

超音波斜角探傷試験の感度調整用試験片 STB-A2 に関する考察

藤 盛 紀 明

§ 1. まえがき

昭和50年9月1日に発布された JIS Z 3060—1975 「鋼溶接部の超音波探傷試験方法および試験結果の等級分類方法」においては、斜角探傷試験の感度調整用試験片として図-1 に示す STB-A2 と図-2 に示す RB-4 が規定され、発注者がいずれか一方を指定することになっている。

日本建築学会制定「鋼構造建築溶接部の超音波探傷検

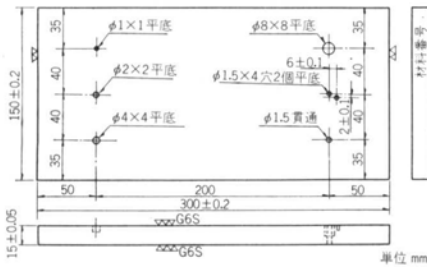
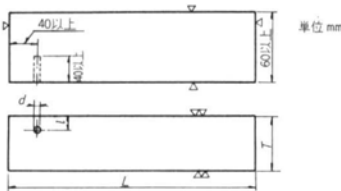


図-1 JIS Z 2348—1973 に定められている STB-A2



ここに L: 対比試験片の長さ、使用するビーム路程により定める。
T: 対比試験片の厚さ
d: 標準穴の直径
l: 標準穴の位置

試験片の名称	試験材の厚さ t	対比試験片の厚さ T	標準穴の位置 l	標準穴の直径 d (mm)
No.1	25mm 以下	19mm または t ⁽¹⁾	T/2	2.4
No.2	25mm を超え 50mm 以下	38mm または t	T/4	3.2
No.3	50mm を超え 100mm 以下	75mm または t	T/4	4.8
No.4	100mm を超え 150mm 以下	125mm または t	T/4	6.4
No.5	150mm を超え 200mm 以下	175mm または t	T/4	7.9
No.6	200mm を超え 250mm 以下	225mm または t	T/4	9.5
No.7	250mm を超えるもの	t	T/4	(2)

注 (1) T=t の場合には表面粗さは試験材のままとする。
(2) 試験材の厚さが 250mm を超える場合は、厚さが 50mm またはその倍数を増すことに標準穴の直径を 1.6mm 増す。

図-2 JIS Z 3060—1975 に定められている RB-4

査規準・同解説」においては、感度調整用試験片として STB-A2 を規定している。したがって鋼構造建築溶接部の探傷においては、当分の間 STB-A2 の 4φ×4mm の標準穴が、探傷感度の設定および検出レベルの基準として使用されると考えられる。

そのため、本報告では STB-A2 の 4φ×4mm の標準穴の持つ意味を考察して、超音波探傷を使用する人の参考にした。

RB-4 は米国の ASME 規格に定められている感度調整用試験片とほぼ同一であり、ISO の規格を始めとして世界各国の規格は、この試験片を採用するすう勢にある。そのため STB-A2 と RB-4 の比較についても言及する。

§ 2. 角よりの反射としての 4φ×4mm 標準穴

STB-A2 の 4φ×4mm の標準穴は図-1 に示したように、表面に開口した縦のドリル穴である。したがって、この標準穴よりの反射は角よりの反射となる。

音波が角に入射した時の理論解析は困難であるが、斜入射の能率を 2 回適用して計算した結果が実験と良く合うことが知られている¹⁾。これによれば横波の斜角探傷で屈折角 45° の場合には、角からの反射において横波—縦波の変換はないが、60° や 70° ではモード変換が生じ、横波の反射波は入射波に対して、各々約 -18.5dB、-5.8dB となる。

そのため STB-A2 を用いて感度調整する場合には溶接の内部欠陥を同一感度で探傷するために、屈折角による角からの反射能率の違いを補正する必要がある。

JIS Z 3060 では公称屈折角と実測屈折角の変差の許容範囲を ±2° としている。図-3 は横波入射の場合の反射率を屈折角 68°~72°、および 58°~62° について計算したものである。たとえば屈折角 68° と 72° では探傷感度に 3dB の差があり、エコー高さの領域区分に差の生ずる

