 図るおよび付録の N_3 数表にまとめた。

次にこの図表の使用例を紹介する。

ここに $\phi 60$ mm のアルミ合金棒がある。この棒の円柱側面に垂直探触子をあてることにより 図 4 に示すような円柱面エコーが表示された。

測定範囲は STB-A1 を使用し 125 mm に設定してある。

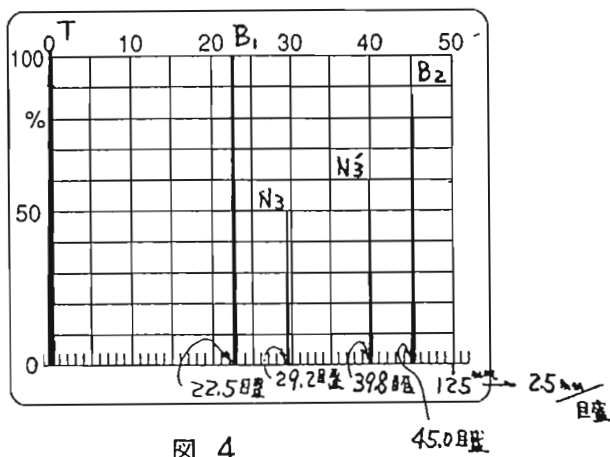


図 4

測定範囲が 125 mm であるので 1 目盛は 2.5 mm に相当する。B1 エコーが 22.5 目盛に表示されたので $\phi 60$ mm の長さ L は 56.25 mm ($22.5 \times 2.5 = 56.25$) に表示されたことになるが これはアルミ合金の縦波音速が STB-A1 の鋼の縦波音速 5920 m/s と異なるためである。

アルミ合金の縦波音速を求めると $\frac{56.25}{5920} = \frac{60.0}{C_{L\text{Al}}}$

$$C_{L\text{Al}} = \frac{60.0}{56.25} \times 5920 = 6314.66 \dots \approx 6315 \text{ m/s}$$

次に N_3 の値を求めると

$$N_3 \text{ 値} = \frac{N_3 \text{ の目盛}}{B_1 \text{ の目盛}} = \frac{39.8}{22.5} = 1.7688 \dots \approx 1.769$$

($\times 2 = B_2 - B_1$ の目盛)

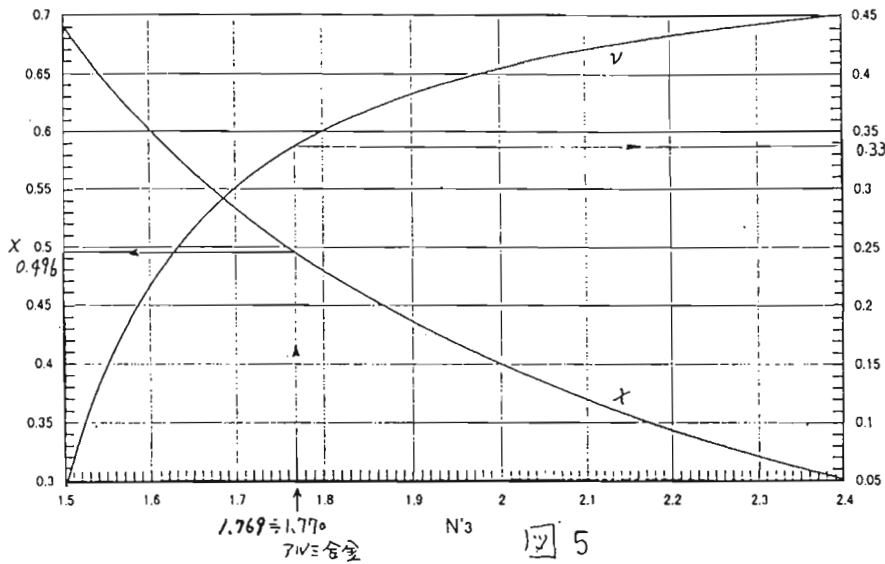


図3に示す N_3 表を用いて $N_3 = 1.769$ における χ および ν の求め方を左に示す。

$$\chi = \frac{C_s}{C_L} = 0.496$$

$$\text{ポアソン比 } \nu = 0.338$$

$$\text{よって横波音速 } C_{s\text{アルミ}} = 0.496 \times 6315 \div 3132 \text{ m/s}$$

次に N_3 数表を用いて $N_3 = 1.769$ における χ および ν を求める。
付録 N_3 数表 N_3 欄の 1.769 に相当する χ および ν の値を読み取る。

$$N_3 \text{ 数表より } \chi = \frac{C_s}{C_L} = 0.4955 \quad \text{ポアソン比 } \nu = 0.3375$$

(N_3 値 1.768 と 1.770 の中間値とした。)

$$\text{よって横波音速 } C_{s\text{アルミ}} = 0.4955 \times 6315 = 3129.08 \text{ --- } 3129 \text{ m/s}$$

N_3 の値をさらに簡単に詳しく測定する方法を次に紹介する。

図4の B_1 エコーの立上りと探傷器のパルス位置つまみを用いて0目盛に合わせ、 B_2 エコーの立上りを音速つまみを用いて50目盛に合わせる。この調整を数回繰返すことにより、両エコーの立上りは B_1 は0目盛に B_2 は50目盛に合わせる事が出来る。

(図6参照)

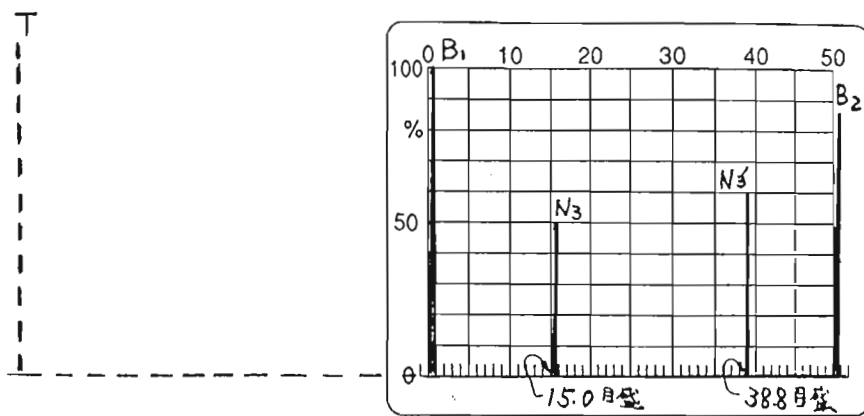


図6

これにより横軸の時間軸は拡大され B_1 と B_2 の間隔は (直径の寸法) 正確に 50 目盛に設定されたことになる。

N_3' の値は N_3' エコーの立上りの目盛を読み取り その値に 50 を加算しそれを 50 で割ればよいことになる。

$$N_3' \text{ 値} = \frac{50 + 38.8}{50} = 1.776 \quad N_3' \text{ 数表より } \chi = \frac{C_s}{C_l} = 0.492$$

暗算用 $\rightarrow (1 + \frac{38.8}{50} = 1 + \frac{38.8 \times 2}{100} = 1 + 0.388 \times 2 = 1.776)$ ポップレ比 $\nu = 0.340$

従って横波音速 $C_s = 0.492 \times 6315 = 3106.98 = 3107 \text{ m/s}$ となる。

但し N_3' エコーが B_2 の後に表示される金属などの物質には適用出来ない。

N_3 の ビーム 路程は縦波のまゝで一周するので正三角形になる。(図1参照)
従ってこのエコーの出る位置は全長の物質で 1.30 (詳しくは $\frac{3 \times \sqrt{3}}{4} = 1.299038$) になる。そのためこの手法では 15.0 目盛に表示された。

今回実測した数種類の物質ではいずれも 15 目盛であったが音響異方性がある物質では多少変わった筈である。

4 あとがき

紹介した方法により円柱面エコー N_3 を測定し、図(グラフ)または N_3 数表より直ちに音速比 C_s/C_L とポアソン比 ν の値を得ることが出来た。次にあらかじめ測定してあった縦波音速 C_L の値からその物質の横波音速 C_s を算出することが出来た。

さらにその物質の密度 ρ を測定すれば縦弾性係数(ヤング率) E 、横弾性係数(せん断弾性係数) G を計算により求めることが出来る。

従ってこの円柱面エコー N_3 を利用してこれ等の数値の算出法は丸棒という(丸板でも違わエコーに注意すれば可)限られた範囲ではあるが垂直探傷子による垂直探傷のため横波音速 C_s を始めとする ν, E, G の値を得ることが可能であり非常に有効な方法ではあるかと考える。

参考文献

1 Josef Krautkrämer, Herbert Krautkrämer

Ultrasonic Testing of Materials (Second Edition) 1977 P314, 315

2 超音波探傷法(改訂新版)日本学術振興会製鋼才19委員会編 ^(日刊工業) P259~297

3 非破壊検査便覧 日本非破壊検査協会編(日刊工業) P356~358

4 非破壊検査技術シリーズ 日本非破壊検査協会発行

超音波探傷試験 B (P182, 183), II (P20, 21) および III (P1, 2, 付録)

付録 N₃ 数表 [物質名はNDI表付録表の C_s/C_L = X 値による]

N ₃ '	$X = \frac{C_s}{C_L}$	V ポアソン比	N ₃ '	$X = \frac{C_s}{C_L}$	V ポアソン比	N ₃ '	$X = \frac{C_s}{C_L}$	V ポアソン比
2.408	0.300	0.451	2.287	0.324	0.441	2.183	0.348	0.431
2.402	0.301	0.450	2.282	0.325	0.441	2.179	0.349	0.431
2.397	0.302	0.450	2.278	0.326	0.441	2.175	0.350	0.430
2.391	0.303	0.449	2.273	0.327	0.440	2.171	0.351	0.430
2.386	0.304	0.449	2.268	0.328	0.440	2.167	0.352	0.429
2.381	0.305	0.449	2.264	0.329	0.439	2.163	0.353	0.429
2.376	0.306	0.448	2.260	0.330	0.439	2.159	0.354	0.428
2.370	0.307	0.448	2.255	0.331	0.438	2.155	0.355	0.428
2.365	0.308	0.448	2.250	0.332	0.438	2.151	0.356	0.427
2.360	0.309	0.447	2.246	0.333	0.438	2.147	0.357	0.427
2.355	0.310	0.447	2.241	0.334	0.437	2.143	0.358	0.426
2.350	0.311	0.446	2.237	0.335	0.437	2.140	0.359	0.426
2.345	0.312	0.446	2.233	0.336	0.436	2.136	0.360	0.426
2.340	0.313	0.446	2.228	0.337	0.436	2.132	0.361	0.425
2.335	0.314	0.445	2.224	0.338	0.436	2.128	0.362	0.425
2.330	0.315	0.445	2.220	0.339	0.435	2.125	0.363	0.424
2.325	0.316	0.445	2.216	0.340	0.435	2.121	0.364	0.424
2.320	0.317	0.444	2.211	0.341	0.434	2.117	0.365	0.423
2.315	0.318	0.444	2.207	0.342	0.434	2.114	0.366	0.423
2.310	0.319	0.443	2.203	0.343	0.433	2.110	0.367	0.422
2.306	0.320	0.443	2.199	0.344	0.433	2.106	0.368	0.422
2.301	0.321	0.443	2.195	0.345	0.432	2.103	0.369	0.421
2.296	0.322	0.442	2.191	0.346	0.432	2.099	0.370	0.421
2.291	0.323	0.442	2.187	0.347	0.432	2.096	0.371	0.420

N_3'	$X = \frac{C_s}{C_L}$	$\frac{V}{\text{ポアソン比}}$	N_3'	$X = \frac{C_s}{C_L}$	$\frac{V}{\text{ポアソン比}}$	N_3'	$X = \frac{C_s}{C_L}$	$\frac{V}{\text{ポアソン比}}$
2.092	0.372	0.420	2.013	0.396	0.407	1.943	0.420	0.393
2.089	0.373	0.419	2.010	0.397	0.406	1.941	0.421	0.392
2.085	0.374	0.419	2.007	0.398	0.406	1.938	0.422	0.392
2.082	0.375	0.418	2.004	0.399	0.405	1.935	0.423	0.391
2.078	0.376	0.418	2.001	0.400	0.405	1.932	0.424	0.390
2.075	0.377	0.417	1.998	0.401	0.404	1.930	0.425	0.390
2.072	0.378	0.417	1.995	0.402	0.404	1.927	0.426	0.389
2.068	0.379	0.416	1.992	0.403	0.403	1.924	0.427	0.389
2.065	0.380	0.416	1.989	0.404	0.402	1.922	0.428	0.388
2.061	0.381	0.415	1.986	0.405	0.402	1.919	0.429	0.387
2.058	0.382	0.415	1.983	0.406	0.401	1.917	0.430	0.387
2.055	0.383	0.414	1.980	0.407	0.401	1.914	0.431	0.386
2.051	0.384	0.414	1.977	0.408	0.400	1.911	0.432	0.385
2.048	0.385	0.413	1.974	0.409	0.400	1.909	0.433	0.385
2.045	0.386	0.412	1.971	0.410	0.399	1.906	0.434	0.384
2.042	0.387	0.412	1.968	0.411	0.398	1.904	0.435	0.383
2.038	0.388	0.411	1.966	0.412	0.398	1.901	0.436	0.383
2.035	0.389	0.411	1.963	0.413	0.397	1.899	0.437	0.382
2.032	0.390	0.410	1.960	0.414	0.397	1.896	0.438	0.381
2.029	0.391	0.410	1.957	0.415	0.396	1.894	0.439	0.381
2.026	0.392	0.409	1.954	0.416	0.395	1.891	0.440	0.380
2.022	0.393	0.409	1.952	0.417	0.395	1.889	0.441	0.379
2.019	0.394	0.408	1.949	0.418	0.394	1.886	0.442	0.379
2.016	0.395	0.408	1.946	0.419	0.394	1.884	0.443	0.378

正
鋼

N_3'	$X = \frac{C_s}{C_L}$	$\frac{V}{\text{ポアソン比}}$	N_3'	$X = \frac{C_s}{C_L}$	$\frac{V}{\text{ポアソン比}}$	N_3'	$X = \frac{C_s}{C_L}$	$\frac{V}{\text{ポアソン比}}$
1.881	0.444	0.377	1.826	0.468	0.360	1.776	0.492	0.340
1.879	0.445	0.377	1.823	0.469	0.359	1.774	0.493	0.339
1.876	0.446	0.376	1.821	0.470	0.358	1.772	0.494	0.339
1.874	0.447	0.375	1.819	0.471	0.357	1.770	0.495	0.338
1.871	0.448	0.374	1.817	0.472	0.357	1.768	0.496	0.337
1.869	0.449	0.374	1.815	0.473	0.356	1.766	0.497	0.336
1.867	0.450	0.373	1.813	0.474	0.355	1.764	0.498	0.335
1.864	0.451	0.372	1.811	0.475	0.354	1.762	0.499	0.334
1.862	0.452	0.372	1.808	0.476	0.354	1.760	0.500	0.333
1.860	0.453	0.371	1.806	0.477	0.353	1.758	0.501	0.332
1.857	0.454	0.370	1.804	0.478	0.352	1.756	0.502	0.332
1.855	0.455	0.369	1.802	0.479	0.351	1.754	0.503	0.331
1.853	0.456	0.369	1.800	0.480	0.350	1.753	0.504	0.330
1.850	0.457	0.368	1.798	0.481	0.349	1.751	0.505	0.329
1.848	0.458	0.367	1.796	0.482	0.349	1.749	0.506	0.328
1.846	0.459	0.367	1.794	0.483	0.348	1.747	0.507	0.327
1.843	0.460	0.366	1.792	0.484	0.347	1.745	0.508	0.326
1.841	0.461	0.365	1.790	0.485	0.346	1.743	0.509	0.325
1.839	0.462	0.364	1.788	0.486	0.345	1.741	0.510	0.324
1.837	0.463	0.364	1.786	0.487	0.345	1.740	0.511	0.323
1.834	0.464	0.363	1.784	0.488	0.344	1.738	0.512	0.322
1.832	0.465	0.362	1.782	0.489	0.343	1.736	0.513	0.321
1.830	0.466	0.361	1.780	0.490	0.342	1.734	0.514	0.320
1.828	0.467	0.361	1.778	0.491	0.341	1.732	0.515	0.320

アルミ合金・チタ

	N_3'	$X = \frac{C_s}{C_L}$	V ポアソン比		N_3'	$X = \frac{C_s}{C_L}$	V ポアソン比		N_3'	$X = \frac{C_s}{C_L}$	V ポアソン比
ス ス	1.731	0.516	0.319	1 金	1.690	0.540	0.294	平 鉛	1.652	0.564	0.267
	1.729	0.517	0.318		1.688	0.541	0.293		1.651	0.565	0.266
	1.727	0.518	0.317		1.686	0.542	0.292		1.649	0.566	0.264
	1.725	0.519	0.316		1.685	0.543	0.291		1.648	0.567	0.263
	1.723	0.520	0.315		1.683	0.544	0.290		1.646	0.568	0.262
	1.722	0.521	0.314		1.682	0.545	0.289		1.645	0.569	0.261
	1.720	0.522	0.313		1.680	0.546	0.288		1.644	0.570	0.259
	1.718	0.523	0.312		1.678	0.547	0.287		1.642	0.571	0.258
	1.717	0.524	0.311		1.677	0.548	0.285		1.641	0.572	0.257
	1.715	0.525	0.310		1.675	0.549	0.284		1.639	0.573	0.256
ニ ンケ ル	1.713	0.526	0.309	S US 304	1.674	0.550	0.283	1.638	0.574	0.254	
	1.711	0.527	0.308		1.672	0.551	0.282	1.636	0.575	0.253	
	1.710	0.528	0.307		1.671	0.552	0.281	1.635	0.576	0.252	
	1.708	0.529	0.306		1.669	0.553	0.280	1.633	0.577	0.250	
	1.706	0.530	0.305		1.667	0.554	0.279	1.632	0.578	0.249	
	1.705	0.531	0.304		1.666	0.555	0.277	1.631	0.579	0.248	
	1.703	0.532	0.303		1.664	0.556	0.276	1.629	0.580	0.247	
	1.701	0.533	0.302		1.663	0.557	0.275	1.628	0.581	0.245	
	1.700	0.534	0.301		1.661	0.558	0.274	1.626	0.582	0.244	
	1.698	0.535	0.299		1.660	0.559	0.273	1.625	0.583	0.243	
ア ク リ ル 材	1.696	0.536	0.298	1.658	0.560	0.272	1.624	0.584	0.241		
	1.695	0.537	0.297	1.657	0.561	0.270	1.622	0.585	0.240		
	1.693	0.538	0.296	1.655	0.562	0.269	1.621	0.586	0.239		
	1.691	0.539	0.295	1.654	0.563	0.268	1.620	0.587	0.237		

