

#### 4 放射線透過試験と超音波探傷試験の欠陥検出比較

前述したように放射線透過試験と超音波探傷試験の検出度を比較することは、試験方向の相違のため、欠陥を平面的に見るか側面的に見るかの違いがあり、かつ面状欠陥では放射線照射方向または超音波パルスの入射方向と欠陥の傾きとの関係で検出感度は著しく異なる。

従って欠陥の検出形状、寸法を単純に比較することは無理があり、放射線透過試験と超音波探傷試験の等級分類による合否対応比較を行うことにした。

通常の引張継手を対象に放射線透過試験等級分類の1～2級を合格とし、同じく超音波探傷試験等級分類の1～2級を合格とした継手の合否の対応率を主体に比較を行った。

部会構成会社13工場から提出された放射線透過試験と超音波探傷試験の対応試験データ(RTとUTの何れかに欠陥のあるデータ263個)を図4-1に示した。RTとUTともに合格、(いずれも2級以上)とした欠陥、およびいずれも不合格(いずれも3級以下)とした欠陥は211個であり、合否対応率は80.2%であった。RTでは合格、UTでは不合格の欠陥が16個(6.1%)、RTでは不合格、UTでは合格とした欠陥36個(13.7%)であった。RTで不合格、UTでは合格となった欠陥のうち8個は球状のBH、11個は7～11mmのパイプ状BHであり残りの17個がスラグ巻込み、融合不良、溶込み不良であった。また、RTにおいて何らかの欠陥が認められたもののうち108個がUTでは無欠陥と判定され、このうち19%がRTでは3～4級であった。

これらのデータのうちBH等の球状欠陥と判定されたRTの第1種に属する欠陥を除いて面状欠陥に属する欠陥のRTの像長およびUTの欠陥指示長さの関係を図4-2-1および図4-2-2に参考として示した。等級分類の対応と同様欠陥の寸法に関しても、かなり長い欠陥においてもRTで検出されてもUTでは検出されないもの、またはRTでは検出されないがUTで検出されたものが同程度の割合で認められた。従って、RTにおいても欠陥の傾き、幅および間隙によっては欠陥長さの大きなものも検出されていなかったことは否定出来ない。

仙田ら(\*2)はSM58Q,板厚24mmの平板に45°深さ17mmのV溝開先を加工し、被覆アーク溶接棒を用いた自動溶接機により、開先の片側に融合不良、スラグ巻込み等の面状欠陥を持つ試験体を作成し、RT、UT探傷を行うと共に精密切削による欠陥実長測定を行い、各々の対比を行った。各試験の欠陥長さの比較を表4-1に示した。ただし、本試験におけるRTは溶接欠陥を含む溶接金属より20mmφの丸棒試験片を機械加工して作成し、回転撮