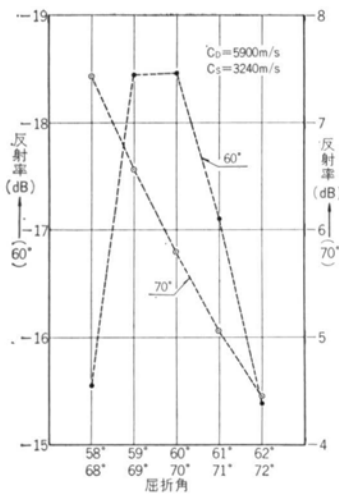


図-3 屈折角の誤差による角よりのエコーの反射率の違い

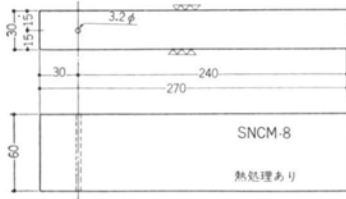


図-4 横穴試験片

エコー高さ (dB)	探 触 子	該当する球欠陥の直径 (mm)	該当する正方形平面欠陥の一边の長さ (mm)	該当する円形平面欠陥の直径 (mm)
+12	5Z 10×10A45	66	3.3	3.8
	5Z 10×10A70	35	2.4	2.8
+6	5Z 10×10A45	33	2.3	2.6
	5Z 10×10A70	17.6	1.68	1.92
0 (4φ×4mm)	5Z 10×10A45	16.8	1.64	1.88
	5Z 10×10A70	8.8	1.2	1.36
-6	5Z 10×10A45	8.4	1.2	1.3
	5Z 10×10A70	4.6	0.84	0.96
-12	5Z 10×10A45	4.2	0.82	0.92
	5Z 10×10A70	2.3	(0.6)	0.68
-18	5Z 10×10A45	2.2	(0.58)	0.66
	5Z 10×10A70	1.1	(0.22)	(0.28)

ビーム路程100mm, $\lambda=0.64\text{mm}$. ・遠距離音場の理論による. ・平面欠陥は音波に垂直とする. ・STB-A2の4φ×4標準穴のエコー高さを基準(零デシベル)とする. ・寸法が波長より小さい欠陥は検出されない可能性が大きい.

表-1 4φ×4mm 標準穴と模形欠陥の関係

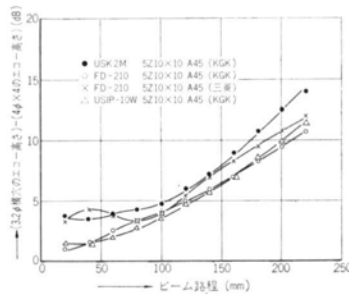


図-5 横穴のエコー高さと4φ×4mm標準穴のエコー高さの関係(5MHz, 45°)

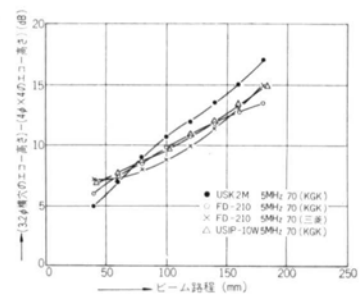


図-6 横穴のエコー高さと4φ×4mm標準穴のエコー高さの関係(5MHz, 70°)

可能性が十分存在する。社内検査と受入れ検査に差が生じた場合には、この点も検討する必要がある。

§ 3. 4φ×4mm 標準穴と各種模形欠陥の関係

4φ×4mm 標準穴のエコー高さを基準として探傷感度や検出レベルを定める場合には、どの程度の欠陥寸法を検出しているのかを知っておく必要がある。

球、円形平面傷および正方形平面傷の遠距離音場における反射率は、すでに計算されている²⁾。しかし4φ×4mm 標準穴のような角からの反射となるドリル穴の計算は困難である。そのため図-4のような試験片中の横穴からのエコーとSTB-A2の4φ×4mm標準穴からのエコーとを比較した。その結果を図-5, 6に示す。両者のエコー高さの関係はビーム路程によって異なるが、建築鉄骨溶接部で使用されるビーム路程の平均的な値として100mm