	N_3'	$X = \frac{C_s}{C_L}$	$\frac{V}{\text{ポアソン比}}$		N_3'	$X = \frac{C_s}{C_L}$	$\frac{V}{\text{ポアソン比}}$		N_3'	$X = \frac{C_s}{C_L}$	$\frac{V}{\text{ポアソン比}}$
	1.618	0.588	0.236		1.587	0.612	0.201		1.558	0.636	0.160
	1.617	0.589	0.234		1.586	0.613	0.199		1.557	0.637	0.159
	1.616	0.590	0.233		1.584	0.614	0.197		1.556	0.638	0.157
	1.614	0.591	0.232		1.583	0.615	0.196		1.555	0.639	0.155
	1.613	0.592	0.230		1.582	0.616	0.194		1.553	0.640	0.153
	1.611	0.593	0.229		1.581	0.617	0.193		1.552	0.641	0.151
	1.610	0.594	0.227		1.579	0.618	0.191		1.551	0.642	0.149
	1.609	0.595	0.226		1.578	0.619	0.189		1.550	0.643	0.148
	1.607	0.596	0.225		1.577	0.620	0.188		1.549	0.644	0.146
	1.606	0.597	0.223		1.576	0.621	0.186		1.548	0.645	0.144
	1.605	0.598	0.222		1.575	0.622	0.184		1.547	0.646	0.142
	1.604	0.599	0.220		1.573	0.623	0.183		1.546	0.647	0.140
	1.602	0.600	0.219		1.572	0.624	0.181		1.545	0.648	0.138
	1.601	0.601	0.217		1.571	0.625	0.179		1.543	0.649	0.136
	1.600	0.602	0.216		1.570	0.626	0.178		1.542	0.650	0.134
	1.598	0.603	0.214		1.569	0.627	0.176		1.541	0.651	0.132
	1.597	0.604	0.213		1.567	0.628	0.174		1.540	0.652	0.130
	1.596	0.605	0.211		1.566	0.629	0.173		1.539	0.653	0.128
	1.594	0.606	0.210	石 瓦 カ タ ス	1.565	0.630	0.171		1.538	0.654	0.126
	1.593	0.607	0.208		1.564	0.631	0.169		1.537	0.655	0.124
	1.592	0.608	0.207		1.563	0.632	0.167		1.536	0.656	0.122
	1.591	0.609	0.205		1.562	0.633	0.166		1.535	0.657	0.120
	1.589	0.610	0.204		1.560	0.634	0.164		1.534	0.658	0.118
	1.588	0.611	0.202		1.559	0.635	0.162		1.533	0.659	0.116

2nd rank

N_3'	$X = \frac{C_s}{C_L}$	$\frac{V}{\text{ポアソン比}}$	N_3'	$X = \frac{C_s}{C_L}$	$\frac{V}{\text{ポアソン比}}$	N_3'	$X = \frac{C_s}{C_L}$	$\frac{V}{\text{ポアソン比}}$
1.531	0.660	0.114	1.507	0.684	0.060			
1.530	0.661	0.112	1.506	0.685	0.058			
1.529	0.662	0.110	1.505	0.686	0.056			
1.528	0.663	0.108	1.504	0.687	0.053			
1.527	0.664	0.106	1.503	0.688	0.051			
1.526	0.665	0.104	1.502	0.689	0.048			
1.525	0.666	0.101	1.501	0.690	0.046			
1.524	0.667	0.099	1.500	0.691	0.043			
1.523	0.668	0.097	1.499	0.692	0.041			
1.522	0.669	0.095	1.498	0.693	0.038			
1.521	0.670	0.093	1.497	0.694	0.035			
1.520	0.671	0.091	1.496	0.695	0.033			
1.519	0.672	0.088	1.495	0.696	0.030			
1.518	0.673	0.086	1.494	0.697	0.028			
1.517	0.674	0.084	1.493	0.698	0.025			
1.516	0.675	0.082	1.492	0.699	0.022			
1.515	0.676	0.079	1.491	0.700	0.020			
1.514	0.677	0.077						
1.513	0.678	0.075						
1.512	0.679	0.072						
1.511	0.680	0.070						
1.510	0.681	0.068						
1.509	0.682	0.065						
1.508	0.683	0.063						

SH波探傷用の新しい接触媒質の開発



日合アセチレン株式会社
大橋、新谷、上坂



①. はじめに

SH波探傷において、接触媒質は非常に重要な役割を持ち、この新しい探傷法の普及は、「SH波用接触媒質」のより良い性能にかかっている。

1996年11月「ソニコート-SHN」として、冬期（低気温）から夏期（高気温）をカバーするべく、6品種を上市し現場で使用されて来ました。

しかし、吸湿による感度の低下（エコー高さの減衰）があり、以来その低減に取り組んでまいりました。ここに「新ソニコート-SHN」を上市するにあたり、以下に研究開発結果を報告します。

②. 新ソニコート-SHNの研究開発結果

SH波探傷用接触媒質は、縦波に使用する接触媒質と全く違った成分と製法等であり、かつ吸湿を低減させる為、創意工夫を重ね、長時間と労力を要しました。

②-1. 新ソニコート-SHNの品種と使用温度範囲（検査物の温度）

新ソニコート-SHN		旧ソニコート-SHN（廃番）	
品 種	使 用 温 度	品 種	使 用 温 度
SHN-A5	-5℃～20℃	SHN-0	-15℃～15℃
		SHN-10	0℃～25℃
SHN-B25	15℃～40℃	SHN-20	13℃～33℃
		SHN-30	25℃～40℃
SHN-C45	35℃～60℃	SHN-40	33℃～50℃
		SHN-50	45℃～60℃
(3品種) (新物質)		(6品種)	

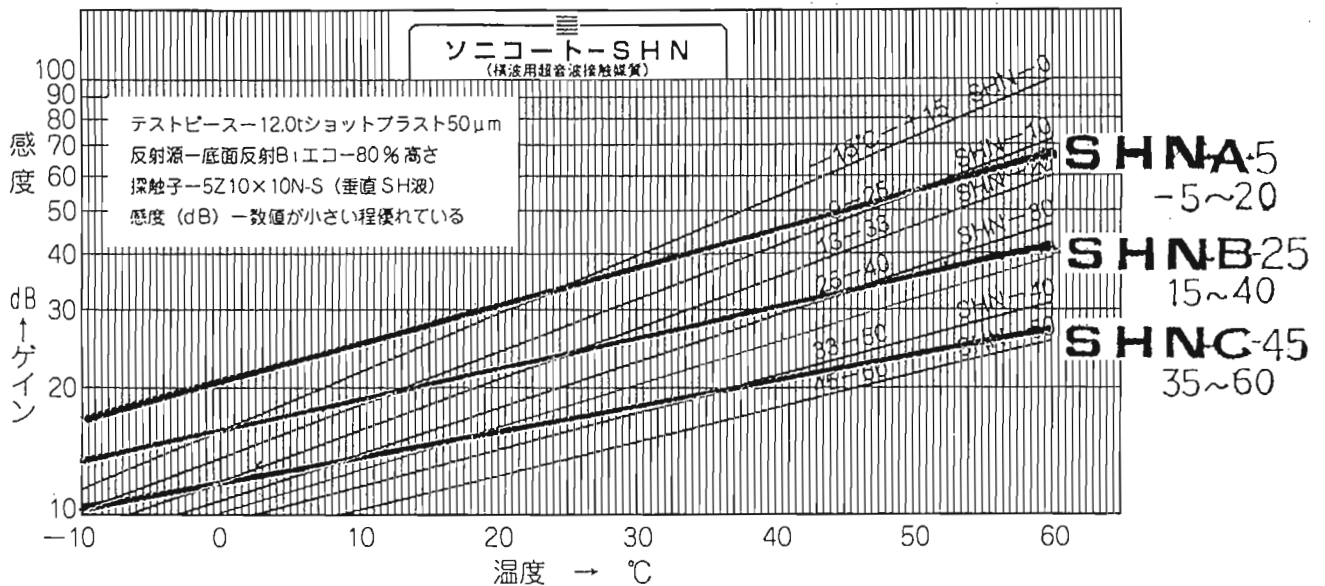
2-2. 新ソニコート-SHNの温度と感度

2-2-1) 実験方法

- 1) テストピース— 12.0tショットプラスト表面粗さ $50\mu\text{m}$ (SS-41)
- 2) 反射源— 底面
- 3) 探触子— 5Z10×10N-S (横波垂直探触子-SH波)
- 4) 感度— 底面反射 B_1 80%エコー高さのdB値 (ゲイン値)
- 5) 探触子に負荷する荷重— 約8kg前後
- 6) 試験温度— $-8^{\circ}\text{C} \sim +60^{\circ}\text{C}$ (3品種)
- 7) ソニコート-SHNの塗布とその薄膜化方法 (なじませ操作)
各温に設定したテストピースに接触媒質を少量塗布し、探触子を摺動させたり、強く押しつけることを繰り返し、膜厚さを薄くかつエコー高さ (感度) の安定することを確認した。

2-2-2) 測定結果

1) ソニコート-SHNの温度と感度



2) 考察

- (1) 新SHNの感度 (エコー高さ-ゲイン値) は、温度依存性があるものの、その感度勾配は新SHNが $0.28 \sim 0.44 \text{ dB}/^{\circ}\text{C}$ (3品種)、旧SHNは $0.43 \sim 0.68 \text{ dB}/^{\circ}\text{C}$ (6品種)で、比較すると小さい。
- (2) 操作性 (エコーの立ち上がり早さ、安定性、スキヤニング性等) は、手動実験で良好であることを確認した。
- (3) 以上のことから、使用検査物の温度 $-5^{\circ}\text{C} \sim +60^{\circ}\text{C}$ 間を3品種でカバー出来る。

2-3]. 新ソニコートSHNの温度と粘度及び感度

2-3-1) 実験方法

1) 粘度計—同期電動回転粘度計

2) 作動原理— (ビスメロン粘度計)

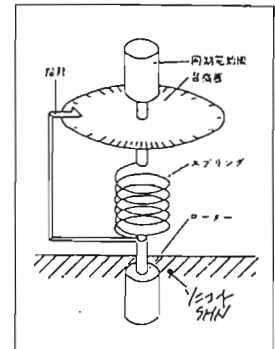
各温度に設定した液体中 (ソニコート—新SHN) で、ローターの円筒又は、円板を回転させ、それに働く液の粘性抵抗トルクを測定する。

2-3-2) 測定結果

1) 新ソニコート—SHNの温度と粘度

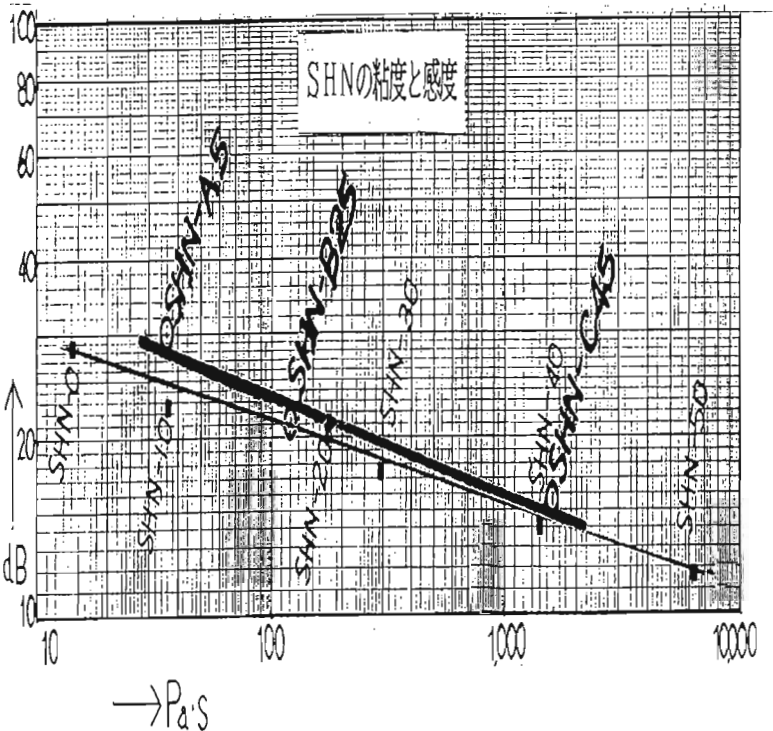
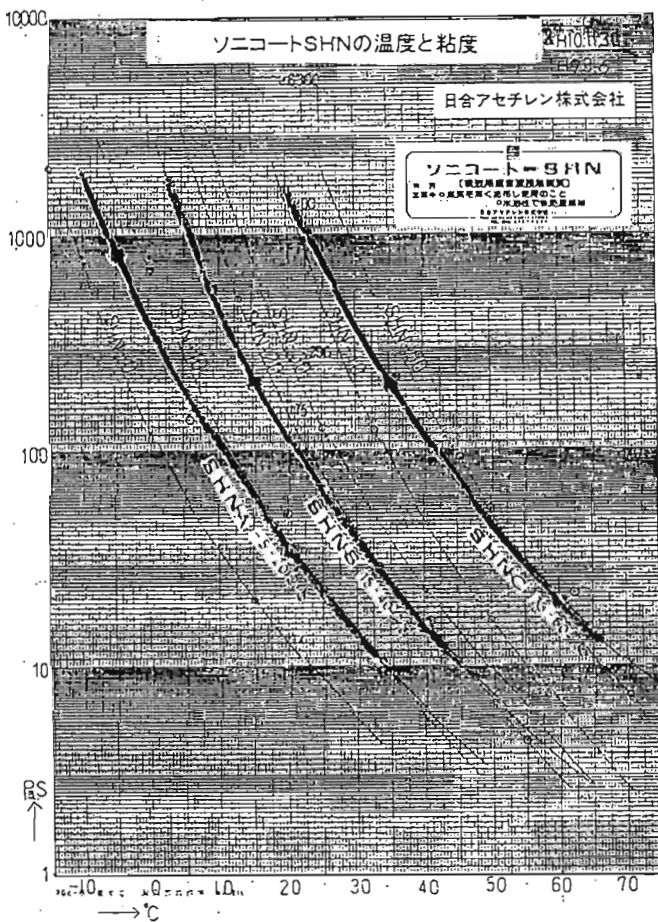
構造図

新ソニコートSHN			粘度—Pa・S (ビスメロン粘度計)							
品番	使用温度	期	-10℃	0℃	10℃	20℃				
SHN-A5	-5℃ ~ 20℃	液			10℃	20℃				
		液	2,000	400	110	36				
SHN-B25	15℃ ~ 40℃	液			10℃	20℃	30℃	40℃		
		液			480	120	41	16		
SHN-C45	35℃ ~ 60℃	液				20℃	30℃	40℃	50℃	60℃
		液				1,600	380	115	44	20



2) SHNの温度と粘度

3) SHNの粘度と感度



粘度と感度 (at 20℃)
(前項の感度測定データ)

SHN-A5	30.0 dB
SHN-B25	21.0 dB
SHN-C45	15.5 dB

4) 考察

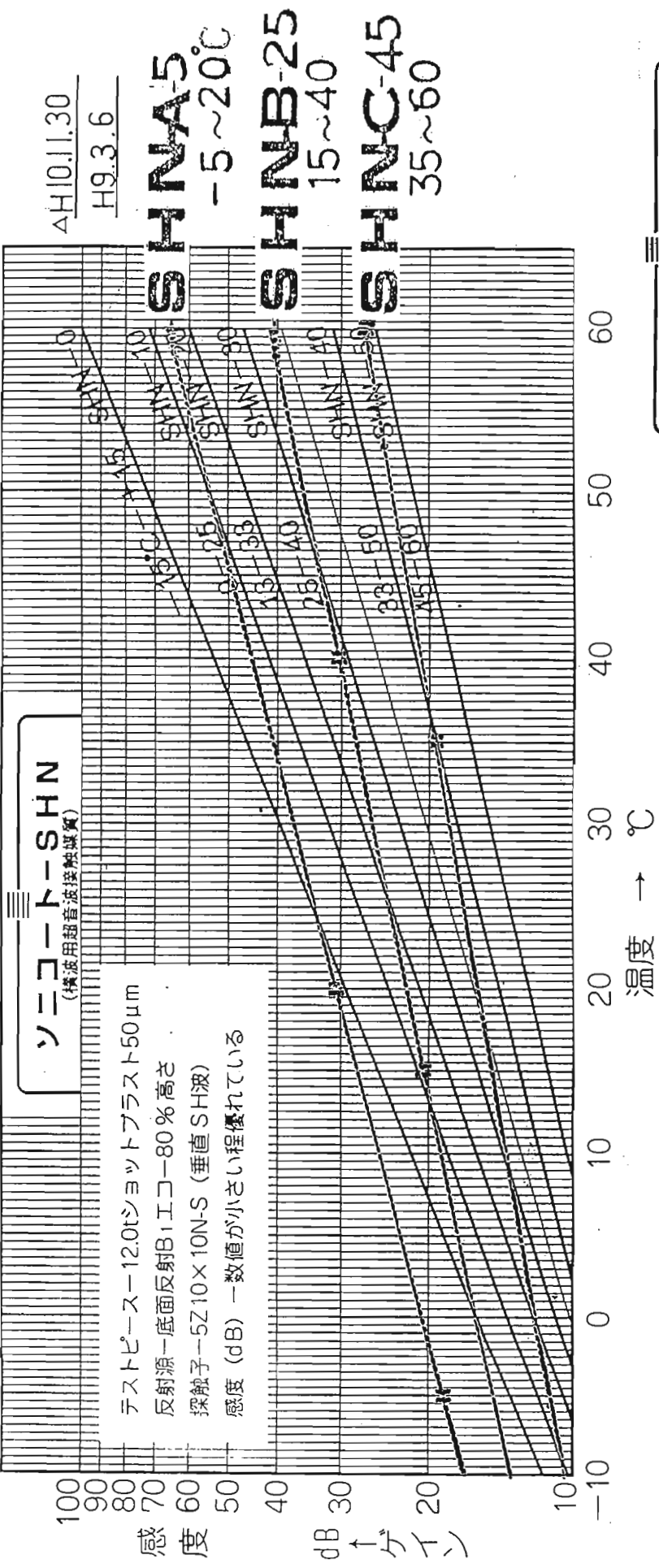
- 1) 新SHNの粘度の温度変化は、旧SHNと類似している。
- 2) 粘度と感度の関係は直線にのる。(対数グラフ)
粘度が高いと感度は良くなる。(ゲイン値は小さくなる。)