放射線透過試験  
JIS Z 3014

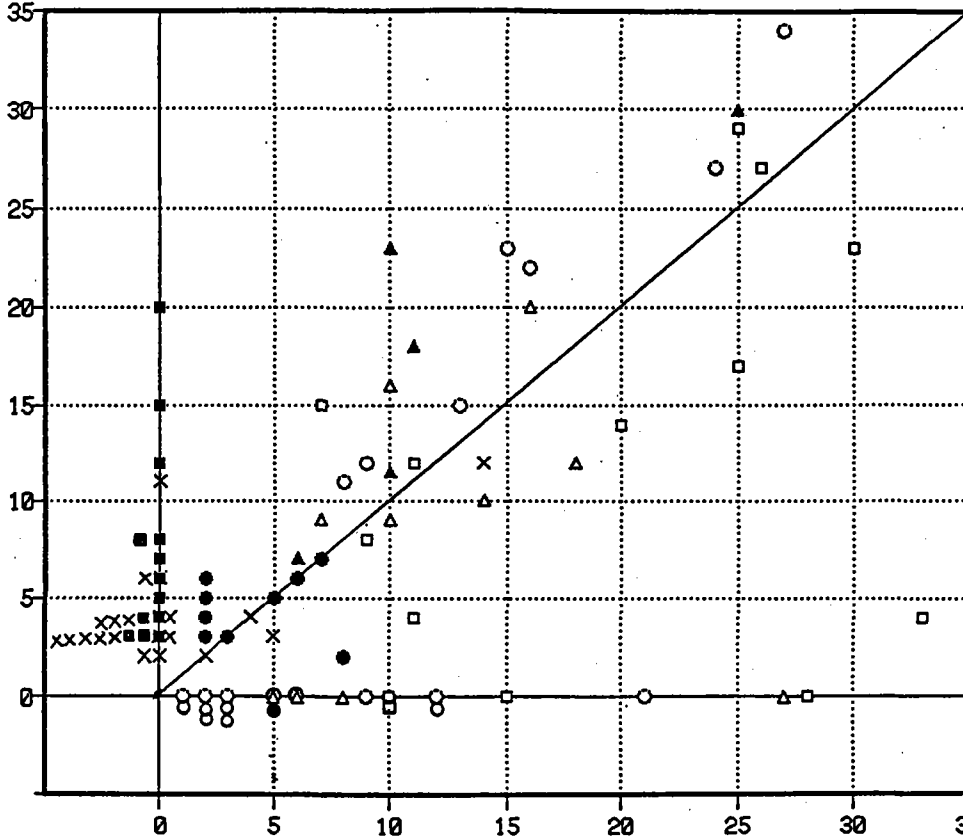
		材質: SM50, SM58 板厚: 9 ~ 42mm 開先: I, V, X 超音波探傷条件: 5Z10×10A70, A2-M OR L			溶接方法: 片面OR両面ワーム-アーク 溶接OR炭酸ガスアーク 溶接混用法			
不合格	4級	三種	0	0	0	0	0	
		二種	12 (4)	10 (1)	0	35 (3)	54 (13)	
		一種	3 (0)	1 (0)	0	0	0	
	3級	三種				0	0	
		二種	2 (0)	3 (1)	1 (0)	0	1 (0)	
		一種	4 (0)	0	0	2 (0)	1 (0)	
	合格	2級	二種	11 (1)	2 (2)	0	0	0
			一種	22 (1)	2 (2)	0	3 (2)	1 (1)
		1級	二種	7 (2)	5 (3)	1 (0)	2 (1)	2 (0)
一種			47 (18)	3 (1)	0	1 (1)	0	
ND				14 (0)	4 (0)	4 (2)	3 (0)	
		ND	1級	2級	3級	4級		
					合格	不合格		

( ) 手動探傷データ数  
超音波探傷試験(JIS Z 3060)

図4-1 13工場における放射線透過試験と超音波探傷試験の等級対比データ  
(過去の実績データ、鋼床版片面溶接データおよび手動探傷データ含む)

全データ (RTまたはUTの何れかで検出した欠陥数) : 263  
 RT、UTとも合格 (1級または2級) とした欠陥数 : 118 — 211 (80%)  
 RT、UTとも不合格 (3級または4級) とした欠陥数 : 93  
 RTが合格とし、UTが不合格とした欠陥数 : 16 (6%)  
 RTが不合格としUTが合格とした欠陥数 : 36 (14%)  
 この内、RTで2種欠陥4級をUTでは欠陥無または1級と判定したデータ22ヶ(8%)、  
 UTで4級をRTでは欠陥無または1級と判定したデータ5ヶ(2%)である。

