

大口径鋼管溶接部非破壊探傷試験における 超音波探傷法, X線透過撮影法の比較

Comparison between Ultrasonic and X-ray Film Radiographic Methods in the Nondestructive Inspection of Weldments in Large Diameter Steel Pipes

東京ガス(株)基礎技術研究所 笠原 晃明*・増田 智紀

1 緒言

大口径鋼管の円周突合せ溶接部の完成検査では, X線透過撮影試験(以下, XRT)が主たる検査法に位置付けられ, 超音波探傷試験は補助的に併用しても良い事になっている。これは, 従来の手動超音波探傷法(以下, MUT)は, 検査員の技量に大きく依存しており, 信頼性が低く, 記録性の点でも問題があるためである。

しかし最近, 検査結果が即座に判り, しかも取扱いが簡便な全自動超音波探傷システムが数多く開発された事から, それを用いた自動超音波探傷法(以下, AUT)が, X線管理区域の設定, フィルムの現像・乾燥待ちといったXRTに固有の難点を解消する代替手法として見直され出した。しかしAUTを主たる検査法に据えるためには, その検査結果が, XRT, MUTのそれと同等ないしはそれ以上である事を示すデータが不可欠である。そこで, 溶接欠陥付き大口径溶接鋼管をそれぞれの手法で探傷し, 見つかった欠陥部を切断・研削・研磨して探傷結果と照合したところ, AUTの有用性を示すデータが得られたので報告する。

2 試験方法

2.1 試験体

公称内径600mm, 肉厚13mmのAPI Spec. Grade 5LX X52鋼管から切り出した長さ300mmの短管どうしを, Fig. 1の開先形状で突合せ溶接し, 溶け込み不良(IP), 融合不良(LF), スラグ巻き込み(SI), ブローホール(BH)を人為的に発生させた。溶接棒は, 1層目にLB-52, 2層目以降はLB-42を使用し, 総計20本の試験体を作製した。

なお, 割れ(CR)は, 塩素系溶接棒HF 600を用いても10個しか発生せず, 母数的に不十分と判断されたため, 今回の検討対象からは除外した。

2.2 非破壊探傷試験

① XRT: X線発生装置を試験体の内側に設置し, 1重壁で全周を12枚のフィルムに分けて撮影した。欠陥の等級分類はJIS Z 3104によった。

② 超音波探傷法: 屈折角 70° の横波斜角探触子(ジャパンプローブ製5Z10 \times 10A70)を使用し, MUT及びAUTで試験し, 欠陥のエコー高さを, STB-A2標準穴(直径4mm, 深さ4mm)のエコー高さに対する感度差で表した。なお, 手動超音波探傷器はクラウトクレマー製USL-32を, 全自動超音波探傷器はデンマーク溶接協会製のP-SCAN(AWS-4自動スキャナー付き)を使用した。

2.3 破壊試験

一つ以上の方法で「欠陥あり」と判断された部位の前後を切り出し, 溶接線と垂直な面で研削・研磨と検鏡とを繰り返して, 欠陥の有無, 位置, 種類, 寸法を確認した。

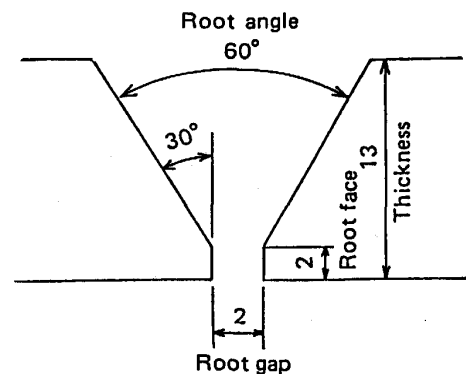


Fig.1 Schema of groove shape (unit:mm)

平成 4年 3月25日受付 (Received Mar. 25, 1992)

* Komei Kasahara (Fundamental Technology Research Laboratory, Tokyo Gas Co., Ltd., 1-16-25 Shibaura Minato-ku, Tokyo 105)

Table 1 Nuber of flaws detected and verified

Type of flaws	IP	LF	BH	SI	Total
Method					
Destructive testing	50	105	68	42	265
MUT	35	44	9	11	99
AUT	47	102	46	31	226
XRT	48	66	63	26	203