③. まとめ

- 1) SH波探傷用の性能の良い接触媒質を開発することが出来た。
- 2) 現場での使用実績をもとに、さらに性能の良い接触媒質を目指して研究開発を続けます。
- 3) この「新ソニコート-SHN」が「SH波探傷法」の普及に、お役に立てれば幸いです。

傷の接触媒質には「ソニコート」を

ソニコート-SHN (温度と感度)



ソニコート-SHN
 特許 (横波用超音波接触媒質)
 出願中の媒質を薄く塗布し使用のこと
 ○水溶性で後処理簡単
 日合アセチレン株式会社
 TEL 061-841-1172

日合アセチレン株式会社

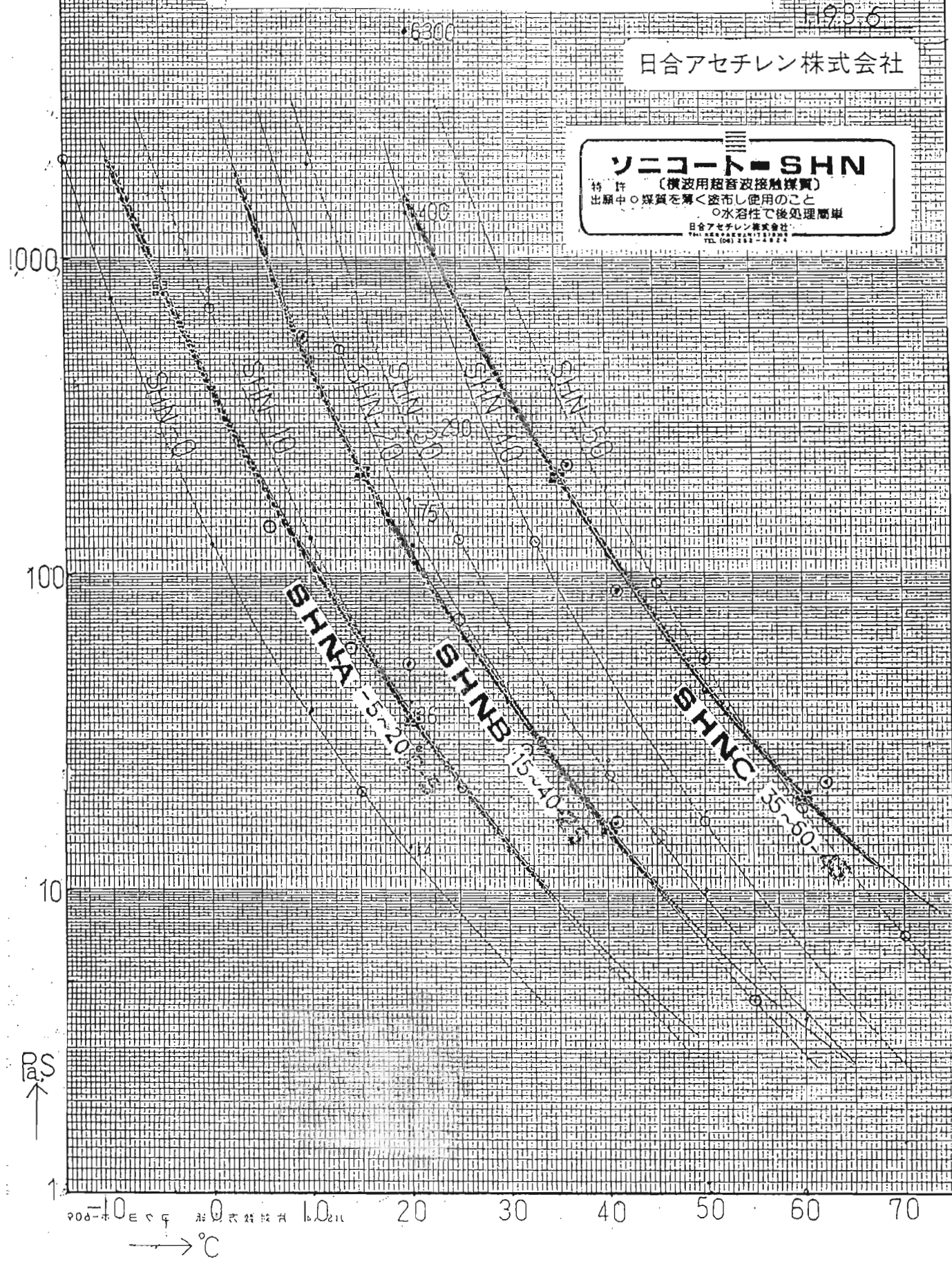
10000

ソニコートSHNの温度と粘度

AH10.0130
119.3.6

日合アセチレン株式会社

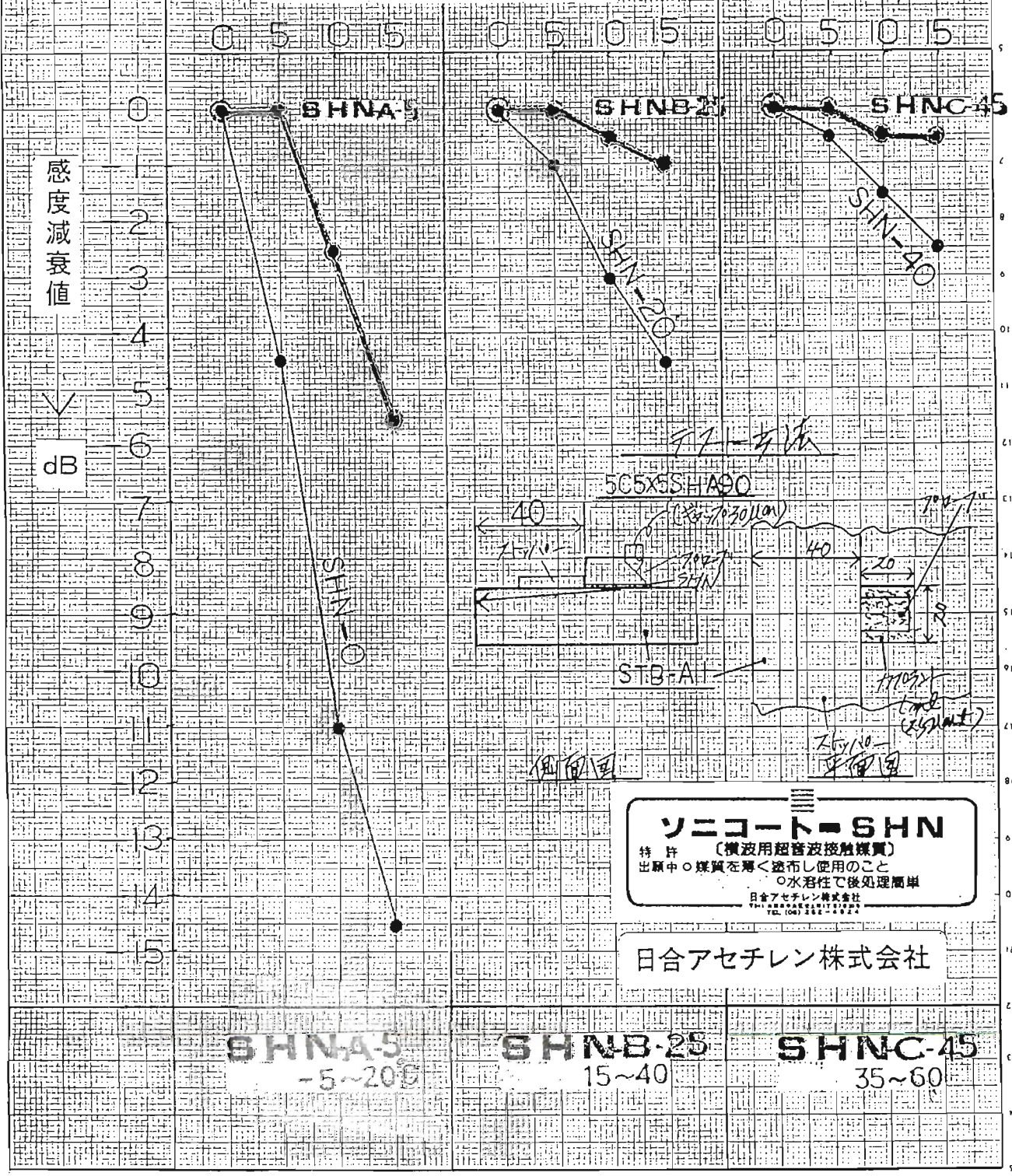
ソニコート-SHN
 特許 (横波用超音波接触探傷)
 出願中○探傷を薄く塗布し使用のこと
 ○水溶性で後処理簡単
 日合アセチレン株式会社
 〒100 東京都千代田区千代田 1-1-1
 TEL 03-5561-1124



ソニコートSHNの吸湿による感度減衰値

110.1.30
 条件
 気温 24.5℃
 湿度 60%

接触媒質塗布後の経時時間 → Min



ソニコート-SHN
 特許 (横波用超音波接触媒質)
 出願中○媒質を薄く塗布し使用のこと
 ○水溶性で後処理簡単
 日合アセチレン株式会社
 THE ACETYLENE CO., LTD.

日合アセチレン株式会社

SHNA-5
 -5~200

SHNB-25
 15~40

SHNC-45
 35~60

超音波フェイズドアレイシステムによる新技法の確立

Dynamic Depth-Focusing by a New Phased Array System of R/D tech

R/D tech(Japan) ドミニク ブラコニエ
栄進化学(株) 江原 英治(訳)

概 要

超音波フェイズドアレイによる探傷法は、可なり以前より従来の超音波探傷法では解決が難しい対象に対しても有効である技法として期待されてはいたものの、ハード面での限界(コストも含め)或いはプローブ問題等でその利用範囲の大幅な拡大には至っていなかったが、R/D tech社による最新装置の開発により、フェイズドアレイの持つ多様な探傷技法が実現しており、本報告書では“Dynamic Depth-Focusing”を中心に具体例を含め説明する。

キーワード： アレー素子個別制御、電子スキャン、焦点制御、高精度、高速度

1. 緒言

最近開発されたフェイズドアレイ装置により、通常電子スキャンと同時に“Dynamic Depth-Focusing”(DDF)手法が非破壊検査に活用出来るようになった。これは受信側に於いて、作動中のグループ素子を個別に遅延時間やゲインを自在に変動させるプログラムが可能になったことによる。このDDF手法を加えた電子スキャンにより、超音波の従来手法の限界を大幅に打ち破り、欠陥の性状・サイズ・位置の判定精度を高め、かつ高速の探傷が可能となった。無論、従来法では不可能であった複雑形状対象物に対しても多くの可能性を与えるものであり、精度・スピード・コストと共に超音波探傷に飛躍的な発展をもたらすものと期待される。以下では特に、厚物溶接部の探傷実例を以ってDDF手法を紹介する。

2. 新技術適用へのアプローチ

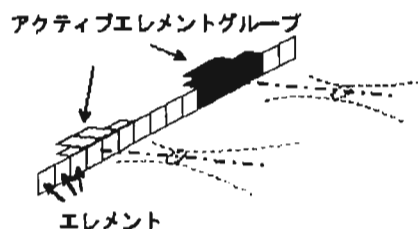
超音波探傷法としては可なりの部分で、使用される探触子により定義付けされる。探触子からの超音波ビームはAスキャンを得るためのものであり、Aスキャン表示は、B、C、Sスキャン等の表示の元になるため、超音波の世界ではAスキャンの信頼性の追求により、検査の正確度増大に注力することになるが、実際には対象物質内の深さ方向の要素として、ビームの拡散度と音圧(アンプリチュード)の二つが重要であり、Aスキャンの信頼性に関わってくる。

通常フェイズドアレイシステムには、任意の点に対し電子操作によりビームを収束(焦点)させ得る強力な能力を備えている。しかし当然ながら、焦点エリア以外での欠陥部エコーは拾い難くなり、これに対応するためビームスポットを上げてやると感度を犠牲にすることになる。又、深さ方向に順次焦点位置を移動させる(Multi-Zone Focusing)機能で高い感度を維持することは可能であるが、この手法は探傷速度を遅くし、かつ複雑な操作が求められる。

新しく可能となった DDF 手法は、これらの問題点を解決させるものであり、電子スキャンとの併用により、信頼性が高く、かつ高速な探傷が可能となった。

3. 電子スキャンの動作理論概要

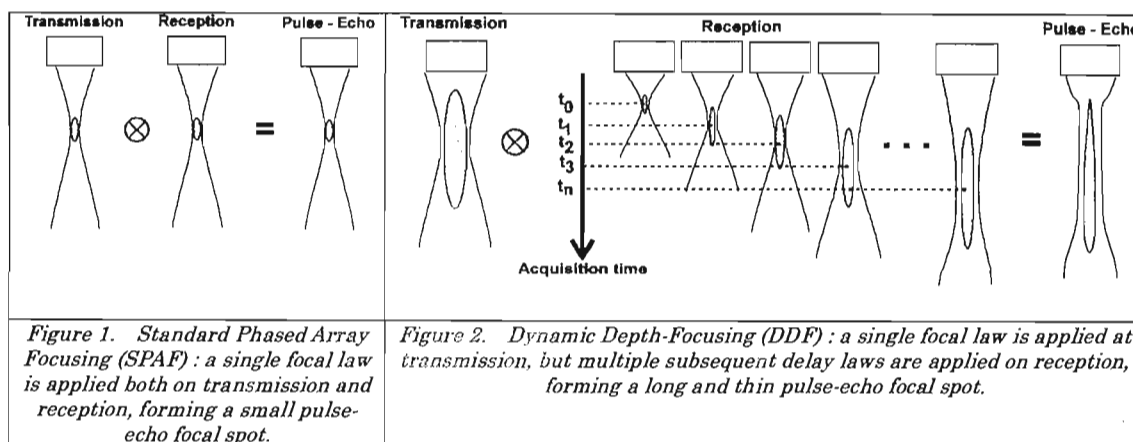
例えば右図の如く、複数の探触子素子を直線的に並べたりニアアレイプローブに於いて、任意に選択した素子グループの各々の素子を同時に作動させ、個別制御により必要な性能を持たせた一つの Law (合成探触子) を素子の整列方向に順次或いは任意に電子制御で移動走査させるもので、アレイプローブのサイズ内で機械的スキャンをすること無く、圧倒的に高速、かつ安定したスキャンが得られるもので、フェイズドアレイ技法での大きな優位性のひとつである。



4. DDF の動作理論概要

Standard Phased Array Focusing (SPAF) での収束ビーム形成技術は簡単である。アレイの各素子の遅延とゲイン操作がビーム収束へ作用する。グループ素子の遅延制御のセットを“Delay Law”と呼称し、ゲイン制御のセットを“Amplitude Law”と呼ぶ。通常この二つの Law をセットにして“Focal Law”と称する。SPAF では下図 1. の如く送信・受信共にひとつの Focal Law が適用され、Delay Law による合成ビームは収束し、一般的な焦点を形成する。又、SPAF は上述の Multi-Zones Focusing 手法も可能である。

DDF も同様の収束ビーム形成技術であるが、実際の使用面で更に進歩したものと言える。これは、アレイの受信作動の間に受信用の Focal Law を変化させることによるもので、即ち、受信の信号受入れ時間要素の中で焦点位置を移動させることになる。この技法の実用化は、ハードウェアが限られた受信時間要素の中で変化可能な Delay Law を操作する事が可能になったことに依るものである。DDF 手法は送信では下図 2. の如く、ひとつの Focal Law を用い、受信上では多くの Delay Law を連続的に用いるものである。



相当に押し込んだことを示している。SPAF ではビームスポットサイズの変化は大きく焦点位置で最少となっているが、DDF では長い音道に亘って均一性を保っている。この重要点を記して置く。

1. DDF によるビームスポットサイズは常に SPAF でのスポットサイズと同様の小さなサイズを得ている。
2. DDF は SPAF で得られるビームスポットサイズの範囲内でビームの拡散を押さえることが出来る。

Signal-to-Noise Ratio

図5は DDF による S/N 比の改善を示している。DDF による S/N 比は SPAF での S/N 比よりも常に高くなっている。

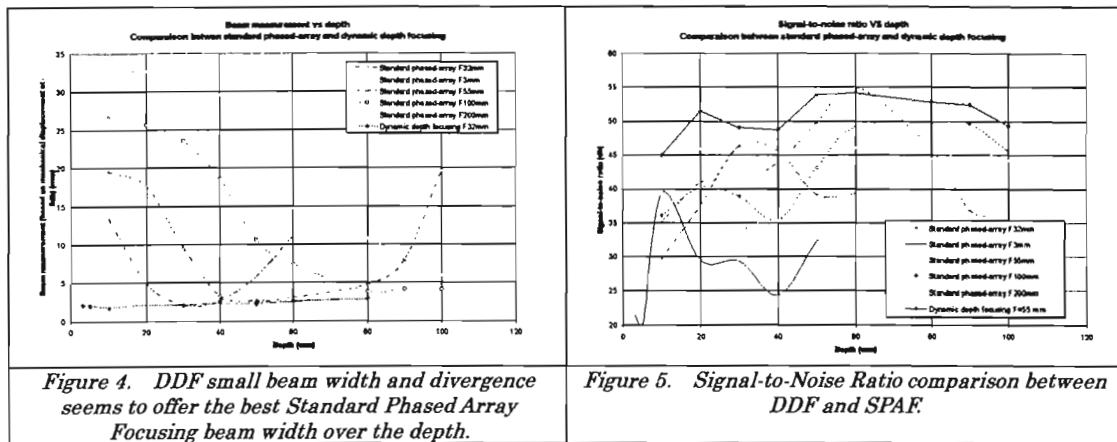


Figure 4. DDF small beam width and divergence seems to offer the best Standard Phased Array Focusing beam width over the depth.