に注目し、このビーム路程における4φ×4mm 標準穴と模形欠陥の関係を実験結果と遠距離音場理論から算出した結果を表-1に示す。

4φ×4mm標準穴に該当する模形欠陥の寸法は、5Z 10×10A70の場合ビーム路程100mmで、直径8.8mmの球欠陥、1辺の長さが1.2mmの正方形欠陥、直径1.36mmの円板状欠陥である。

ただし、方向性を有する平面欠陥では、音波の進行方向と欠陥とが傾いている場合には、わずかの傾きでエコー高さは急激に減少する。

§ 4. 4φ×4mm 標準穴の距離振幅特性と溶接欠陥の距離振幅特性

JIS Z 3060-1975 や日本建築学会の規 準 では、エコー高さ区分線を4φ×4mm標準穴の距離振幅特性曲線に

よって作成している。「距離振幅特性曲線によるエコー高さ区分線」は、ビーム路程によるエコー高さの変化を補正して、エコー高さを評価するためのものであるから、 $4\phi \times 4\text{mm}$ 標準穴と溶接欠陥の距離振幅特性の関係を知ることは重要である。

4.1 溶接自然欠陥の方向性

溶接の自然欠陥は任意の形状、分布、方向を有している。したがって欠陥への音波の入射方向が異なれば、同一欠陥でも、反射音圧が全く異なる場合が多い。そのため溶接部の斜角探傷では、2方向以上から探傷するよう規定されている。

溶接自然欠陥の距離振幅特性を考える場合、この事実は重要である。通常溶接部の斜角探傷では、直射法および1回反射法を用いて探傷する。

図-7はスラグ巻込みの探傷例である。A面からの探傷の場合、直射法よりも1回反射法の方が、より高いエコーが得られ、この欠陥の場合ビーム路程が長い方が高いエコーが得られるということになる。同じ欠陥をB面から探傷すれば、直射法よりも1回反射法の方が低いエコーが得られ、A面における探傷と逆の結果となる。これは直射法と1回反射法では欠陥への音波の入射方向が異なるためである。

図-7から分るように、一定の方向から音波が欠陥へ入射するようにデータを採れば、比較的素直な距離振幅特性曲線が得られる。また同一面からのデータでも多くのデータの平均値を考えれば、その距離振幅特性曲線の傾斜は、一定の方向から音波が欠陥へ入射するようにして得た曲線の傾斜と近似している。

そのためここでは、一定の方向から音波が欠陥へ入射するようにして得たデータによって、欠陥の距離振幅特性を考えた。

4.2 溶接自然欠陥の距離振幅特性

ブローホール、スラグ巻込み、内部溶込み不足、ルート溶込み不足、内部割れの屈折角 45° と 70° の場合の距離振幅特性を図-8~17に示す。

図中、 L_R は欠陥の実長、 A_R は欠陥の実断面積を示す。

縦軸にエコー高さ、横軸にビーム路程をとった場合の距離振幅特性の右下りの勾配は、

- (1)内部割れとスラグ巻込みはSTB-A2の $4\phi \times 4\text{mm}$ のドリルホールの勾配より若干急である。
- (2)ルート溶込み不足はSTB-A2の $4\phi \times 4\text{mm}$ のドリルホールと同じ勾配である。

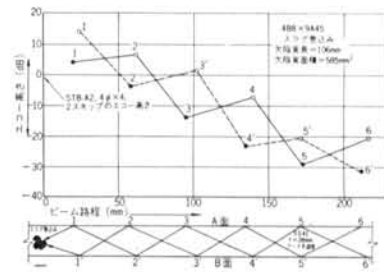


図-7 溶接欠陥の方向性

- (3)ブローホールは近距離ではSTB-A2の $4\phi \times 4\text{mm}$ の勾配と等しいが、遠距離ではそれより緩やかになる。
- (4)内部溶込み不足は、STB-A2の $4\phi \times 4\text{mm}$ の勾配よりもゆるやかである。特に屈折角 45° の場合に著しい。
- (5)溶接自然欠陥の場合、欠陥寸法の影響は明確でない。

ルート溶込み不足の主要な反射源は角の部分で、非常に局所的である。そのためSTB-A2の $4\phi \times 4\text{mm}$ の距離振幅特性と類似すると思われる。