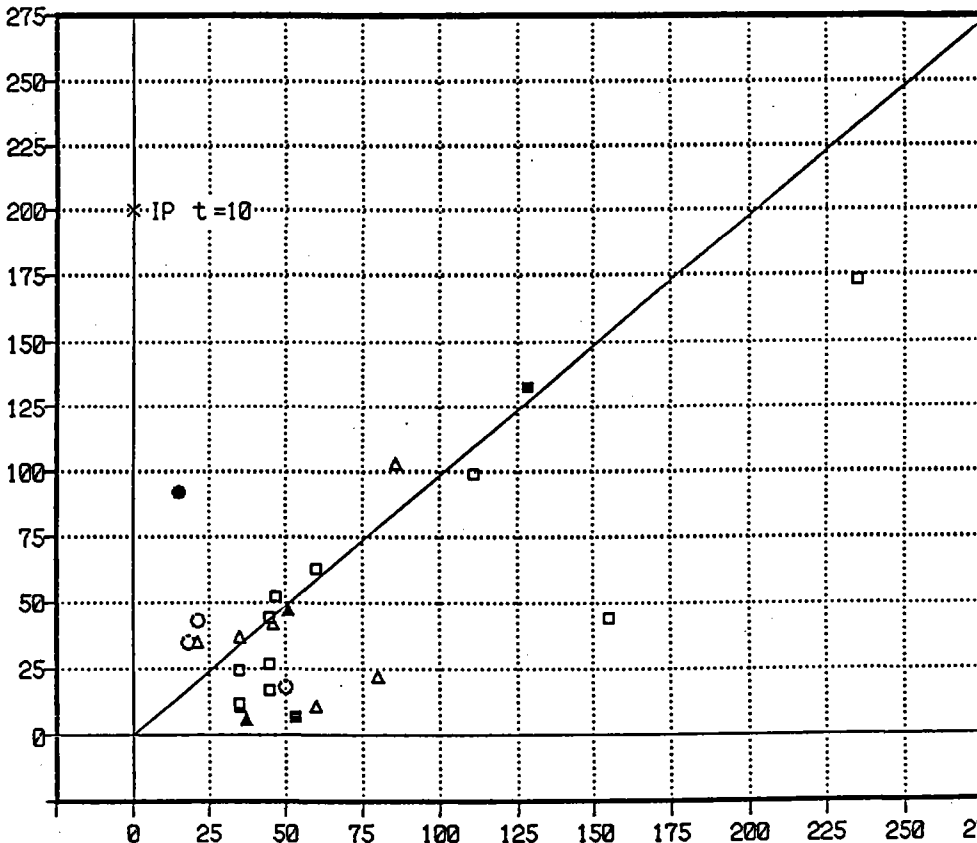
(mm) RT長さ



指示長さ

図4-2-1 BH以外の欠陥 RT-U T対比グラフ  
長さ35mm以下のもの 領域で分類 ΣN=92

(mm) RT長さ



指示長さ

図4-2-2 BH以外の欠陥 RT-U T対比グラフ  
長さ35mm以上のもの 領域で分類 ΣN=27

影による全方向試験を行っている。従って、全方向試験は欠陥の傾斜に対しては一般的な1方向照射試験に比べて欠陥検出レベルが非常に高い状態である。またUTにおいても探触子屈折角45°、60°、70° および両側探傷、両面探傷等各探傷面での最も検出度の高いデータを用いている。

表4-1 各試験における欠陥長さの比較(\*2 JIS Z 3080の探傷データ 省略)

種類		欠陥NO						
		1	2	3	4	5	6	7
切断試験		14mm ±1.4	24 ±0.9	25 ±2.6	5 ±1.4	7.5 ±2.5	2.5 ±2.5	2.5 ±2.5
RT	一般試験*1	9 mm	23	25	5	4	0	0.6
	精密試験*2	13mm	24	26	5	4.5	0	2.0
UT*3 (L 検出レベル)		13mm	23	9	4	8	5	0
UT*3(1/2L 検出レベル)		17mm	38	29	11	11	9	3

\*1: 欠陥を含む丸棒の肉厚補償鋼板挿入、丸棒回転撮影方式。透過度識別線径0.32mm

\*2: 同上、狭照射野撮影。透過度識別線径0.25mm

\*3: JIS Z 3060(1975) 探触子5Z10×10A45,60,70。探触子の各屈折角、各探傷面での欠陥指示長さが異なる場合は最大欠陥指示長さ。

表中欠陥1～欠陥5はスラグを巻込んだ融合不良であり、このような体積のある欠陥はRTおよびUTとも欠陥が検出されている。しかしながらこのような欠陥も全長に亘って同一の断面形状を持っているわけではなく、RTとUTでの欠陥指示長さは異なる。