Figure 5. Signal-to-Noise Ratio comparison between DDF and SPAF.

6. 結論

R/D tech のハードとソフト技術によって開発された DDF 技法は SPAF に対し、主として以下の如き改良をもたらした。

1. 効果的な DDF により生じた Depth-of-Field (探傷有効領域) は SPAF に比べ大幅に改善され、DDF でのビームスポットは SPAF でのビームスポットと常に同程度の小ささを保っている。
2. DDF による S/N 比は SPAF での S/N 比よりも常に高くなっている。
3. ひとつのメカニカルポジションにて一つの A スキャンのみが記録されることより、記録ファイルの量は大巾に減少する。
4. DDF にて長い音路 (サウンドパス) をカバーするためにもひとつの A スキャンのみが求められる為、PRF は増大する。

DDF と電子スキャンとの並用により、単純化されたスキャナーでの高速自動探傷が可能となり、検査の信頼性を大巾に高めると同時にコストの削減を実現した。

実例とした溶接部の検査に対しても、探傷速度は従来品の最高速度にも劣るものでなく、又、対象物の表面条件にも殆ど影響されないことが実証されている。

以上が新技法 DDF に関する報告であるが、超音波フェイズドアレイ法での探傷は多くの可能性を有し、実用化を進める中で非破壊検査分野に新しい時代の到来を予感出来る。

次の表は超音波法の従来法、SPAF、DDF の主なる違いを示した。

Topics	Conventional	SPAF	DDF
Beamforming technique	no	Yes	yes
Possibility of electronic focusing	no	Yes	yes
Possibility of electronic scanning	no	Yes	yes
Number of TX focal laws	-	1	1
Number of RX focal laws while receiving	-	1	MULTIPLE delay laws 1 amplitude law
Variable TX aperture	no	Yes	yes
Variable RX aperture while receiving	no	No	yes**

**Projected in next R/D Tech hardware

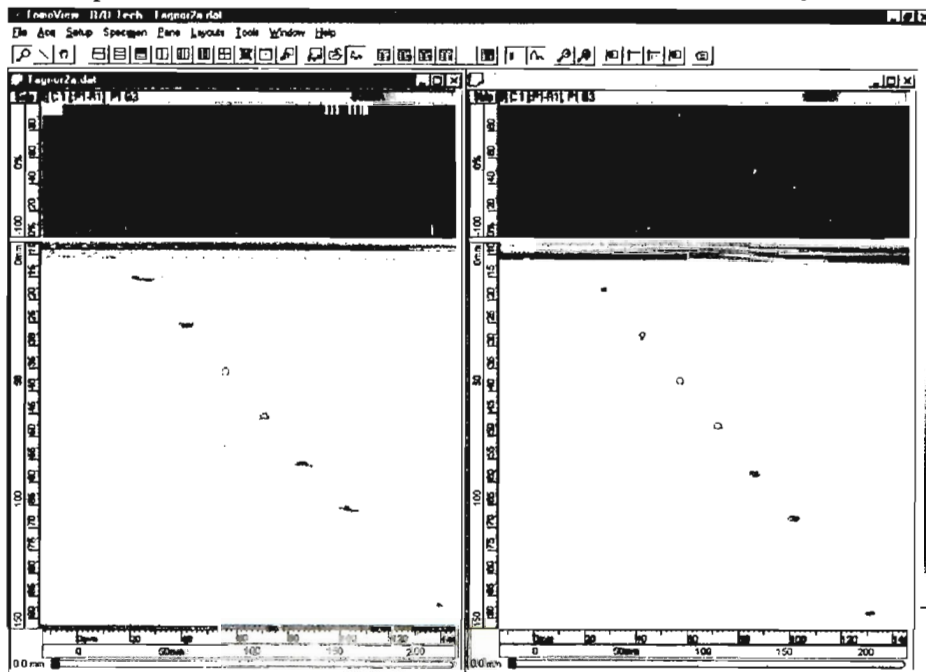
Table 3 : Description of the blocks used to characterize the beam produced with DDF.

Parameter	Block #1	Block #2
Type of reflectors	Side-Drilled Holes (SDH) of 2 mm of diameter	Flat-Bottom Holes (FBH), diameter of 1 mm
Depth of reflectors	3, 5, 10 to 100 mm, 10 mm step	50 to 250 mm, 5 mm step
Material	Carbon steel	Aluminium
Surface quality	Good	Good
Velocity (LW)	5780 mm/s	6393 mm/s

5. 適用結果

Depth of Field

下図（左）は SPAF 手法の深さ方向での効果を表している。ビームスポットは焦点位置近傍では小さくなっているが、外れたところでは大きくなっている。右図は DDF では明らかに Depth of Field は長くなりビームの拡りは小さくなっている。



Beam Spot

図4は DDF 手法が長い音路（サウンドパス）に亘ってビームスポットサイズの変化を

高温用接触媒質の横波（SH波）への適用

石川島検査計測（株）技術研究所 熱田 美道

1. はじめに

弊社の高温用接触媒質は、図1に示すように常温から500℃まで安定して超音波（縦波）を伝達出来る性質を持っている。またこの高温用接触媒質は、粘性を有することより常温で横波を伝達することが確認されている。

一方、市販の横波用接触媒質は、約20℃～60℃の温度変化において粘性が変化し感度が最大で約20dB低下することが知られている。これに対し弊社の高温用接触媒質は、20℃～60℃の温度変化では粘性変化が少なく感度変化も少ないと推測される。

そこで弊社の高温用接触媒質を約20℃～60℃までの変化させた時の感度の温度依存性について実験を行ったので紹介する。

2. 使用器材

実験に使用した器材を以下に示す。

2-1 接触媒質

下記の粘性を有する4種類の接触媒質を使用した。

- | | |
|------------|-----|
| ①市販横波用接触媒質 | 2種類 |
| ②市販高温用接触媒質 | 1種類 |
| ③弊社高温用接触媒質 | 1種類 |

2-2 探傷器

USL 48（クワトロマ-社製） 1台（感度ゲインタイプ：数値が大きいほど感度が悪い）

2-3 探触子

横波垂直探触子（5Z10×10N-S：PY1436）（ジャパンローフ社製）

3. 実験方法

実験は、図2に示す方法で行った。接触媒質の温度は試験体の温度とし、加熱方法は常温から60℃まで比較的均一温度になるよにバットの中の水を加熱し水の熱伝導で加熱した。接触媒質の感度比較は、すべての実験に同じ横波垂直探触子、同じ試験体（板厚2.5t）で行い、第1底面エコーで評価した。またこの時、探触子がすべての実験で均一に加重できるように総加重2.8Kgの重りを載せた。

温度は20℃より5℃ピッチで60℃まで上昇させ、各温度で温度を安定させるため30分

保持した。試験体の温度は、表面温度計で計測し角度0度90度180度270度の4方向で±1度で管理した。

4. 実験結果及び考察

写真1に各接触媒質の20℃におけるAスコープ写真を示す。市販高温用接触媒質が最も感度が良く、次いで弊社高温用接触媒質、その次に市販横波接触媒質(1)、(2)の結果になった。これは接触媒質の触感による粘性が高いほど感度が良い結果となり、接触媒質の粘性が高いほど横波を透過させるのと同じである。次に図3に20℃から60℃まで5℃ピッチで温度を上昇させて感度変化を測定した結果を示す。

市販高温用接触媒質は、31dB(20℃)から50dB(60℃)まで直線的に感度が低下した。市販横波接触媒質(1)も40dB(20℃)から65dB(55℃)まで直線的に感度が低下した。また市販横波用接触媒質(2)も(1)と同様に45dB(20℃)から67dB(40℃)まで直線的に感度が低下した。この時各接触媒質の粘性を、触感で調べるとさらさらになり明らかに粘性が低下していた。これより接触媒質が温度変化による粘性の低下で横波の伝達が悪くなることが確認できた。

一方、弊社の高温用接触媒質は36dB(20℃)から48dB(40℃)まで低下したがその後は感度変化を起こさず、むしろ60℃では44dBとなり感度が良くなる傾向を示した。弊社の高温用接触媒質の粘性を各温度で触感で調べると20℃から40℃までは粘性が低下している。しかし40℃から60℃では高温用接触媒質は透明から白色に変化し始め粘性が増している。これは、接触媒質中の水分が多少蒸発したため粘性が増したと考えられる。

5. まとめ

弊社の高温用接触媒質について横波の伝播実験を行い以下のことが明らかになった。

①20℃(常温)における弊社の高温用接触媒質の横波の伝播感度は市販の横波用接触媒質と差が無いことが判った。

②弊社の高温用接触媒質の20℃から60℃までの温度変化に対し横波の感度変化は、最大14dBであった。

このことより弊社の高温用接触媒質は500℃の高温における縦波のみならず20℃から60℃の範囲での横波の伝播にも適用出来ることが明らかになった。

しかし今後、接触媒質の粘性と感度の関係や水分の吸湿性及び接触媒質の操作性などを検討する必要がある。

[参考文献]

熱田、荒川：高温用超音波探触子，検査技術 VOL.2 NO.9、pp10-16

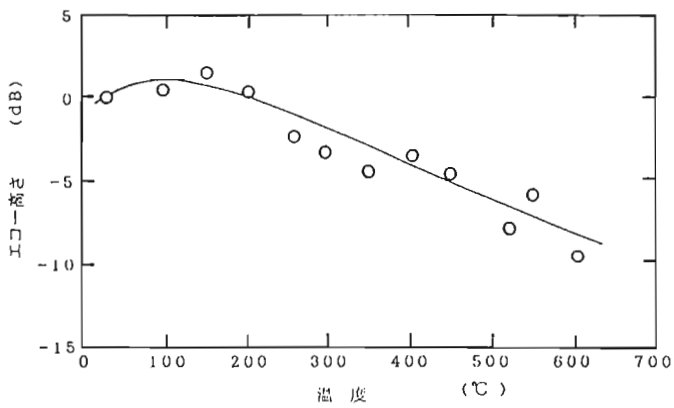


図1 弊社高温用接触媒質の高温超音波(縦波)伝達能力

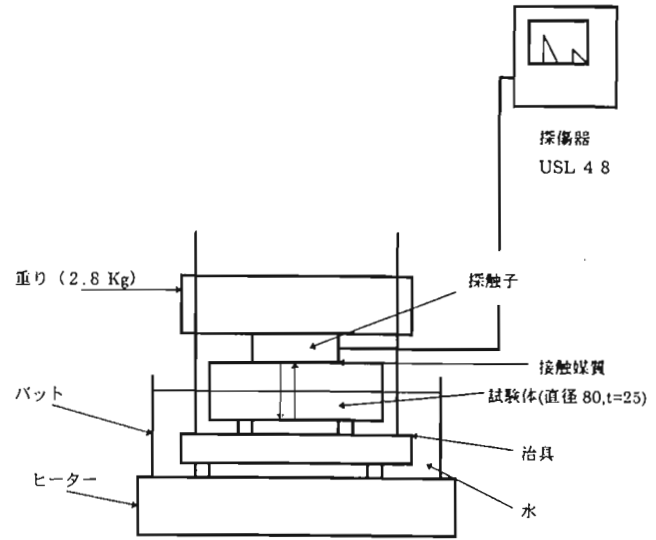


図2 実験方法

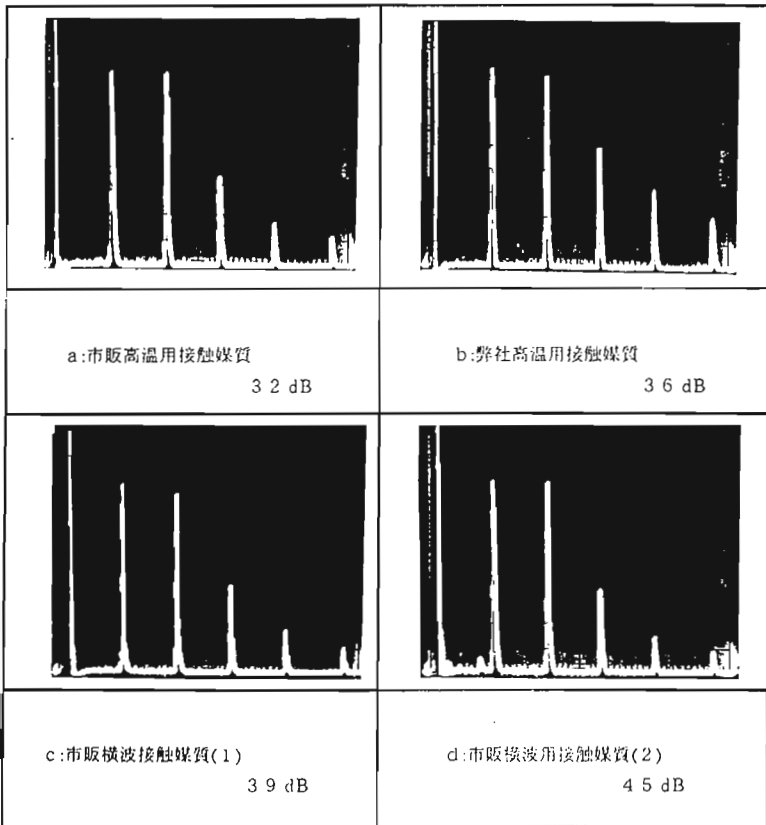


写真1 各接触媒質のAスコープ(20°C)

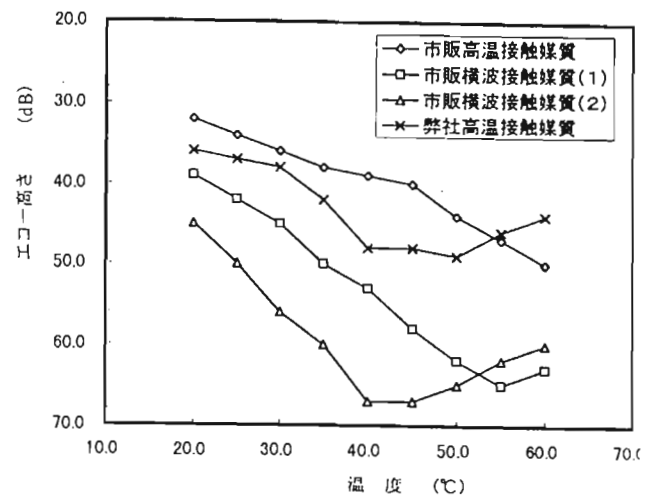


図3 各温度における横波の感度



鋼溶接部の超音波自動探傷装置

IMPACT (AUT1000) の紹介

Introduction of IMPACT(AUT1000) Ultrasonic Automatic Testing System for Weld in Steel

日本クラウトクレマー（株） ○南 康雄、坂代一郎

概 要

対数 (Log) アンプを採用したゲート内全エコー収録方式の鋼溶接部超音波自動探傷装置である一般市販品 IMPACT (AUT1000) を紹介する。この装置は新 JIS Z 3070 に規定されている各種要求にも対応し、さらに、厚板にも適用できるもので、超音波自動探傷装置の問題点であった記録性、客観性及び透明性を大きく向上させたものである。

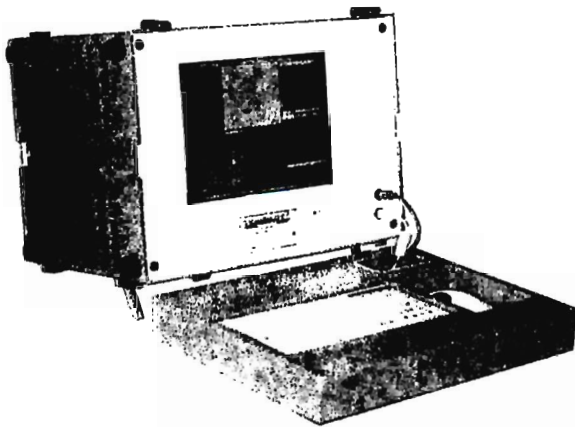
1. はじめに

近年、高速道路等の大型構造物の建設は最大で 100mm 程度の極厚鋼板が適用され、その溶接の多くは現場溶接となっている。しかし、溶接部の検査方法として従来から適用されている放射線検査 (RT) では、60mm 以上の極厚鋼板の現場溶接には適用が困難である。そこで、RT に代わる検査方法として超音波自動探傷方法 (AUT) の適用が囑望されるものの、記録性、客観性及び透明性等の問題点が指摘されており、さらに超音波自動探傷に関する規格等も無いため全面的採用に至っていないのが現状である。

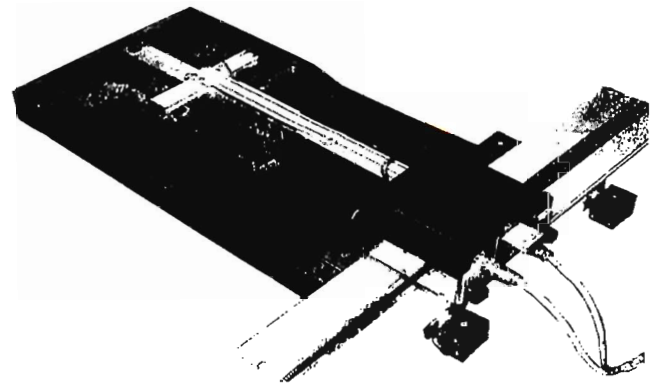
しかし、昨年新 JIS Z 3070 「鋼溶接部の超音波自動探傷方法」が制定されるに至り、本装置「IMPACT」は、新 JIS に規定されている最高の機能である対数増幅器 (ログアンプ) を用いた全エコー収録方式を採用しており、従来の超音波自動探傷装置が抱える諸問題を一挙に解決した次世代に向けた新しい装置である。