ブローホールは、本実験では密集したものが多数あり、遠距離では着目したブローホールの周辺のブローホールからの反射波の影響を受けて、勾配がSTB-A2の $4\phi \times 4\text{mm}$ の勾配よりゆるやかになると思われる。内部溶込み不足は反射波の経路から考えて、反射回数(スキップ数)が増えると受信音圧が増大する。そのために、勾配がゆるやかになる。したがって内部溶込み不足の距離振幅特性は板厚が大きく影響する。

4.3 $4\phi \times 4\text{mm}$ 標準穴の距離振幅特性曲線によるエコー高さ区分線の適用について

溶接自然欠陥の距離振幅特性は欠陥の種類によって異なることは4.2で述べたとおりである。しかし実際の探傷において欠陥の種類によってエコー高さ区分線作成のための距離振幅特性曲線を変えることは困難である。したがって1種類の距離振幅特性曲線を用いる必要がある。

溶接欠陥のエコー高さが、欠陥評価のためのエコー高さの領域区分の最上位に常にある場合および検出レベルよりも常に低い場合には、自然欠陥の距離振幅特性とエコー高さ区分線作成用の距離振幅特性曲線の相異は、問題とならない。(図-18の(a)と(b))

しかしながら日本建築学会の「鋼構造建築溶接部の超音波探傷検査規準」では屈折角 70° ではA線が+6dB、B線が-6dBであり、すべての溶接欠陥はA線とB線の間に存在する可能性がある。

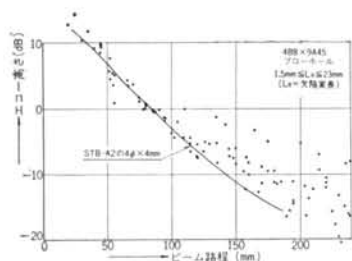


図-8 ブローホールの距離振幅特性 (45°)

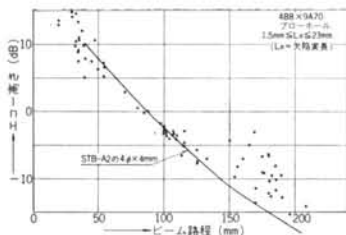


図-9 ブローホールの距離振幅特性 (70°)

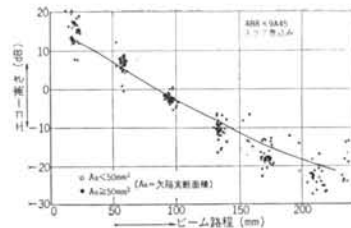


図-10 スラグ巻き込みの距離振幅特性 (45°)

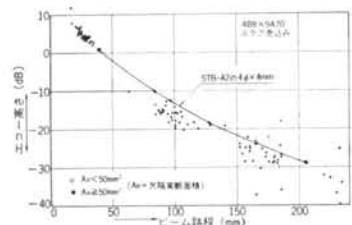


図-11 スラグ巻き込みの距離振幅特性 (70°)

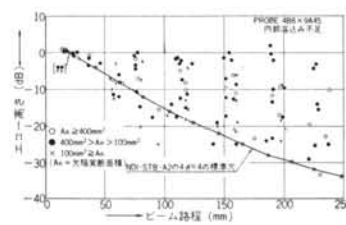


図-12 内部溶込み不足の距離振幅特性 (45°)

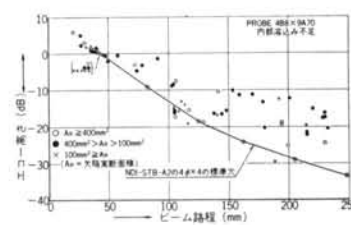


図-13 内部溶込み不足の距離振幅特性 (70°)

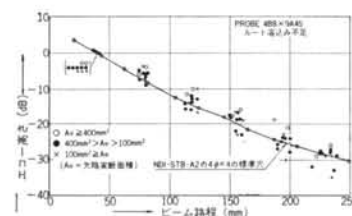


図-14 ルート溶込み不足の距離振幅特性 (45°)