例えば、欠陥1は図4-3-1に示すように欠陥の両端が体積のない面状欠陥となっているためRT一般試験では欠陥長さが短くなっている。また図4-3-2に示した欠陥3は比較的丸みを帯びた断面形状でありUTのL検出レベルでの欠陥指示長さは短くなっている。

図4-3-3に示した欠陥6のように欠陥寸法が小さく間隙のない面状欠陥はRTでは検出されずUTではやや大きく検出されている。また図4-3-4の欠陥7のように丸みを帯びた0.8mm程度の欠陥はUTのL線検出レベルでは全く検出されていない。

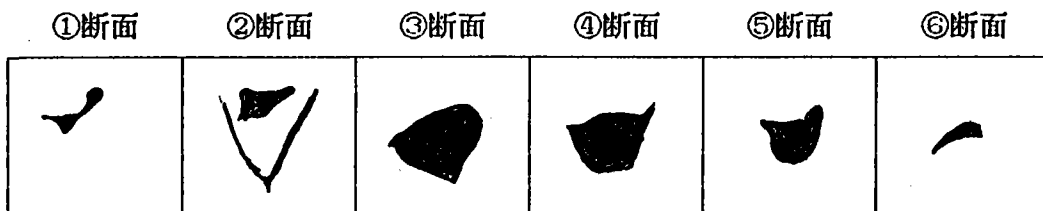


図4-3-1 切断試験による欠陥1の断面スケッチ (倍率10)

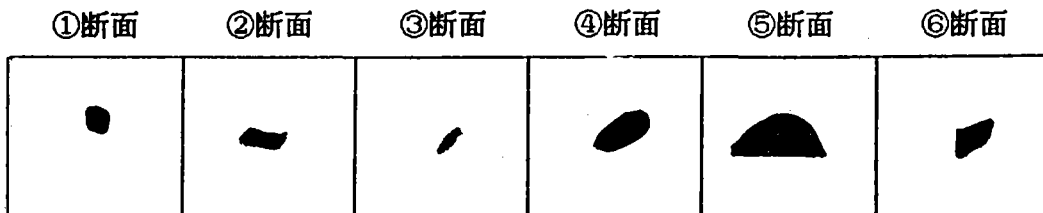


図4-3-2 切断試験による欠陥3の断面スケッチ (倍率10)



図4-3-3 切断試験による欠陥6の断面スケッチ (倍率10)



図4-3-4 切断試験による欠陥7の断面スケッチ (倍率10)

また仙田ら(\*3)は板厚22mmの突合せ溶接継手に種々傾きをもち、開口幅0.008 ~0.010 mmの平面状欠陥（溶込み不良欠陥）を発生させ、RTとUTとの検出比較を行った。

試験体形状は図3-4 に示したと同様でありルートフェイスの角度 $\theta$  ( $0\sim 90^\circ$  まで $10^\circ$  ピッチ)を変化させてた溶込み不良 ( $t=3.6\sim 5\text{mm}$ ) を発生させた。

RT (フィルム#100, 濃度2.2 ~2.9, 透過度計識別度1.3%) では $\theta=0^\circ$  (板面に垂直) を含めて全ての溶込み不良欠陥は検出できなかった。一方UTでは5Z10×10A45, 60, 70° 探触子を用いて継手の両面両側より1回反射 ( $45^\circ$ 、 $60^\circ$  探触子) および直射法 ( $70^\circ$  探触子) で探傷した。探傷感度はRB-4, N01  $\phi 2.4\text{mm}$  横孔を基準とした相対エコー高さ (dB) で測定した。超音波ビームが帯状平面欠陥の反射面に垂直入射する場合、横孔を基準 (HH) とした帯状平面欠陥 (HF) の相対エコー高さ (HF/HH) は下式で与えられる。

$$[HF/HH] = (2 \times t) / \sqrt{a \lambda} \quad (\text{ル-ト}) \quad H = 20 \times \log (HF/HH) \quad (4-1 \text{ 式})$$

t : 帯状平面欠陥の高さ    a : 横孔の直径     $\lambda$  : 波長 (5Z: 横波, 鋼中0.66mm)