2. IMPACTの外観

IMPACTの外観を図1に示す。



探傷器及びCPU



走査機構部

図1 IMPACTの外観

3. 基本仕様

IMPACTの基本仕様を表1に示す。

表1 IMPACT基本仕様

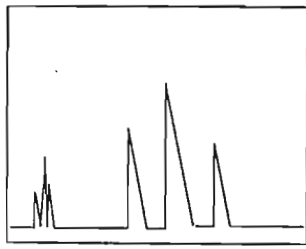
		項 目	詳 細
超音波探傷器	チャンネル数		2 c h
	パルサ出力		4 5 0 V / 無負荷
	アンプ仕様		対数 (L o g) アンプ
	増幅帯域		1 ~ 8 M H z
	ダイナミックレンジ		6 3 . 7 5 d B
データ処理装置	C P U		Pentium 2 0 0 M H z
	メモリ (R A M)		3 2 M B
	記憶装置	H D D	2 G B
		M o	6 4 0 M B
	モニタ画面		高解像度液晶 (12.1")、1024 × 768dot (XGA)
	寸法 / 重量		450w × 380d × 330h、19 k g
走査機構部	X軸走査レール長		標準 600、1000mm (接続延長可能)
	Y軸走査ストローク		max 230mm (可変)
	X軸走査速度		50mm / sec (可変)
	Y軸走査速度		max 300mm / sec (可変)
	駆動方式	X軸	ラック & ピニオン
		Y軸	ベルト駆動
	寸法 / 重量	本体	5 k g
		ドライバ	4 k g

4. IMPACTの特長

IMPACTの特長を項目別に示す。

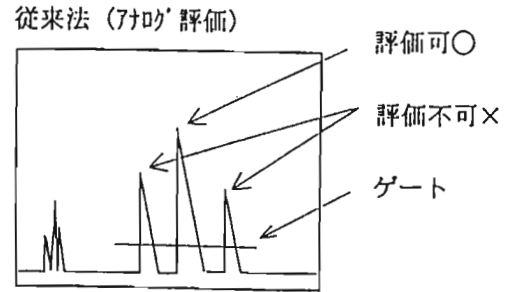
(1) ゲート内全エコー収録方式

図2(a)及び(b)に示すように、ゲート内全エコーを収録することにより、ゲート内の最大エコーのみを収録する従来の1ゲート1エコー方式と異なり、本来検出すべききずエコーの見落とし等が解消される。さらに、試験結果を評価する技術者は、きず以外の溶接ビードの影響(形状エコー)等の情報も得られるので、より客観的な判定を行うことが可能となった。



指定範囲のエコーを全て収録、評価可能

(a) ゲート内全エコー収録方式



従来法 (7+0' 評価) ゲート内の最大エコーのみ評価可能

(b) 1ゲート1エコー方式

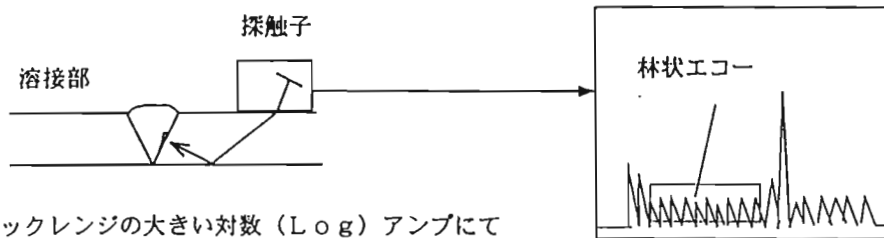
図2 エコー収録方式

(2) 対数増幅器の採用

従来型の線形増幅器（リニヤアンプ）では、Aスコープ画面上 5 ~ 100 %（26dB：整数比 20 倍）の範囲の信号しか活用することができなかったが、対数増幅器を用いることにより 63.75dB（整数比：約 1500 倍）の信号を収録し、これを一度に画面表示することができる。従って、探傷感度を変更することなく、大きなエコー（例えば片側の溶込み不良）や微小な端部エコー等を一度に収録及び評価することが可能となった。

(3) 林状エコー方式によるカップリングチェック

対数増幅器の採用で最大 63.75dB の信号を取り込むことにより、試験体の林状エコーレベルの信号も充分収録することができ、図3に示すように探傷を実施する振動子そのものでカップリングチェック（林状エコー方式）を実施することが可能となった。この結果、カップリングチェック用としての垂直振動子を組み込んだ複合型探触子を使用する必要がなく、一般的な一振動子斜角探触子を用いることが可能となった。



ダイナミックレンジの大きい対数 (Log) アンプにて P R F 毎に A スコープメモリーする本装置では探傷信号そのものでカップリングチェックが可能です。(カップリングチェック用に専用の垂直振動子は必要ありません。)

図3 林状エコー方式によるカップリングチェック

(4) 極厚板対応ソフト及び全方向対応型走査装置部

極厚板対応の収録ソフトにより最大板厚 100mm までの屈折角 45 度による直射法及び一回反射法、また、屈折角 65 度を用いた直射法による X 及び Y 方向の 1 mm ピッチ毎のデータ収録が瞬時にでき、さらに、強力マグネットを用いた走査機構部により、上向

き、下向き及び横向き等の全方向における走査が可能である。

(5) Aスコープ波形の再現

図4に示すように、B、Cスコープを探傷方向及び探傷方法（直射法及び一回反射法）によって色別で表示する。また、任意の探触子位置におけるAスコープ波形をマウスやパソコンの←→キーで探触子マークを移動させることにより、瞬時に再現させることができ、探傷結果の記録性及び再現性が大幅に改善された。

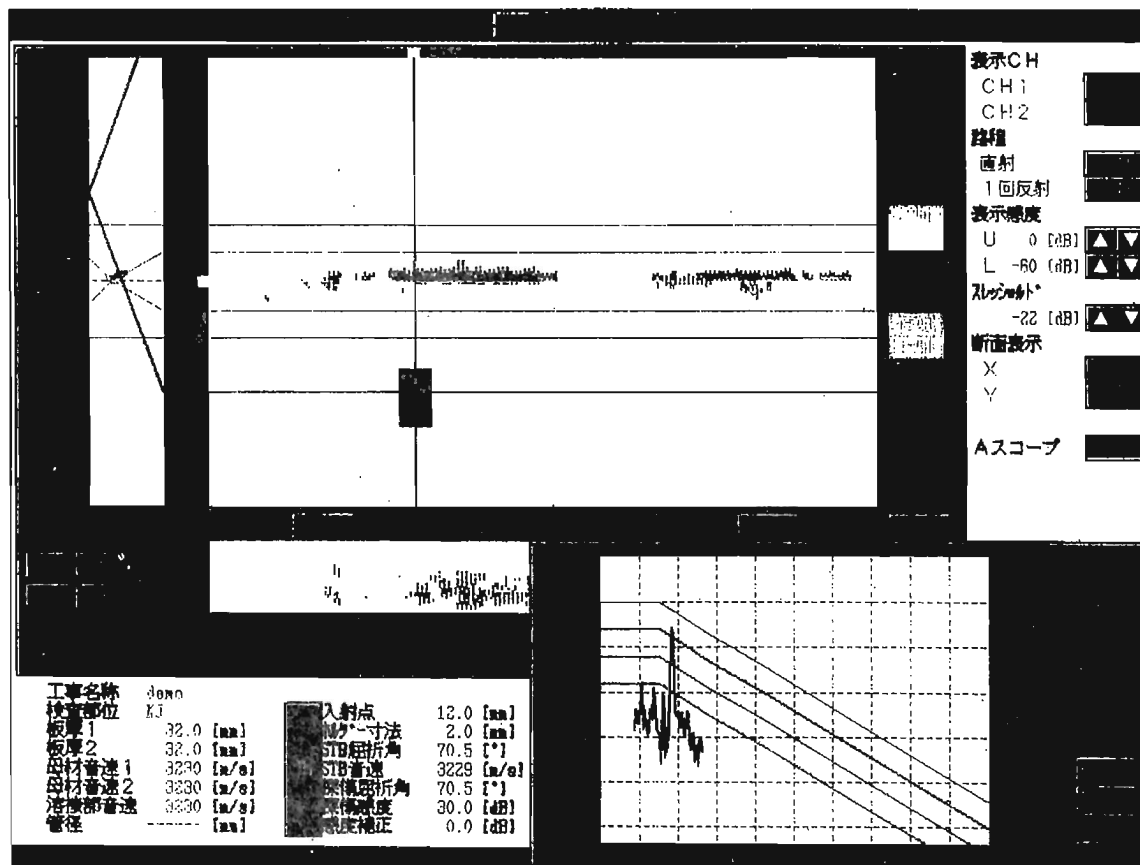


図4 A、B及びCスコープ表示例

(6) 補助編集機能によるきずエコーと形状エコーの弁別補助

収録した画像データに対して、鋼溶接部の超音波探傷試験を熟知している技術者が補助編集機能を用いて、形状エコーの発生を考慮して、きずエコーと形状エコーの弁別を実施し、探傷結果を規定の報告書の形式でプリントアウトすることができる。

5. 探傷作業の実際

本装置は、図5に示すように①管理、②設定、③校正、④探傷、⑤評価及び⑥終了の6つのモードで構成されており②～⑤の順で探傷作業が実施できる。以下代表的モードについての概要を述べる。

(1)②設定モード

このモードは、図6に示すように試験対象物の条件を設定するもので、試験対象物の厚さ、継手形状及び開先形状等を入力する。対象物の厚さは100mmまで設定可能で、継手形状は突合せ継手、角継手及びT継手の3つから選択することができる。また、開先形状はV形、レ形、U形、I形、X形、K形及びJ形の7つから選択し、ベベル角やルート間隔等の寸法を入力する。また、これらの入力した設定条件を1つのファイルとして記憶させることができる。

(2)③校正モード

このモードは、図7に示すように装置の校正を実施するもので、技術者はSTB-A1、STB-A2及びRB-4の反射源からの最大エコーを手動において検出し、そのエコーを装置に収録するだけで、測定範囲の調整、STB屈折角の測定、及びエコー高さ区分線の作成を自動で実施するものである。またその中で、エコー高さ区分線の作成においては、試験体の厚さ及び標準穴の深さ位置を予め装置に入力しておく、収録するポイント毎のビーム路程位置にゲートが自動的に移動するので、作成ミスを生じることはない。さらに、探触子毎のデータを保存させることも可能である。

(3)④探傷モード

このモードは、図8に示すように実際に探傷を実施するもので、X方向及びY方向の探触子位置、走査速度、収録ピッチの設定及び収録モード(路程、エリア)の設定を行う。特にY走査速度MAX 300mm/secは従来の探傷速度を大幅に向上させたも

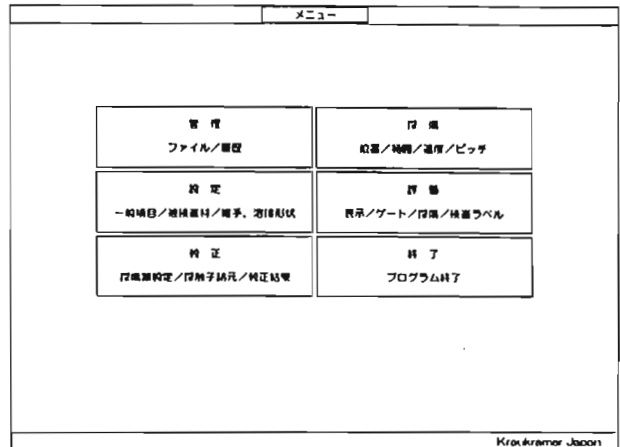


図5 探傷作業各モード

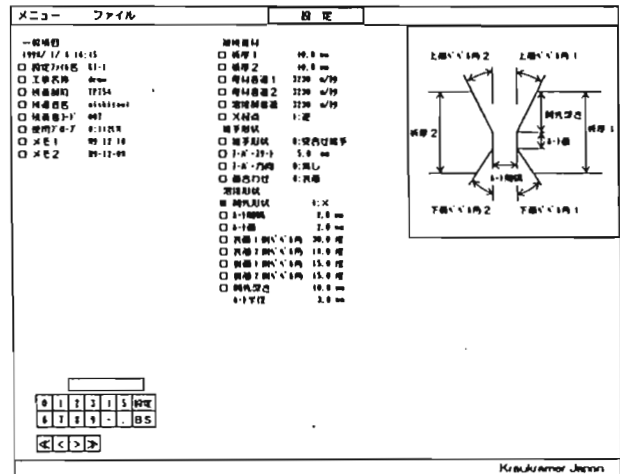


図6 設定モード

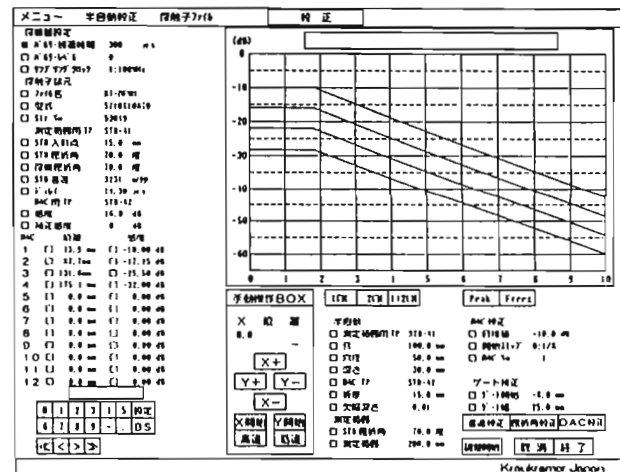


図7 校正モード

のである。また、実際の現場においては、探傷毎に探傷器を移動させては非常に効率が悪くなる。そこで、探触子位置の設定は、ケーブル長 20m（探傷ケーブルと同じ長さ）のリモコンを用いて行うことにより、移動による効率の低下を改善させた。さらに、収録モードにおいてエリアを選択し、溶接部中心からの収録範囲を設定すると、試験対象箇所以外のエコーは収録しないためデータメモリを大きく削減する事ができる。実際に探傷が始まるとカップリングの状態を表示しながら探触子が走査し、もし林状エコーがカップリングチェックレベルを下回ったらその場で探傷は自動的に停止する。なお、このカップリングチェックレベルは対象とする試験体の林状エコーレベルから設定することになる。

(4)⑤ 評価モード

このモードは、4. (5)で述べたように、収録した結果に対して超音波技術者がきずエコーと形状エコーの弁別を実施し、図9に示すような1つの形式の報告書を作成する項目である。

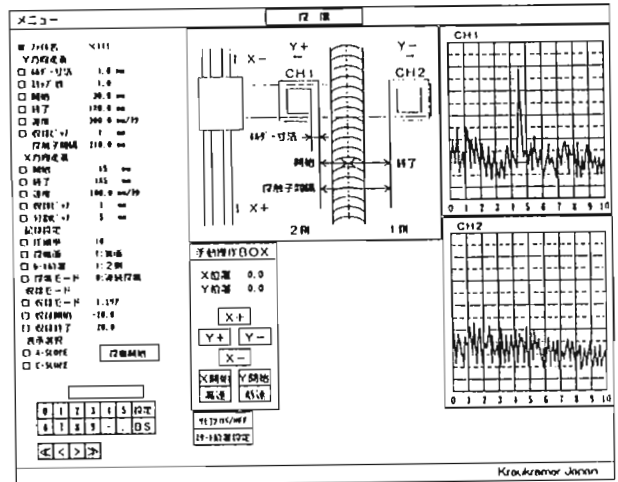
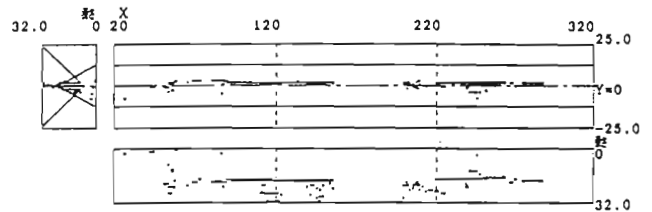


図8 探傷モード

[検査結果報告書]

FILE:DEMOS_00

産 名 demo
 検査名 KJ
 型 号 X
 板 厚 32.0 mm 32.0 mm
 波 長 460 mm
 音響異方向性 無
 検査修正 0.0 dB 0.0 dB
 入射角 11.5 mm 12.0 mm
 S T B 層折角 70.1 度 70.5 度
 傾度折角 70.1 度 70.3 度
 傾度折角 30.0 dB 30.0 dB



検査記録表

No	X p	始端	終端	傾り	深さ	長さ	n	傾度	分類	合否
1	28	25	26	-8	1	2	-10	II	I	
2	43	41	44	-1	0	4	-11	II	I	
3	53	53	53	-4	12	4	-10	II	I	
4	58	57	58	3	0	2	-10	II	I	
5	86	86	86	-5	4	1	-10	II	I	
6	199	199	199	1	29	1	-10	II	I	
7	221	221	221	0	23	1	-5	III	I	
8	223	223	223	-1	23	1	-6	II	I	
9	225	225	225	-1	25	1	-9	II	I	
10	53	50	53	-1	21	239	-8	II	4	
11	54	53	55	1	27	----	-11	II	----	
12	55	55	56	-3	11	----	-10	II	----	
13	55	55	56	0	12	----	-7	II	----	
14	57	53	57	2	18	----	-4	III	----	
15	57	57	57	2	22	----	-8	II	----	
16	65	65	65	2	19	----	-8	II	----	
17	69	68	71	3	17	----	-4	III	----	
18	73	72	73	3	18	----	-10	II	----	
19	82	80	89	3	20	----	-1	III	----	
20	83	82	85	3	17	----	-5	III	----	
21	87	87	87	1	20	----	-10	II	----	
22	103	89	117	2	18	----	1	IV	----	
23	111	111	111	0	25	----	-4	III	----	
24	113	110	121	1	29	----	-1	III	----	
25	113	111	113	1	24	----	-5	III	----	
26	115	114	113	2	32	----	-7	II	----	
27	115	115	115	1	24	----	-2	III	----	
28	118	92	155	2	19	----	0	III	----	
29	120	119	122	1	28	----	-7	II	----	
30	123	123	123	1	28	----	-7	II	----	
31	129	119	133	2	15	----	-2	III	----	
32	133	133	133	3	20	----	-4	III	----	
33	135	133	137	2	18	----	-3	III	----	