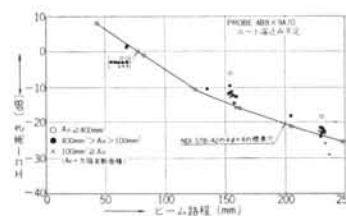


図-15 ルート溶込み不足の距離振幅特性 (70°)

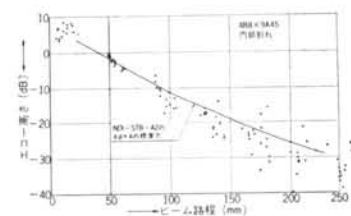


図-16 内部割れの距離振幅特性 (45°)

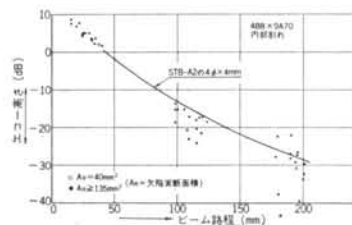
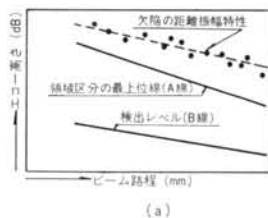


図-17 内部割れの距離振幅特性 (70°)

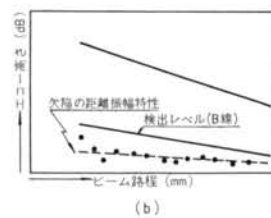
この場合、欠陥の距離振幅特性とエコー高さ区分線作成のための距離振幅特性曲線の勾配が異なれば、同一欠陥でもビーム路程によって評価が異なる。

STB-A2の4φ x 4mmのドリル穴の距離振幅特性を用いてエコー高さ区分線を作成すれば、

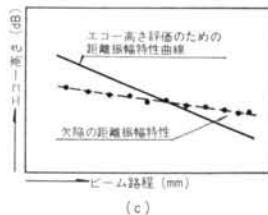
- (1) ルート溶込み不足の特性は4φ x 4mmの特性と等しい
 (2) スラグ巻き込みと内部割れの特性曲線は4φ x 4mmの特性曲線よりも若干勾配が急であるが、ほぼ同一とみ



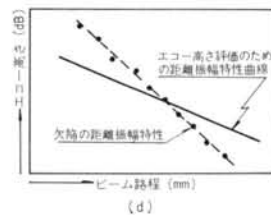
(a)



(b)



(c)



(d)

図-18 エコー高さ評価のための距離振幅特性曲線と欠陥の距離振幅特性

なしても良い。ただし、できるだけ短いビーム路程で測定する方が安全側である。

(3)ブローホールの特性はビーム路程約100mm以下では $4\phi \times 4\text{mm}$ の特性とほぼ等しく、ビーム路程100mm以上では $4\phi \times 4\text{mm}$ の特性曲線よりも勾配が緩い。したがって安全側にある。

(4)内部溶込み不足の特性曲線の勾配は $4\phi \times 4\text{mm}$ の特性曲線の勾配よりも緩く、ビーム路程が遠いほど厳しい判定となる。

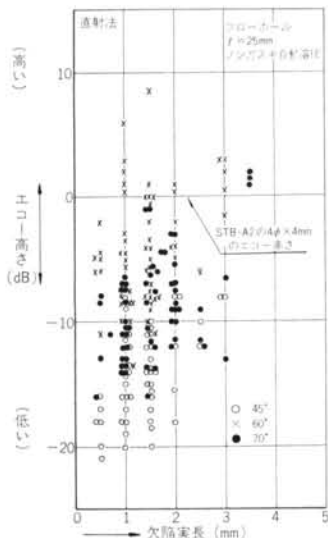
したがって内部溶込み不足以外の欠陥では、STB-A2の $4\phi \times 4\text{mm}$ の特性曲線を用いてエコー高さ区分線を作成しても良い。

以上の結果、溶接部の超音波斜角探傷試験においてはTBS-A2の $4\phi \times 4\text{mm}$ を用いてエコー高さ区分線を描くのが妥当と思われる。ただし、内部溶込み不足においては、安全のためできるだけ遠いビーム路程でエコー高さを測定するのが良い。開先形状より、内部溶込み不足であるか否かは容易に判断できる。