これらの実験結果によると、前述の探触子により $t=4\text{mm}$  の傾きのある帯状平面欠陥に対して垂直 ( $\phi=0^\circ$ ) および $\phi<5^\circ$  で入射した場合上式より求めた計算値より実験値は4 ~10dB低い値となっている。欠陥に対して入射角 ( $\phi$ ) が $10^\circ$  以上の場合は欠陥の傾き $\phi$  に関係なく $\phi 2.4\text{mm}$  の横孔を基準として10~40dB低いエコー高さで分布している。

超音波ビームが欠陥に垂直に入射した場合も計算値より低いエコー高さとなったのは欠陥の開口幅が0.008 ~0.010mm と非常に小さく、超音波の一部が欠陥を透過することによって考えられている。また超音波ビームに対して $10^\circ$  以上傾いている場合、傾き角度に関係なくエコー高さの分布が一定であるのは、欠陥面での反射は寄与せず、欠陥端部からの反射エコーによるものと考えられている。

これらのことから非常に開口幅が小さい板面に直角な溶込み不良 (ルートフェイスが密着した状態) では5Z10×10A70 探触子の斜角探傷では溶込み不良欠陥面からの反射エコーは期待できず、端面からの反射によるためRB-4, N01  $\phi 2.4\text{mm}$  横孔を基準感度 (H線) とした場合-6dB のM線レベルでの検出は困難であり、少なくとも-12dB または-18dB のL線または1/2 L線検出レベルとすることが必要と推論される。

従って $70^\circ$  斜角探触子を用いて継手両側から探傷を行った場合、帯状平面形状の融合不良等の場合、欠陥面反射が期待できる欠陥の板面からの傾き角度 $\theta$  は図4-4 の角度範囲内の傾き欠陥であり、溶込み不良等板面に垂直な欠陥を含めて範囲以外の傾きを持った帯状平面欠陥は欠陥端部による反射エコーによるため欠陥幅(t) に関係無く比較的低いエコー

となる。

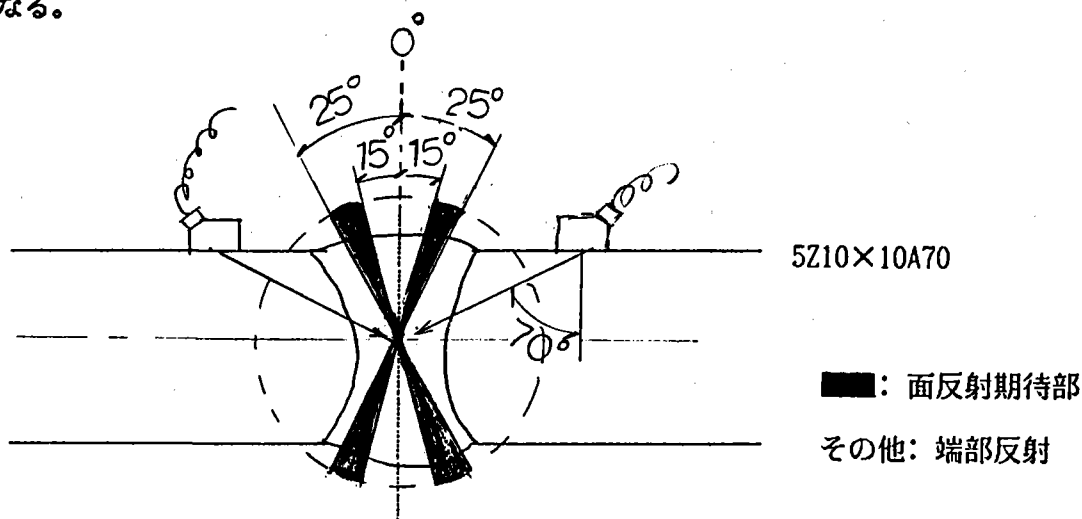


図4-4 欠陥面反射が期待できる欠陥の傾き角度範囲

さらに、仙田ら(4) 4-1式等から標準試験片RB-4, N02横孔 $\phi 3.2$ を基準感度とし、帯状平面欠陥(欠陥幅 $t$ )、円形平面欠陥(欠陥径 $t$ )および球状欠陥(欠陥径 $t$ )の欠陥面に垂直入射( $\phi=0^\circ$ )した場合の相対エコー高さ(dB)と欠陥寸法(mm)の関係を示した。