図9 報告書例

無害なきずと有害なきずを見分けるために

(財) 発電設備技術検査協会

岸上 守孝

1. はじめに

現在、告示501号「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」の改訂が検討されている。従来、発電用原子力設備には“きず”は許容されていなかった。しかし、無害なきずをも補修することは、新たにきずを発生させることにもなりかねないので、無害なきずは許容する方向で検討が行われている。供用期間中検査において検出された無害なきずは、ASMEをはじめ多くの国の規定で許容している。

この告示501号の改訂に伴って、非破壊検査は、きずを見落としなく検出するだけでなく、そのきずの性状を正確に把握し、そのきずが無害であるかどうかを告示501号に基づいて判断する材料を提供しなくてはならない。

非破壊検査は、発電設備に限らず、あらゆる機器・構造物の安全性・信頼性に大きく寄与していること、また、非破壊検査の目的がきずの検出、寸法測定、位置測定、欠陥種類判定であることは、いまさらいうまでもないことである。

ここでは、きずの検出、寸法測定を行う超音波探傷試験技術の現状について報告し、その精度を高めるために必要な事項について述べる。

2. きずの寸法測定方法

現在、規格・基準に規定されている超音波探傷試験によるきず寸法の測定方法は、きずのエコー高さに着目して測定する方法が多い。この方法は、超音波探傷に適した形状・傾き・大きさの理想的なきずの場合に限って、正確な寸法が測定できる。しかし、きずの形状・大きさはまちまちであるため、いくつかの新しい技術が提案され、検査対象物とその中に存在するきずに適した方法が適用されている。新しい方法として、TOFD、端部エコー法などがきず高さの測定方法として定着してきているが、この方法がすべての部材に適した方法であるとはいえない。

3. きずの検出及び寸法測定例

きずの検出及び寸法測定精度の例として、国際協力研究 PISC(Programme for the Inspection of Steel Components)Ⅲ計画の結果がある。ここでは、そのうち、圧力容器、配管の超音波探傷試験及び検査技術者による試験結果について述べ、通常の超音波探傷技術の精度とその精度向上に必要な事項をまとめてみる。

PISCⅢ計画は経済協力開発機構・原子力機関(OECD・NEA)原子力施設安全委員会(CSNI)の1つの作業グループであるPWG3(原子炉施設の構造健全性)の活動の1つであり、非破壊試験方法を確証試験等によってその能力を評価し、信頼できる非破壊試験方法を国際的に統一することを目的に実施した。

この国際協力研究の成果として、原子力発電所における非破壊試験の役割を100%発揮する試験方法は、圧力容器や配管など、それぞれの部材によって異なることを確認した。しかし、一つの部材に同じ試験方法を実施しても、検査技術者及び試験装置によって試験結果にかなりのばらつきがあることが明らかになった。

3.1 圧力容器の超音波探傷試験

従来、新しい非破壊検査技術の能力を紹介する論文では、研究室のような非常に良い環境で得られたデータが多い。しかし、現実の検査環境は、暗く、狭く、うるさく、汚く、高所である場合が多い。したがって、PISCⅢ計画の圧力容器の超音波探傷試験は、実寸大の圧力容器（900MWの原子炉）で行われた。その結果は、OHPで紹介するが、結論は次の通りである。

- (1) 高さが6mm～30mmまでの単純な平面きずを寸法測定する技術は、4mmか±2mmの誤差範囲で80%以上が測定可能であった。
これらのきずは模擬割れか、先端が鋭く表面が滑らかな割れであった。これらは主に表面に垂直で、表面開口または表面から15mm以内の表面近傍のきずであった。
- (2) 直接接触探触子による通常の技術は、端部エコー法や像再構成アルゴリズム法に比べて良い結果ではなかった。
- (3) 内側がクラッドされた面近くのきずの寸法及び位置は、外表面からの探傷では、あまり正確な測定ができない。
- (4) きずが単純な模擬割れ（滑らかで平面）のとき、寸法測定誤差は、専門家の予想通り、かなり正確である。
- (5) 複雑なきずは、多様な割れまたは割れと体積きずとの結合であるとするとき、いくつかの技術を組み合わせると、きずのすべての主要な構成を把握でき、結局は正確な寸法測定が可能になる。
- (6) きず又はきず領域を検出するときに得られた情報は、適用する寸法測定技術を選択するときに重要な情報となる。技術者によるエラーは、検出したときの情報を誤って解釈し、きずの位置を間違えると、適切な探触子または適用する技術を間違えて選択することによる。
- (7) それはPISCⅡ計画でも見られたように、きず評価のエラーの大部分は、きずの位置、またはきず構成の確認、または適用する技術の選択を誤るかのいずれかの技術者のエラーによると判断される。

3.2 配管の超音波探傷試験

配管溶接部の超音波探傷試験では、6体の鍛造管／鍛造管溶接試験体が10カ国の23チームによって試験された。付与されたきずは、12のIGSCC、4つの疲労割れ、7つの表面開口きず、2つの埋め込みノッチ（PISCのタイプA）および1つのルート溶け込み不良の合計26のきずである。その結果は、OHPで紹介するが、結論は次の通りである。

- (1) チームの半数は、すべてのきずの75%以上を検出した。高さが7mm以上のきず検出率は0.9以上であった。この結果は検出の能力が非常に良かったことを示している。

- (2) 検出が難しいきずは、複雑な IGSCC、軸方向の IGSCC および溶接部ノッチであった。IGSCC と IGSCC でないきずとで、検出、誤検出及び高さの寸法測定では明らかな相違はなかった。しかし、長さ測定精度は、IGSCC でないきずの方がかなり良かった。
- (3) 測定値と実測値との回帰直線の傾き及び相関係数は理想的には 1 であるべきであるが、高さ測定では 4 チームのみが 0.6 より大きかった。高さの寸法測定は不十分であった。
- (4) 長さの測定能力は高さの測定能力よりも良かった。しかし、長さ測定誤差は 25mm を超えてはいけないという ASME の要求基準をどのチームも達成できなかった。23 チームのうち 15 チームは、きず長さの測定値と実測値との回帰直線の傾きは 0.6 より高い値が得られた。11 チームのうち 5 チームは、ASME の要求基準の RMS は 25mm より小さかった。長さの測定能力は IGSCC よりも IGSCC でないきずの方が良かった。
- (5) 今回の試験では誤検出の重要性が認識された。あるチームは低い誤検出で高い検出能力を示した。しかし、あるチームは高い誤検出を示した。さらに、誤検出の 50% は不合格であるというかなり厳しいものであった。
- (6) チームが同じ手順を適用した場合も含めて、データは大きくばらついていた。検出レベルが 50% DAC では検出能力は低く、検出能力が高く誤検出および正確な判定をできた 5 チームは、すべて自動化された手順を使い、ノイズレベルを検出レベルとした。
- (7) 手法の解析では、鍛造管／鍛造管のステンレス鋼溶接部の試験に最良である手順の選択において、有用な指針を与えてくれた：
- ・ 溶接部に対して両側の 2 方向から直角に走査することは検出の能力を改良する。
 - ・ 横波の手法で得られた結果は、縦波の手法より敏感であることを示し、4 つの複雑な IGSCC のより難しいきずが検出できた。しかしながら、横波の手法は、真のきずと一致しない多くのエコーを発生させ、結果として多くの誤検出を招いていた。横波および縦波探触子両方の情報から判断する熟練した技術者は、きずの検出率が高く、誤検出は少ないという目的を達成することができた。
 - ・ 開口割れの高さをうまく測定する鍵は、割れの端部エコーを見つける能力である。エコー高さ低下の方法は、表面開口割れの高さ測定を行うには不適當である。
 - ・ ホログラフィー、EMAT および集束探触子で得られた結果は、検出および誤検出において良い結果が約束されている。しかしながら、これらの特別な手法で得られた結果が、従来の探触子で得られた結果よりも確かに良いという結果ではない。
- (8) ASME 基準による評価では、検出、誤検出の能力は、寸法測定能力が貧しかったことを除いて満足できるものであることを確認した。評価した 11 のチームのうち、10 チームは検出に、9 チームが誤検出に、3 チームが高さの測定に成功していた。しかし、長さの測定ではどのチームも成功していなかった。高さ測定で成功していた 3 チームはすべて端部エコーを利用し、そのうちの 2 チームは、さらにモード変換を使った。
- (9) 主要な結論は、効果的で有用な手法および手順は、これらの試験体を試験する場合に存在するが、この同じ手順を適用したチームによって得られた結果は大きくばらついていた。このことは、熟練し、経験のある技術者が試験を行うべきであることを示し

ている。ほとんどのチームは、多数の手法を使い主観的な方法で結果を導いている。これは検査の能力を試験する試験体での訓練が必要であるという結論を導いている。

3.3 検査技術者による超音波探傷試験結果

検査技術者の信頼性に関する研究では、検査技術者による超音波探傷装置の調整及び欠陥検出のばらつきが明らかになり、得られた情報はミスを減らす方法を示唆している。

- (1) 検査技術者による装置調整のばらつきは、研究室内のような温かな環境では容認できる程度で 2 dB ~3dB であった。現場を模擬した環境においては、装置調整のばらつきは最高 13dB となった。これらは検査技術者の疲労の開始に起因していた。
- (2) すべての検査技術者は、有資格者であり、経験は同様なレベルであったけれども、この研究に参加した検査技術者の欠陥検出能力はかなり違っていた。ある検査技術者の欠陥検出率は、日によって、または午前と午後とで2倍違っていた。このばらつきは、主として探触子の走査ピッチや超音波のカップリングのような技術的熟練の違いによるものであるが、多くの間違いは、疲労に起因する集中力と用心深さの欠如といった他の理由のために発生する。実際の現場的な環境での長い作業シフトは、検査技術者の疲労と集中力欠如をもたらし、検査結果の信頼性に影響を与える。
- (3) 初期の探傷走査では不慣れなため、きずのエコー高さは高くなく、全体の信頼性を高めるには走査感度を約 10dB 増加させて、走査することが必要である。
- (4) データを記録し、報告する段階でかなりの間違いが発生している。不正確に報告された欠陥の平均的な値は約 5%であった。
- (5) 欠陥見落としの原因のいくつかは、訓練によって修正できる。検査結果の信頼性を高めるには、検査技術者、装置、検査方法を含めた能力認証が必要である。

4. 検査技術者の資格

非破壊試験技術者の認証（従来の非破壊検査技術者の認定）は世界各国で行われている。非破壊試験には特殊な技術・技量が必要であるが、検査技術者は資格試験によってその技量が必要なレベルに達していることが確認されれば、資格が与えられる。日本では（社）日本非破壊検査協会（JSNDI）が協会規格 NDIS0601 に基づいて検査技術者の技量認定を行っている。しかし、近年、次の2つの理由から技術者認証の内容が変更された。

4.1 非破壊試験結果の信頼性の向上

その一つの理由は、非破壊試験（NDT）の精度に対する要求である。近年、製品の品質と信頼性向上の要求の増大によって、NDT に対してより高い能力と精度が要求されるようになってきた。従来、製品の製造時のきずを検出することが主目的であった NDT は、さらに製品の使用中に発生するきずを見落としなく検出して、かつ、きずの位置と大きさを正確に測定することが要求されている。

非破壊試験の正確さは、検査技術者の技量・技術によるところが大きい。非破壊試験結果が不正確であると、材料、溶接部及び構造物の健全性は確保できず、使用中に破壊が起こり、人身事故を伴う重大な災害を招くこともある。

製品の品質と信頼性を向上させる NDT 技術に関して、1960 年代後半からアメリカ及びイギリスを始め各国の国家プロジェクト又は国際共同研究として再検討が実施された。その結果は、同じ試験方法で NDT を実施しても技術者によってかなりのばらつきがあることが明らかになり、また、試験方法の技術開発が進められている中で、国際的に共通の技術基準を決めることは、技術の進歩を阻害することにもつながると判断された。

この成果に基づいて、試験手順、装置及び技術者を含めて NDT の能力を実証する試験を行い、認証する方法を検討する ENIQ(European Network for Inspection Qualification) が発足し、その検討結果に基づいて、欧州各国は独自の NDT 技術者の認証を行っている。

一方、この成果は、アメリカで実施している ASME ボイラ及び圧力容器規格 Sec.XI Appendix VIII Performance Demonstration の必要性を裏付けるものとなった。すなわち、この ASME 規格では、実欠陥を含む試験体を使用して実証試験を行い、適用した非破壊試験手順、装置及び NDT 技術者を認証することを規定している。

アメリカでは、この ASME とは別に、非破壊試験協会(ASNT)は ACCP(ASNT Central Certification Program) を開始した。その序文には「NDT 技術者の能力の強化を通して NDT の信頼性および正確さを改善する目的で ACCP NDT を導入した」と記述されている。

4.2 国際統合化

認証制度の変更が必要になった二つ目の理由は、国際統合化である。各国では流通する製品（サービスを含む）に対して技術的規制を行っているが、その規制が国際貿易の発展を妨げる技術的障害になる可能性がある。この貿易摩擦（非関税障壁）をなくすために GATT（関税及び貿易に関する一般的協定）条約が結ばれた。「日本が農産物 10 品目について貿易制限をしているのは GATT 違反である」とアメリカから提訴されたことはまだ記憶に新しい。この条約に加盟している国では、ISO（世界標準化機構）規格と本質的に同じである国内規格を作らなければならない。その後、WTO（世界貿易機関）が発足し、GATT のスタンダードコードであった「貿易の技術的障害に関する協定」は WTO/TBT 協定となった。

従来、認証制度は各国で独自に行われていた。例えば、アメリカでは ASNT が古くから雇用者認証を実施していて、アメリカに限らず世界中にその資格所有者がいる。しかし、世界的な貿易の拡大によって、製品の輸出入を容易にし、不経済な再検査を避けるために NDT 技術者の資格は国際統合化が必要になり、ISO は、1992 年に国際規格 ISO 9712 (Non-destructive testing – Qualification and certification of personnel) を制定した。

一方、欧州では市場統合のため、欧州規格の制定が急務となり、ISO/DIS 9712 を基本として、1993 年に独自の EN473 (Qualification and certification of NDT personnel – General principles) を制定した。欧州の各国は、従来の独自の認証制度をこの欧州規格に統合させている。

この欧州における EN473 に基づく認証の実施による国際統合化の動きに合わせて、従来、雇用者認証を行っていた ASNT は、平成 8 年 ACCP を発表し、新しい認証試験を開始した。ASNT は、この ACCP は ISO 9712 と統合させるために必要な要求は満たすが、

それには制限されない技術者の中央認証制度であるとしている。

このような状況下で、JSNDI は NDT 技術者の社会的評価を高め、世界で通用する資格とするため、従来、協会規則で実施していた JSNDI の認定制度を国際規格 ISO 9712 に基づく新しい認証制度へ移行させることを決めた。

4.3 ISO 9712 に基づく資格

新しい資格と従来の JSNDI の資格と異なる点は、訓練と経験を十分備えていることを要求していることである。

超音波探傷試験の最適な方法及び技法は、試験対象物によってそれぞれ異なっている。試験対象物の寸法、形状、材質及び検出すべききずの位置、大きさ、種類によって超音波探傷試験の方法及び技法は異なり、試験結果の信頼性に影響を与えるので、対象物ごとの訓練・経験が必要である。さらに、妨害エコーときずエコーとの判別及び最後の合否判定などの評価には、十分な訓練と経験が必要である。

5. ASME Sec. XI Appendix VIII Performance Demonstration (PD)

非破壊試験結果の信頼性を向上させる要求から、アメリカでは ASME の PD が、欧州では ENIQ が実施されているが、これらの試験に合格するためには、十分な訓練が必要である。NRC はこの有資格者による ISI の実施について、規則化することを提案している。

いずれ日本でも、アメリカや欧州のような形の認証が行われると考えられる。この考え方と方法は、原子力分野に限らず、あらゆる分野に共通することであり、PD が ISO 9712 の一つの工業分野となるように、非破壊試験全体の今後の方向になると考えられる。

6. まとめ

強度を低下させない無害なきずを許容するには、非破壊検査で無害であることを確認しなければならない。すなわち、非破壊検査は、きずを間違いなく検出でき、さらに、検出されたきずの位置と大きさ等を正確に測定でき、例えば告示 501 号に基づいて、そのきずが無害であるとの判断ができる情報を提供できなければならない。

非破壊検査の方法として適用される超音波探傷試験は、同じ技術を適用しても、訓練され、経験の多い熟練した検査技術者による検査結果と経験の少ない技術者による結果とは異なった結果になりかねないのが現状である。このため、検査技術者は ISO 9712 の資格試験や ASME の PD の要求事項に共通して見られるように、いずれも、訓練と経験が要求されている。

また、適用する超音波探傷技術のうちの最適な技術は、対象部材によって異なるので、その技術は工業分野ごとに規定し、技術者は工業分野ごとに認証する方向に進んでいる。

しかし、きずを正確に検出し寸法測定する技術が、すべての対象物ごとに規定できるほど確立しているとはいえないのが現状であり、技術の詳細を規定することは、逆に、技術の進歩を阻害することになるので、検査手順を規定しない ASME の PD の方法が採用されたと考えられる。

遅延材と接触媒質の組合せによる 探傷感度に及ぼす表面粗さの影響

(株)ジャスト研究所 名取孝夫
(株)検査技術研究所 ○林 栄男
岡 賢治
木村超音波探傷研究所 木村勝美

概 要

超音波探傷試験では、感度補正量を軽減するためにグリセリンなどの音響インピーダンスの大きい接触媒質を使用するが、十分な効果は期待できない。遅延材付き垂直探触子の遅延材と斜角探触子のくさび材に使用されているアクリル樹脂の代わりに、ポリスチレン樹脂を使用することで、グリセリンなどの接触媒質の音響インピーダンスに、より近づけることができる。そのため、探傷面の粗さの影響による伝達損失や自動探傷でのギャップ寸法の変化にともなう感度変化を減少させることができた。また、感度補正も省略させることができた。このことにより将来、手探傷や自動探傷などの超音波探傷試験において、ポリスチレン樹脂を用いたポリスチレン樹脂超音波探触子が多く使用されることが期待される。