ただし、板厚が大きく、かつ、内部溶込み不足が発生するような溶接（裏はつり溶接、狭開先溶接）では、タンデム法の利用が良い。

§ 5. $4\phi \times 4\text{mm}$ 標準穴と溶接欠陥の関係

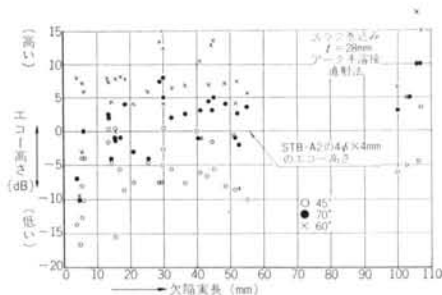
§ 3.において $4\phi \times 4\text{mm}$ 標準穴と模形欠陥の関係を述べた。溶接の自然欠陥は複雑な形状、分布、方向を有して



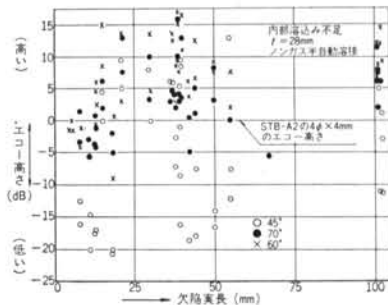
図一19 ブローホールのエコー高さ (4B8×9, 一部5Z10×10)

おり、理論および模型欠陥の実験で考察しうるのは、せいぜい定性的な事柄である。そのため、溶接の自然欠陥のエコー高さ $4\phi \times 4\text{mm}$ 標準穴の関係を知らなければ、探傷感度や検出レベルを定めることができない。

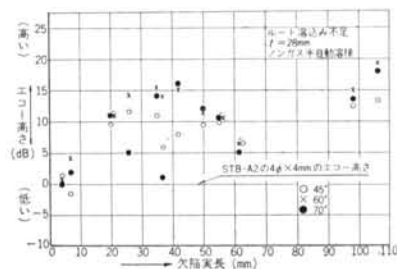
図一19~23に $4\phi \times 4\text{mm}$ 標準穴のエコー高さ $4\phi \times 4\text{mm}$ 標準穴のエコー高さの関係を屈折角ごとに示す。表一2、



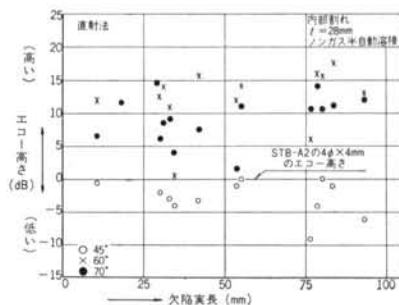
図一20 スラグ巻き込みのエコー高さ (5Z10×10)



図一21 内部溶込み不足のエコー高さ (4B8×9)



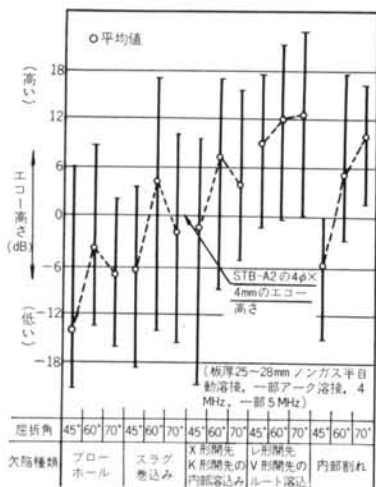
図一22 ルート溶込み不足のエコー高さ (4B8×9)



図一23 内部割れのエコー高さ (4B8×9)