MUT : Manual ultrasonic testing
 AUT : Automated ultrasonic testing
 XRT : X-ray film radiographic testing

エコー分布、軸方向断面図及びそのエコー分布となっており、矢印を付した位置に、IP、LF、SIが見られる。それぞれは、XRTで長さ14mmの4級欠陥、長さ4mmの4級欠陥、長さ2mmの2級欠陥と判定されたものである。なお、展開図上で溶接線に沿ってほぼ全面にみられる模様は、溶接ビードの形状エコーである。

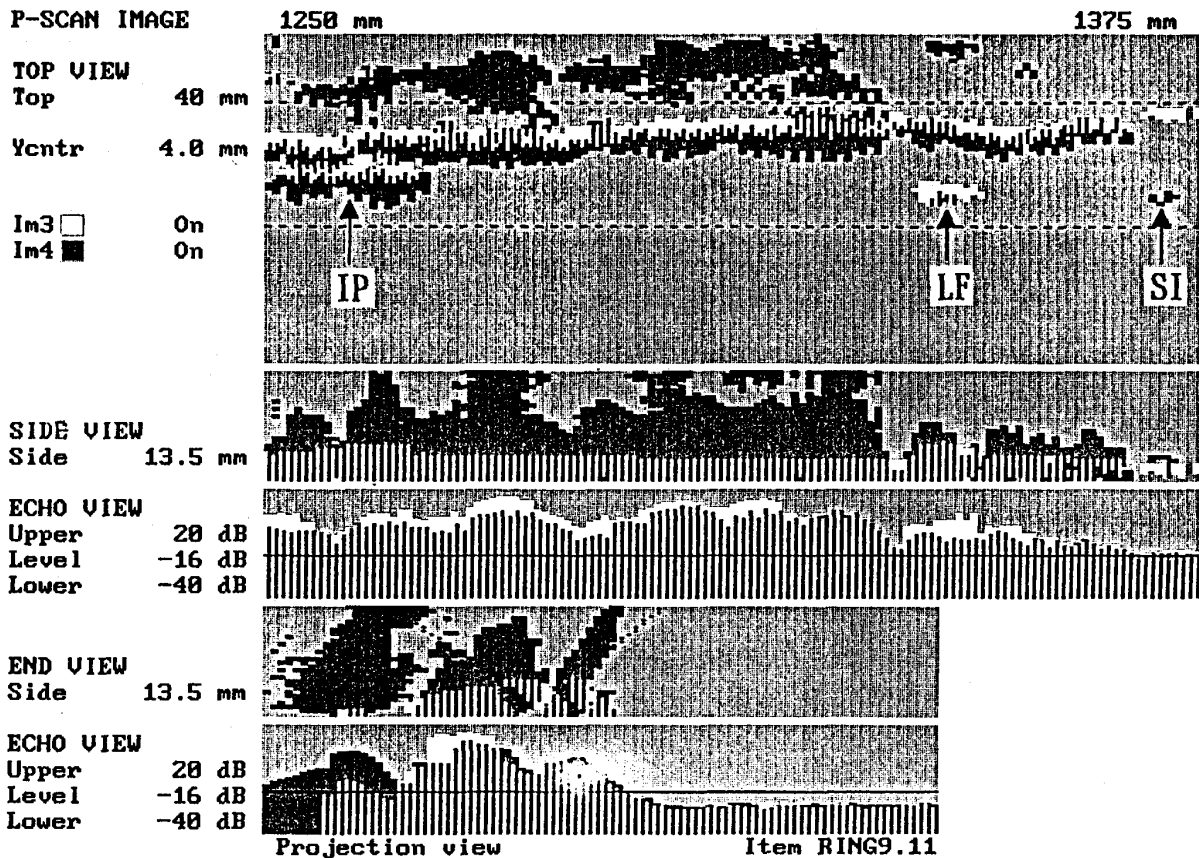


Fig.2 Typical test result of AUT

3.3 IPの検出

表2は、合計50個確認されたIPの内訳である。XRTは2個、AUTは3個、MUTは15個を見落とししている。XRTの2個は、欠陥長さは6mmあるものの、欠陥高さが1mm未満と低いもので、ビードの垂れ込みが大きく、若干の目違いが生じた位置のものであった。一方、AUTの3個は、欠陥長さ・高さとも2mm未満、ビード幅が狭くアンダーカットに近い状態の位置のもので、ビードの形状エコーと判定され棄却されたものであった。