1. まえがき

超音波探傷試験では、探傷面の粗さの影響による伝達損失を考慮し、感度補正がおこなわれている。通常、接触媒質として音響インピーダンスの大きなグリセリンを用いることによって、伝達損失を小さくすることができるが¹⁾、感度補正を不要にするほど伝達損失を小さくすることはできない。また、ギャップ法を適用することにより探傷面の粗さの影響を軽減し、探傷中のエコー高さの変化を安定させることができるが、ギャップ寸法が波長より短い場合は、ギャップ寸法の変化にともなうエコー高さの変化は非常に大きくなってしまう。²⁾ よって、伝達損失は簡単には無視することができないために、感度補正の作業を省略することはできない。この感度補正の作業を省略できれば、探傷手順が簡略化し探傷時間の短縮と超音波探傷精度の向上につながる。

我々は、遅延材付き垂直探触子の遅延材と接触媒質、斜角探触子のくさび材と接触媒質のそれぞれの音響インピーダンスが近似値であれば、探傷面の粗さの影響による伝達損失を軽減できるのではないかと考えた。また、自動探傷などでのギャップ法において、探傷面と探触子間の接触媒質内での多重反射が軽減でき、ギャップ寸法の変化によっておこる感度変化が少なくなるのではないかと考えた。

よって今回は、接触媒質、遅延材の材質、くさび材の材質、ギャップ寸法の距離および試験体の表面粗さを変えた時におこる伝達損失の測定を試みた。接触媒質は、ソニコートBSLとマシン油を使用した。遅延材とくさび材の材質としては、従来から使用されている

アクリル樹脂のほかに、音響インピーダンスがグリセリンに近いポリスチレン樹脂を使用することにした。

2. 実験方法

今回は、遅延材付き垂直探触子の遅延材と斜角探触子のくさび材として、アクリル樹脂とポリスチレン樹脂を使用した。接触媒質は、音響インピーダンスがグリセリンと同じ値のソニコートBSLと其の比較のためにマシン油を使用した。

表1 実験に使用した器材の音響インピーダンス³⁾

遅延材とくさび材	アクリル樹脂	$3.21 \times 10^6 \text{kg/m}^2\text{s}$
	ポリスチレン樹脂	$2.46 \times 10^6 \text{kg/m}^2\text{s}$
接触媒質	マシン油	$1.3 \times 10^6 \text{kg/m}^2\text{s}$
	ソニコートBSL	$2.2 \times 10^6 \text{kg/m}^2\text{s}$

[参考] グリセリン (70%) : $2.2 \times 10^6 \text{kg/m}^2\text{s}$

表1に実験に使用した器材の音響インピーダンスを示す。また、表2に実験に使用した器材と条件を示す。

表2 実験に使用した器材と条件

超音波探傷器	UFD-360	No. 6053
遅延材付き垂直探触子	2C20NAC*15 (アクリル樹脂)	No. 13878、 $f=2.0\text{MHz}$
	2C20NPS*15 (ポリスチレン樹脂)	No. 13879、 $f=2.0\text{MHz}$
	5C10NAC15 (アクリル樹脂)	No. 13751、 $f=4.9\text{MHz}$
	5C10NPS15 (ポリスチレン樹脂)	No. 13752、 $f=5.0\text{MHz}$
斜角探触子	2C14×14A70AC (アクリル樹脂)	No. 13880、 $f=2.0\text{MHz}$ 入射点=18.5mm、 $\theta=69.0^\circ$
	2C14×14A70PS (ポリスチレン樹脂)	No. 13881、 $f=2.1\text{MHz}$ 入射点=15.0mm、 $\theta=68.0^\circ$
	5C10×10A70AC (アクリル樹脂)	No. 13749、 $f=5.0\text{MHz}$ 入射点=11.7mm、 $\theta=70.2^\circ$
	5C10×10A70PS (ポリスチレン樹脂)	No. 13750、 $f=5.1\text{MHz}$ 入射点=13.3mm、 $\theta=69.1^\circ$
表面粗さ試験体	3、28、86、111、206 (μmRy)	図1参照
反射源	垂直	板厚25mmの底面
	斜角	1スキップの $\phi 4\text{mm} \times 4\text{mm}$ 縦穴
ギャップ寸法	0.00mm、0.05mm、0.10mm、0.15mm 0.20mm、0.25mm、0.30mm	シクネスゲージ2枚を探触子の左右に配置。
接触媒質	マシン油、ソニコートBSL	
探触子荷重	500g	
室温	20°C	

*記号ACはアクリル樹脂探触子、記号PSはポリスチレン樹脂探触子を表す。

実験には、周波数2MHzと5MHzの2種類の超音波探触子を使用した。振動子寸法は、遅延材付き垂直探触子の2MHzはφ20mm、5MHzはφ10mmとした。また、斜角探触子の2MHzは14mm×14mm、5MHzは10mm×10mmとした。遅延材付き垂直探触子の遅延材長さは、アクリル樹脂とポリスチレン樹脂ともに15mmとした。斜角探触子の屈折角は、2MHzと5MHzともに横波70度とした。各探触子の実測周波数、STB屈折角は表2に示す通りである。表中のACはアクリル樹脂探触子、PSはポリスチレン樹脂探触子を表す。

図1に実験に使用した表面粗さ試験体を示す。5種類の表面粗さを放電加工により製作し、その表面粗さは、3μmRy、28μmRy、86μmRy、111μmRy、206μmRyである。反射源としてφ4mm×4mmの縦穴を加工した。試験片の大きさは厚さ25mm、幅48mm、長さ200mmである。遅延材付き垂直探触子の伝達損失は、板厚25mmの底面エコー高さを80%に調整し、斜角探触子は1スキップでφ4mm×4mmの縦穴からのエコー高さを80%に調整し測定した。

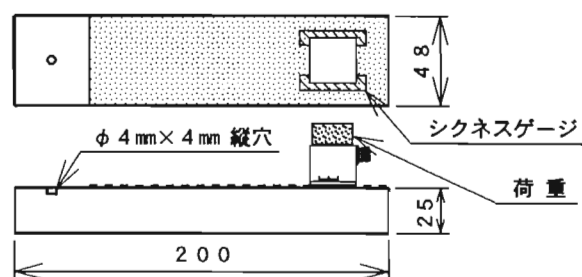


図1 表面粗さ試験体

ギャップ寸法の調整は、図1に示すように同じ厚さのシクネスゲージを2枚使用して両側に超音波ビームを遮らないように配置しておこなった。ギャップ寸法は、0.00mm、0.05mm、0.10mm、0.15mm、0.20mm、0.25mm、0.30mmの7種類とした。超音波探触子は、シクネスゲージの配置と操作性を考慮し、通常よりも幅を広げ約45mmとした。

3. 実験結果

2MHzの遅延材付き垂直探触子の実験結果を図2、2MHzの斜角探触子の実験結果を図3、5MHzの遅延材付き垂直探触子の実験結果を図4、5MHzの斜角探触子の実験結果を図5に示す。各図のaとbにアクリル樹脂とマシン油、cとdにポリスチレン樹脂とマシン油、eとfにアクリル樹脂とソニコート、gとhにポリスチレン樹脂とソニコートを組み合わせて使用した場合の結果を示す。

各図とも縦軸は、表面粗さ3μmRyでギャップ寸法0.00mmでの探傷感度を基準とした相対エコー高さで表した。横軸は、図の左半分(a, c, e, g)がギャップ寸法で、右半分(b, d, f, h)が表面粗さで表した。図中の曲線は理論計算値¹⁾を、図中の記号は測定値を示し、図右枠内のそれぞれの凡例に対応する。この変化は、ギャップ寸法と表面粗さに対する感度変化を表し、それぞれが少なれば感度補正量が少なくて済むことを示す。

全体的な傾向としては、2MHzでは0.00mmからギャップ寸法が長くなるにしたがい感度が低下し、0.15mm付近を越えると感度が増加した。表面粗さの変化においては、粗くなるにしたがい感度変化量は、少なくなる傾向であった。5MHzでは、表面粗さが206μmRyの▼印を除けば2MHz同様0.00mmからギャップ寸法が長くなるにしたがい感度が低下したが、その後感度変化の増減を繰り返した。表面粗さは、粗くなるにしたがい感度変化量は少なくなり150~200μmRy付近で一定値になる傾向であった。

5MHzの遅延材付き垂直探触子と斜角探触子、2MHzの斜角探触子の表面粗さ206μmRyの▼印の結果は、表面が非常に粗いためと思われるが理論値との差を生じた。この結果を除い

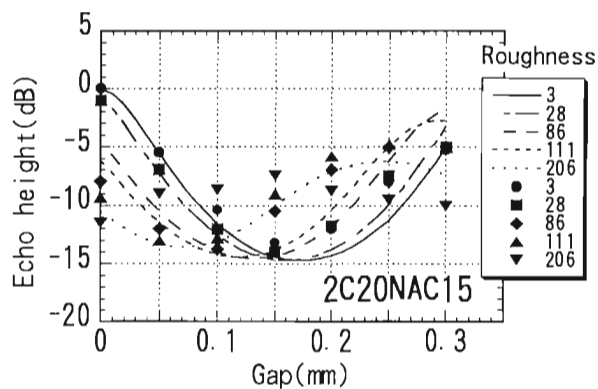
て各組み合わせによる感度変化を見ると、アクリル樹脂とマシン油は15dB程度、ポリスチレン樹脂とマシン油は10dB程度、アクリル樹脂とソニコートは6dB程度、ポリスチレン樹脂とソニコートは2dB程度であった。

5. まとめ

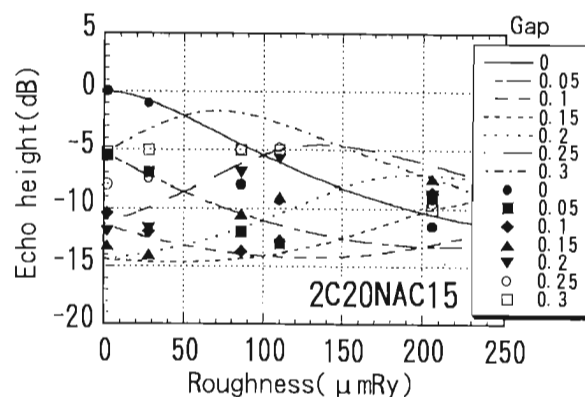
今回の実験により、遅延材付き垂直探触子の遅延材と斜角探触子のくさび材を従来使用しているアクリル樹脂ではなく、ポリスチレン樹脂に変え接触媒質にソニコートを使用することにより、ギャップ寸法と表面粗さの変化による探傷感度の変化がアクリル樹脂とマシン油の組み合わせでは15dB程度、ポリスチレン樹脂とマシン油の組み合わせでは10dB程度、アクリル樹脂とソニコートの組み合わせでは6dB程度あったものを、2dB程度に軽減することができた。このことによりポリスチレン樹脂とソニコートまたはグリセリンの組み合わせにより感度補正の作業を省略し、探傷手順を簡略化し、かつ探傷精度の向上を図ることができるであろう。

参考文献

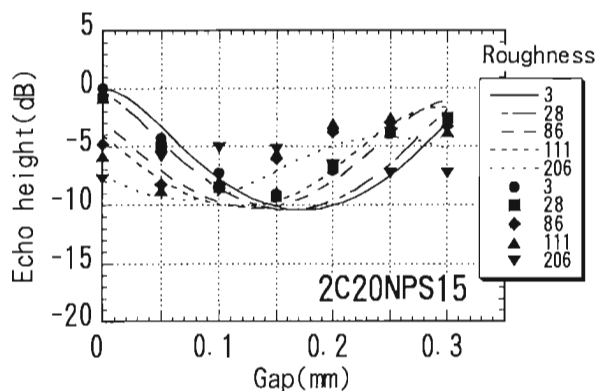
- 1) 森山、木村：探傷面の粗さが超音波垂直探傷感度に及ぼす影響、非破壊検査、47(5)、pp. 315-321、(1998)
- 2) (社)日本非破壊検査協会：超音波探傷試験Ⅲ、(社)日本非破壊検査協会、p. 40(1989)
- 3) 超音波探傷法：日本学術振興会製鋼第19委員会編、日刊工業新聞社、p. 746