欠陥種別	欠陥面積 (mm ²)	欠陥長さ (mm)	走査法		屈折角		
					45°	60°	70°
ブローホール		0.5	直射法	範囲	-21~+6	-13.5~+8.5	-16~+2
				平均	-13.8	-4.2	-7.6
			一回反射法	範囲			
				平均			
全平均	-13.8	-4.2	-7.6				
内部溶込み不足	10 1318	8 102	直射法	範囲	-20~+8.5	-1.5~+16.5	-5.5~+15.5
				平均	-7.2	+6	+2.7
			一回反射法	範囲	-20.5~+9.5	-9~+17	-5~+13
				平均	+4	+8.4	+4.6
全平均	-1.6	+7.2	+3.7				
ルート溶込み不足	11 1618	4 106	直射法	範囲	-1.5~+13.5	+0.5~+19.5	0~+18
				平均	+8.2	+11.5	+10.7
			一回反射法	範囲	+2.5~+17.5	-0.5~+21	0~+22.5
				平均	+9.5	+12.0	+14.0
全平均	+8.8	+11.8	+12.3				
スラグ巻込み	19 585	4 107	直射法	範囲	-16.5~+3.5	-9.5~+17.5	-10~+10
				平均	-6.1	+6.5	+1.5
			一回反射法	範囲	-18.5~+3	-14~+17	-15.5~+6.5
				平均	-7.2	+1.5	-5.8
全平均	-6.7	+4	-2.1				
内部ワレ	40 915	11 93	直射法	範囲	-9~0	+0.5~+17.5	+1.5~+14.5
				平均	-3.7	+12.3	+9.1
			一回反射法	範囲	-0.3~+14.8	-3~+10.8	+4.7~+16.2
				平均	-9.6	+4.9	+11.1
全平均	-34.9	+8.7	+10.1				

表一 2 4φ×4mm 標準穴のエコー高さ と溶接自然欠陥のエコー高さとの関係(4φ×4mm 標準穴のエコー高さを 0 として dB で表示)



図一 24 4φ×4mm 標準穴のエコー高さ と溶接欠陥のエコー高さの関係

STB-A2		RB-4	
一般性・普遍性	音圧(エコー高さ)の基準として一般性・普遍性がある。	一般性・普遍性	実際の試験材に対してエコー高さに影響を与える諸因子を除去して探傷感度を設定することができる。
利点	標準穴の径と深さを変えることによって、反射エコー強さを容易に変えることができる。 1個の試験片で、どの検査対象物にも使用可能である。 薄板に適している。	欠点	標準穴の径を変えても反射エコー強さはそれほど変わらない。 検査対象物ごとに製作しなければならない場合が多い。 薄板には、あまり利用されない。
欠点	初心者には探傷しにくい。 標準穴の保守に気を使う。 厚板には使用困難あるいは不可能である。 検査対象物によってはさらに修正操作が必要である。 屈折角 70° 等では表面波が妨害することがある。 屈折角によっては、反射時に横波→縦波の変換がある。 同一エコー強さを与える標準穴を製作することが困難である。 検査対象物との直感的対応が少ない。 斜角探傷にしか利用できない。	利点	初心者でも容易に探傷できる。 標準穴の保守にはそれほど気を使う必要はない。 厚板に適している。 Same Material, Same Surface, Same Thickness では修正操作が全く不要である。 表面波の妨害はない。 特殊な場合を除いて音波の振動様式の変換を考慮する必要はない。 さほど注意しなくとも、同一エコー強さを与える標準穴を製作することができる。 検査対象物との直感的対応がある。 斜角探傷、垂直探傷の両方に利用できる。

表一 3 STB-A2 と RB-4 の比較

図一 23 はそれらを整理したものである。

これらの図表を参考にすれば、検出すべき欠陥種類や寸法に応じて、検出レベルや探傷感度を定めることができる。

§ 6. STB-A2 と RB-4 の比較

STB-A2 と RB-4 の比較については、すでに昭和44年に 202 小委員会が NDI の第 2 分科会に発表しているが³⁾、現時点における技術レベルに立って、両者を比較した結果を表一 3 に示す。

以下に表中の各項について若干の考察を加える。

一般性・普遍性という言葉の定義は難しいが、「広く適用しうるか」といったような意味で用いた。STB—A2を用いた場合、探傷器に設定された感度を知ることができ、その意味で各所のデータの互換性が容易である。特に研究・実験データをSTB—A2のエコー高さを基準にして整理すれば、そのデータの有する意味を広く共通的に理解することが可能である。

一方、実際の探傷では伝達損失、表裏面反射時の音圧の損失、減衰があり、Same Material, Same Surface, Same Thickness のRB—4の横穴のエコー高さを実際の試験材中の欠陥のエコー高さを比較すれば、横穴のエコー高さ欠陥のエコー高さを、各種の影響因子を除去して、比較することができる。