図4-5 にこれらの計算結果の1例を示した。

また上述した帯状平面欠陥の欠陥面反射が期待できる超音波ビームと欠陥面との角度 $\phi=0 \sim 5^\circ$ における相対エコーの高さと欠陥の高さ $t$ との関係を図4-6 に示した。

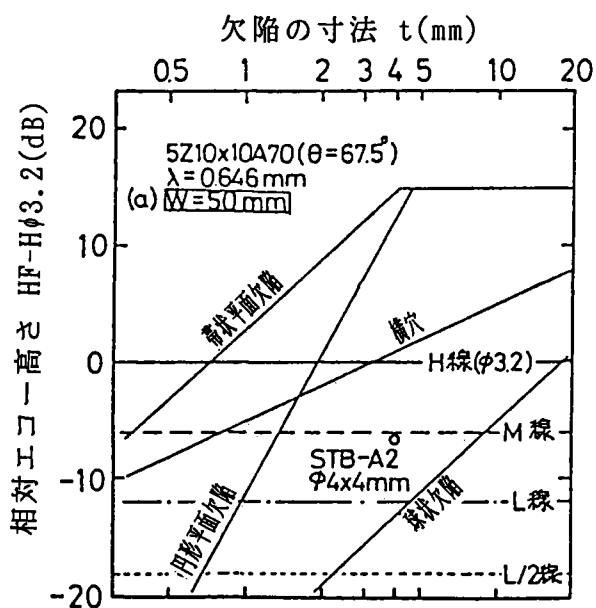


図4-5 各種欠陥の寸法とエコー高さの関係 (計算値)

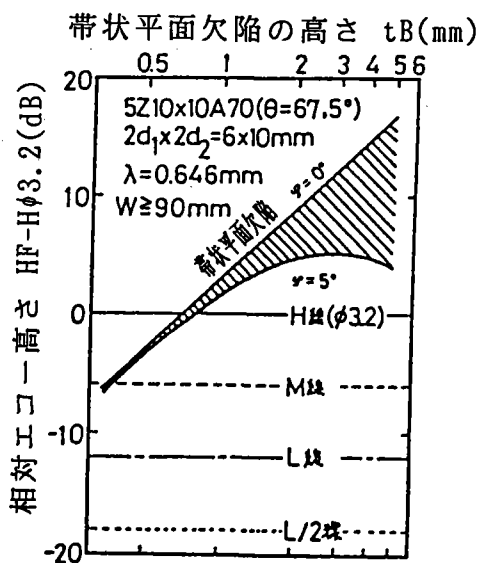


図4-6 傾きを持つ帯状平面欠陥のエコー高さ (計算値)

図4-5 等の計算値から類推しても、球状欠陥はL検出レベルでは4～5mm φ程度でないと検出できない。一方、継手方向のパイプ状欠陥を横孔相当と考えると、長さがあればL検出レベルで十分検出されるはずであるが、図4-1 の過去の実績データではRTで検出された長さ7～11mmのパイプ状欠陥が検出されていない。実継手でのパイプ状欠陥は傾きを持っており、理論上の反射率を確保できない場合が多いと考えられる。

特に開先面の融合不良は開先角度によって検出度が異なるものと思われる。図4-4 で明らかのように開先角度が30～50° の場合は帯状平面欠陥の面反射が期待でき、帯状平面欠陥の高さ(t)が1mm程度でもL検出レベルでの検出が可能と考えられるが、それ以外では端部反射エコーによるため、検出度はかなり低くなるものと思われる。

溶込み不良、全方向の傾きのある融合不良等は端部反射に期待する必要があり、間隙の小さい欠陥も考慮すると、1/2 L検出レベルの検出も考慮する必要があると思われる。