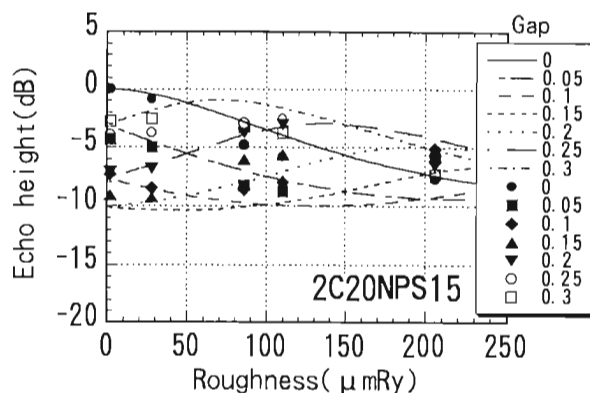
a. Acrylic+Machine oil



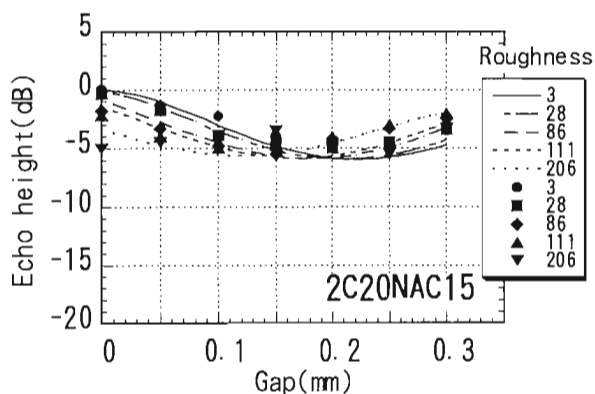
b. Acrylic+Machine oil



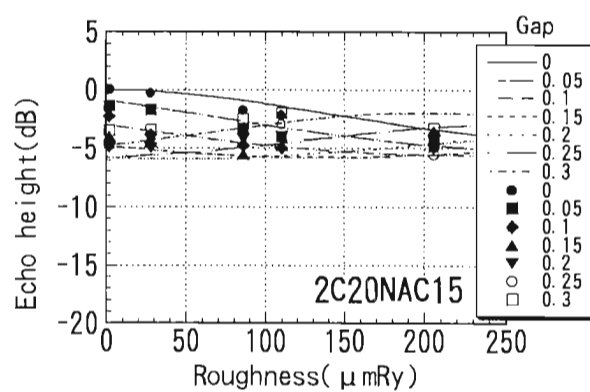
c. Polystyrene+Machine oil



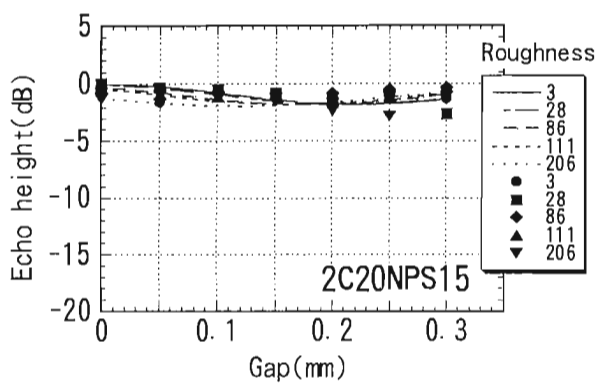
d. Polystyrene+Machine oil



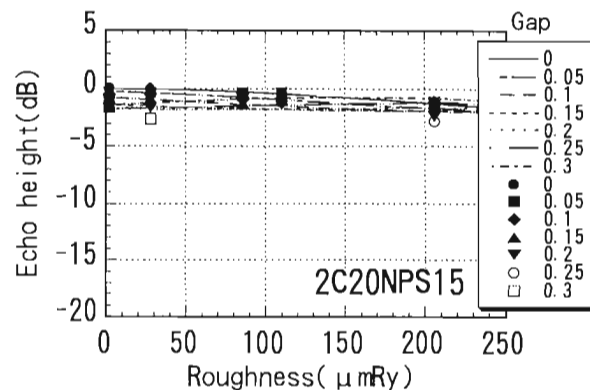
e. Acrylic+Sonicoat



f. Acrylic+Sonicoat

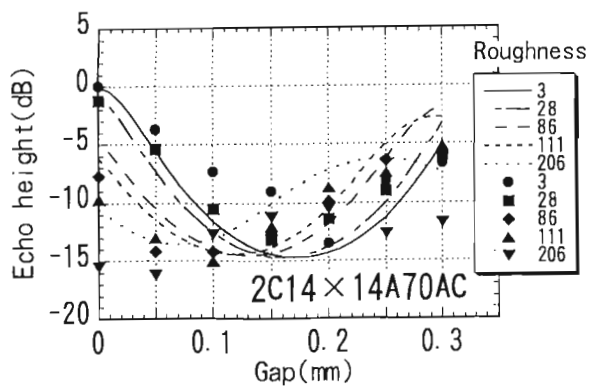


g. Polystyrene+Sonicoat

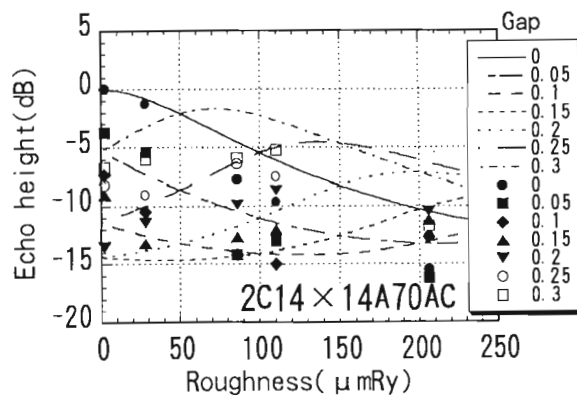


h. Polystyrene+Sonicoat

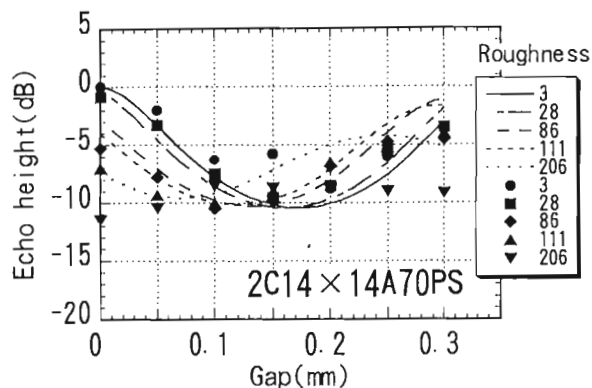
図2 2MHzの遅延材付き垂直探触子の伝達損失



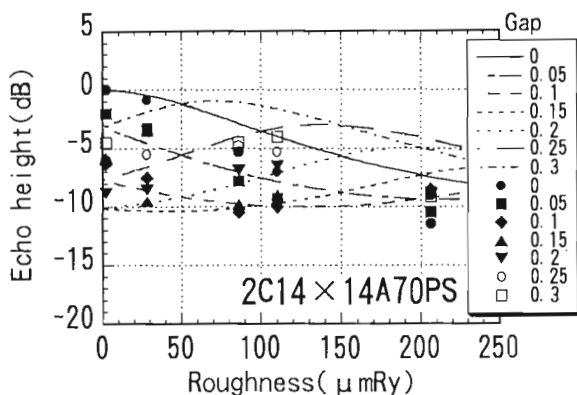
a. Acrylic+Machine oil



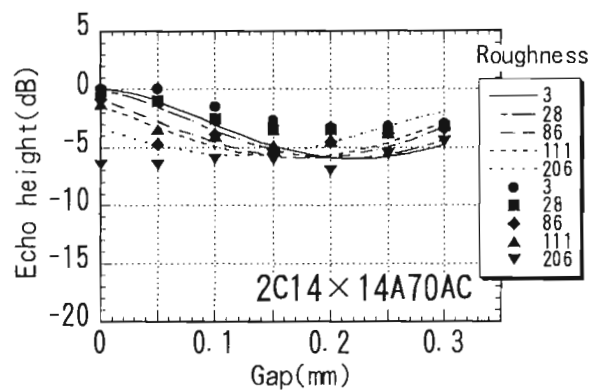
b. Acrylic+Machine oil



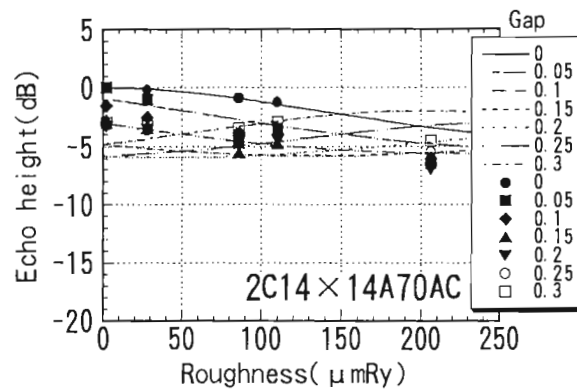
c. Polystyrene+Machine oil



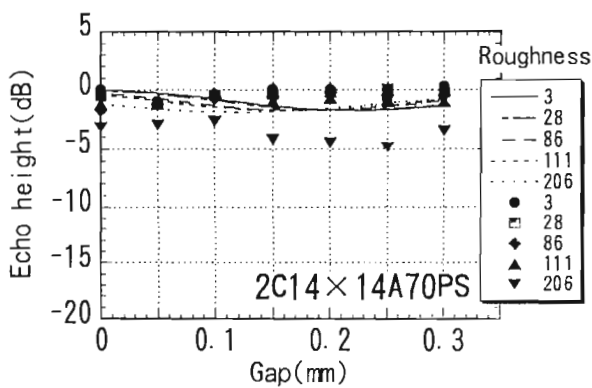
d. Polystyrene+Machine oil



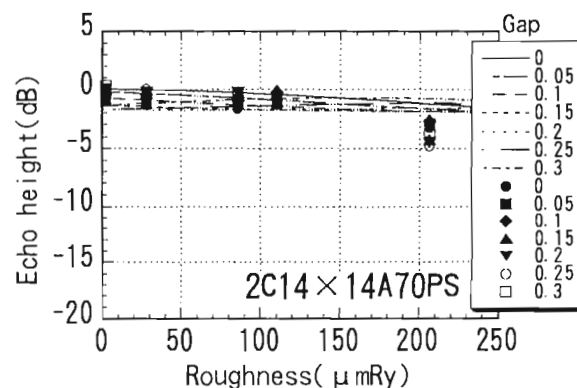
e. Acrylic+Sonicoat



f. Acrylic+Sonicoat

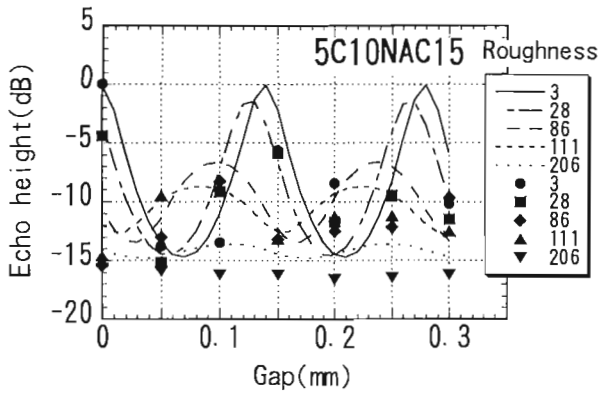


g. Polystyrene+Sonicoat

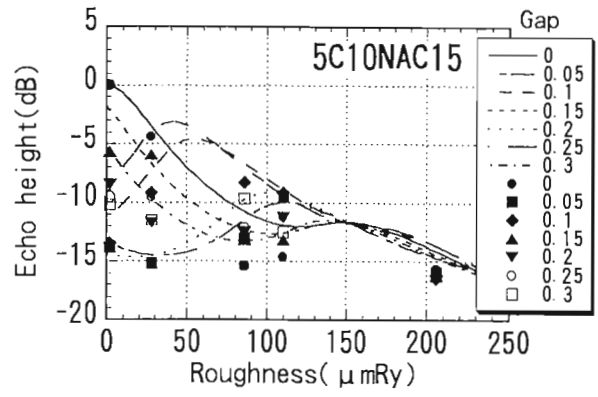


h. Polystyrene+Sonicoat

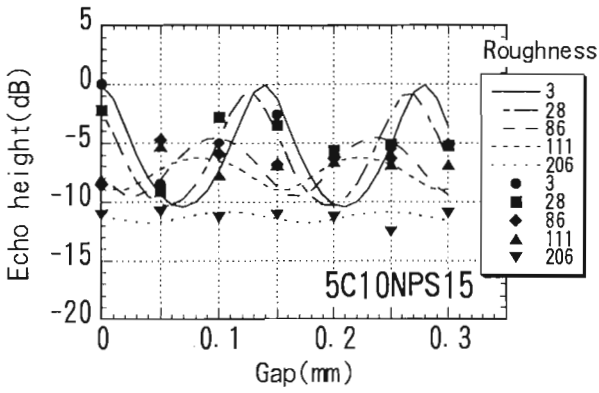
図3 2MHzの斜角探触子の伝達損失



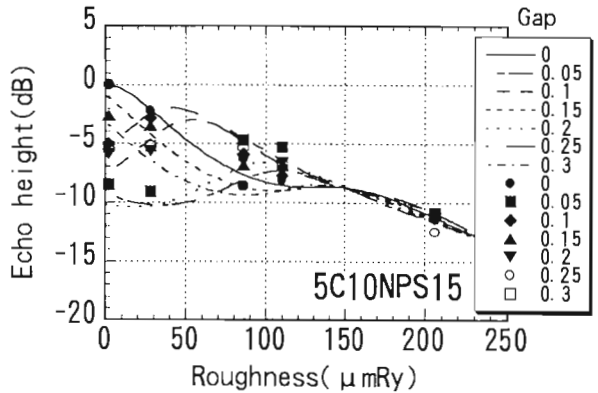
a. Acrylic+Machine oil



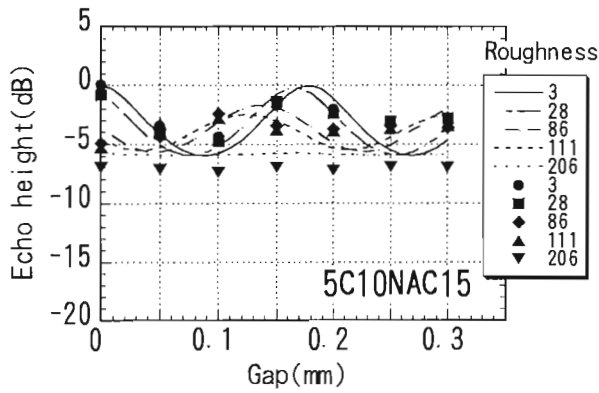
b. Acrylic+Machine oil



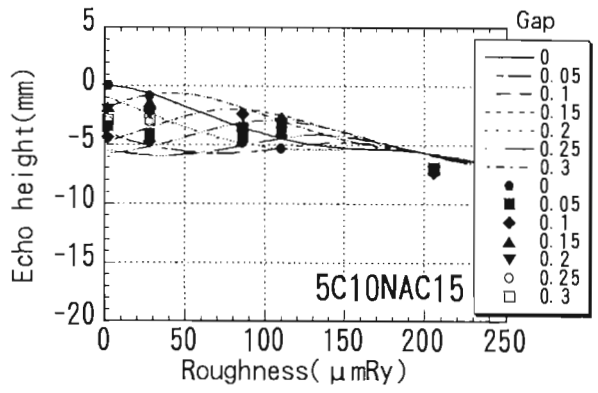
c. Polystyrene+Machine oil



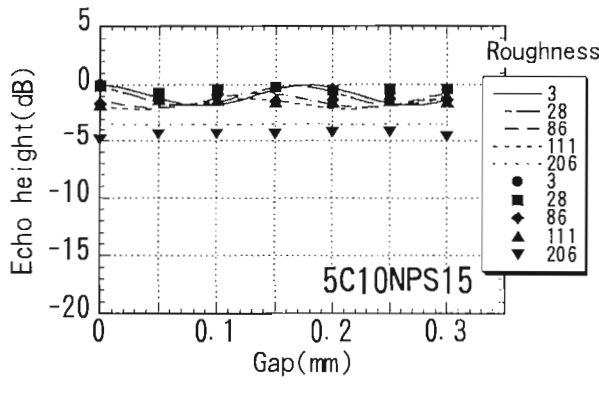
d. Polystyrene+Machine oil



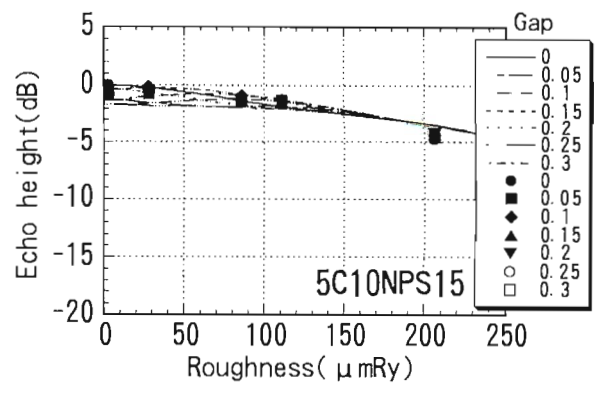
e. Acrylic+Soniccoat



f. Acrylic+Soniccoat

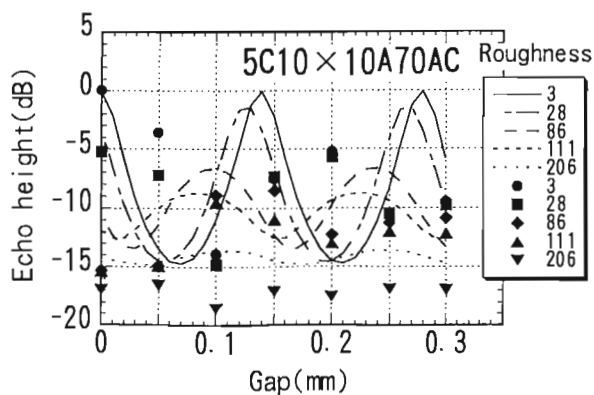


g. Polystyrene+Soniccoat

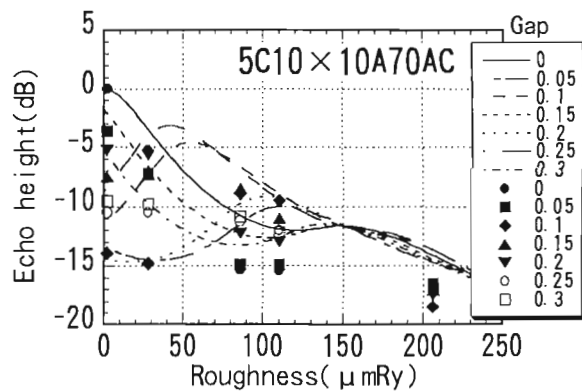


h. Polystyrene+Soniccoat

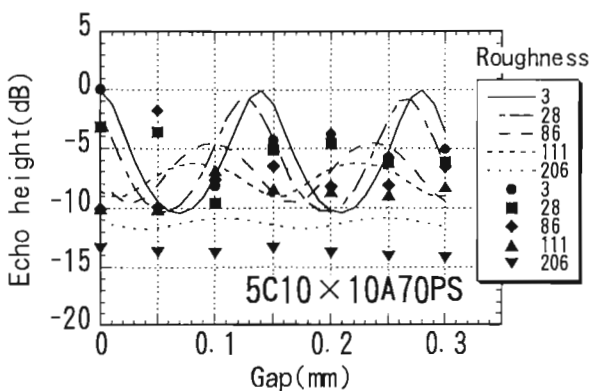
図 4 5MHzの遅延材付き垂直探触子の伝達損失



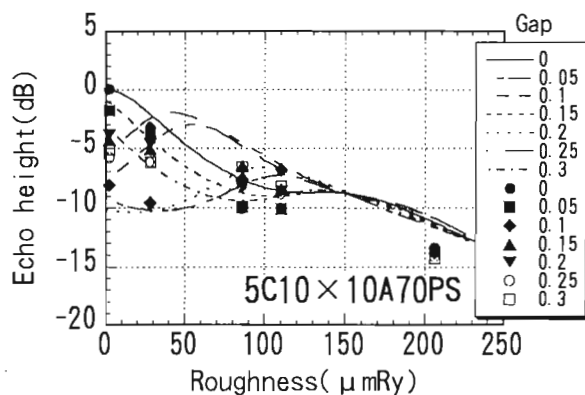
a. Acrylic+Machine oil



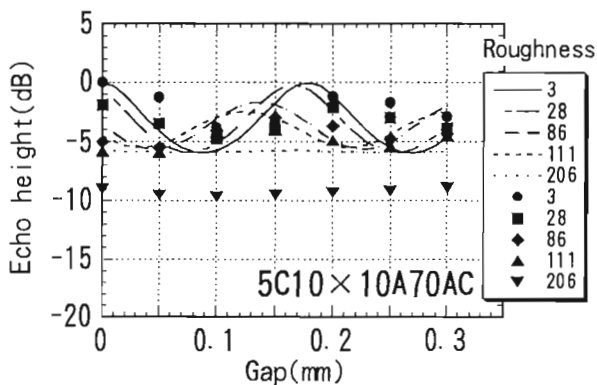
b. Acrylic+Machine oil



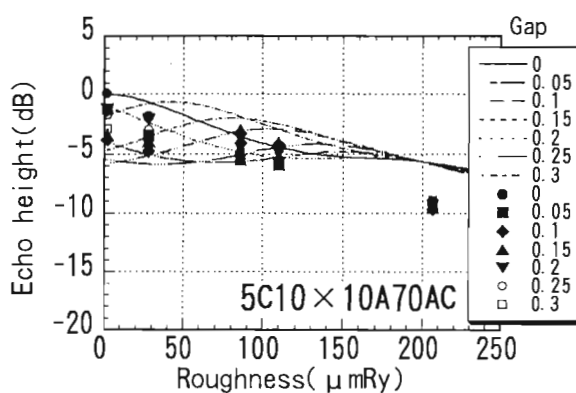
c. Polystyrene+Machine oil



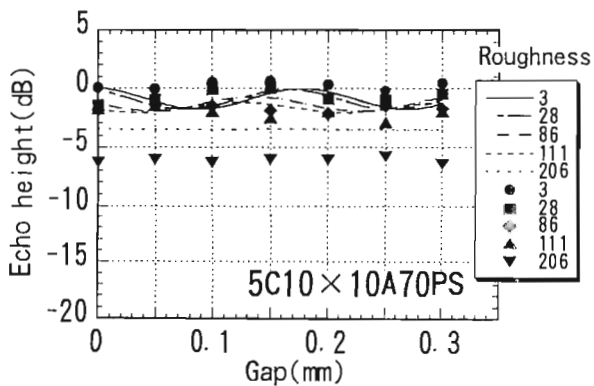
d. Polystyrene+Machine oil



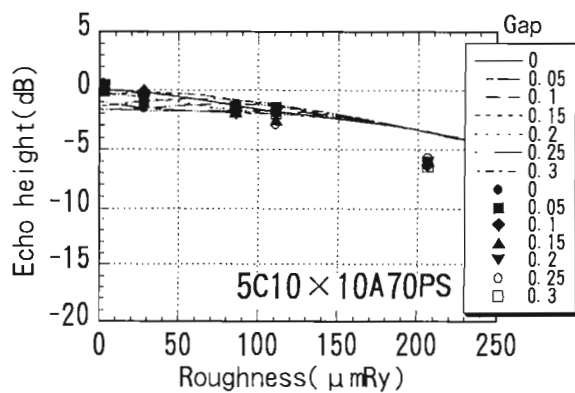
e. Acrylic+Sonicat



f. Acrylic+Sonicat



g. Polystyrene+Sonicat



h. Polystyrene+Sonicat

図5. 5MHzの斜角探触子の伝達損失