要約すれば、STB—A2は研究・実験的には一般性・普遍性があり、RB—4は実際の探傷において一般性・普遍性があるということもできる。しかし、STB—A2はNDIの厳重な管理のもとに製作されているので、エコー高さの基準としては安心して使用できるが、RB—4は各所で任意に製作されるので、微妙な点で若干、不安感があることは否めない。

RB—4の場合、標準穴からのエコー高さを変えるためには穴径を変えるしかない。穴径を変えてもエコー高さは、せいぜいその平方根の割合でしか変化しない。STB—A2では穴径と同時に穴の長さをも変えることができる。この場合、穴の長さはエコー高さに対して1乗で作用すると考えて良い。

たとえばSTB—A2の $2\phi \times 2\text{mm}$ の標準穴と $4\phi \times 4\text{mm}$ の標準穴との間には、遠距離音場では、9dB程度のエコー高さの差を期待できるが、RB—4の 3.2ϕ の標準穴と 6.4ϕ の標準穴の間には、せいぜい3dB程度の差しか期待できない。なお、以上の議論は正確ではないので、詳細は文献2)を参照されたい。

JIS Z 3060では、RB—4は試験材と超音波特性の近似した鋼材で製作しても良く、その厚さも試験材のある厚さの範囲に対しては1種類の厚さで良いことになっている。こうすることによって、必ずしもRB—4を試験材ごとに製作する必要がなく、かつ製品と同一材料を入手できない場合においてもRB—4を製作することが可能となる。しかしRB—4の利点と本来の使用目的から

考えれば、やはり Same Material, Same Surface, Same Thickness とすべきであろう。こうすることによって修正操作の必要性は皆無となる。この場合は、試験材ごとにRB—4を製作することが必要となる。

RB—4は薄板まで適用可能であるが、あまり薄くなるとビーム路程がそれほど遠くなくともいろいろな経路の反射波が発生し、使用時にかなりの注意が必要となる。

STB—A2の縦穴を斜角探傷する際には、穴のエコーの他に試験片の角のエコーが発生する。角のエコーのエコー高さと標準穴のエコー高さの間には著しい差があり、かつ、両者の各スキップ点におけるビーム路程が同一なので、初心者は標準穴のエコーと角のエコーを間違える場合が多い。さらに屈折角 70° では表面波を除去する必要もある。また標準穴そのものが点状であるので、標準穴をねらうことさえ初心者には苦勞である。RB—4の場合に、容易に標準穴のエコーを確認することができる。ただし、ビーム路程の違い位置から探傷する場合にはいろいろな経路の反射波が発生し、目的とするエコーの識別は困難となることがある。

STB—A2の標準穴のエコー高さには穴のコーナーが大きな影響を与える。にもかかわらず、穴のコーナーは、もっとも損傷しやすい位置にあり、細心の注意を払って管理する必要がある。RB—4の横穴は試験片の内部にあり、穴そのものの管理は容易である。NDIの202小委員会では、昭和48年6月に使用後2～10年経過した9個のSTB—A2試験片の $4\phi \times 4\text{mm}$ の標準穴の感度を比較し、屈折角 45° の場合、そのバラツキは1.5dB以内であるという結論を得ている⁴⁾。

§ 7. あとがき

STB—A2の $4\phi \times 4\text{mm}$ 標準穴は日本の超音波斜角探傷試験の原点である。しかし、世界のすう勢からみれば、日本においても近い将来RB—4形式の感度調整用試験片が大勢を占める可能性が大きい。

その場合においても、JIS Z 3060—1975の基準となった考え方を書き留めておき、将来の参考とすることは必要なことであると考えて、STB—A2について全体的に考察した。

<参考文献>

- 1) 学振製鋼第19委員会：“超音波探傷法（改訂新版）” 日刊工業新聞社 pp. 40～41

- 2) 同上, pp. 41~47
- 3) NDI 202 小委員会：“斜角探傷用感度試験片による橋穴およびタテ孔の問題点” NDI 資料 2342
- 4) “NDI 202 小委員会議事録, S48第5回” 昭和48年6月7日