JISのL検出レベル(-12dB)で比較すると、MUTでは35個、AUTでは45個が検出されている。この結果から、IPに関してはAUTとXRTとはほぼ同等であるが、MUTはかなり劣っていると判断される。MUTの見落としの多くは、欠陥エコーを溶接ビードからのエコーと誤認して棄却した事に原因がある。

3 試験結果

3.1 溶接欠陥

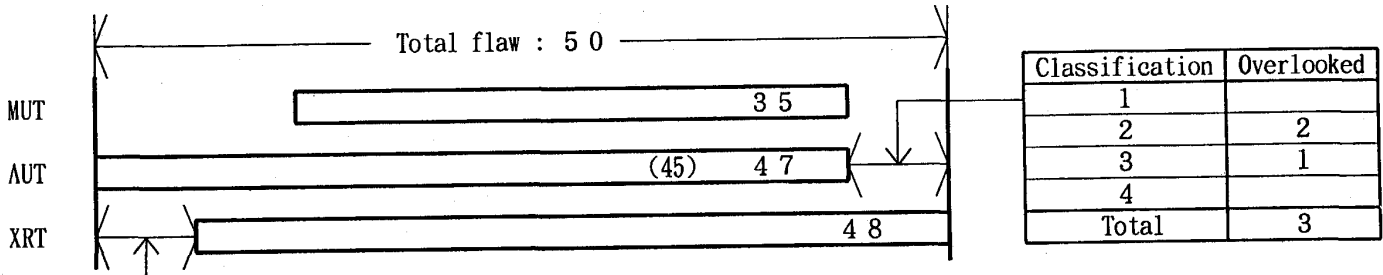
合計265個の溶接欠陥(割れを除く)が確認された。その内訳を表1に示す。この内、XRT、AUT双方で欠陥有りとされたものは、164個であった。

3.2 AUT画像出力の一例

Fig.2はAUT画像出力の一例で、上から、展開図、周方向断面図及びその

Table 2 Comparison of detectability on "IP"

(a) Breakdown list of "IP" flaws detection



Rejection criterion	≥0	≥-6	≥-12	<-12	Total
Undiscerned	1	1			2

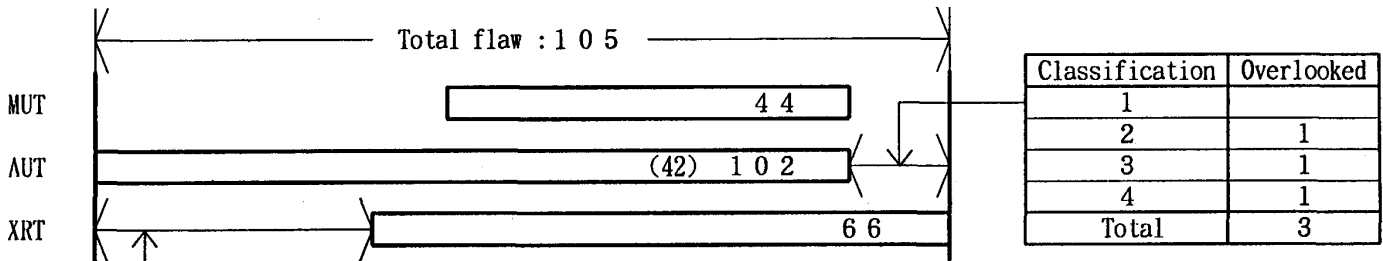
(): detected at JIS L-level

(b) Breakdown list of "IP" flaws detected by AUT and XRT

Classification in XRT	Echo amplitude by AUT (dB)							Overlooked	Total
	≥+12	≥+6	≥0	≥-6	≥-12	≥-18	-18>		
4	16	11	7	3	1	2			40
3			1	1				2	4
2				1	2			1	4
1									
Undiscerned			1	1					2
Total	16	11	9	6	3	2		3	50

Table 3 Comparison of detectability on "LF"

(a) Breakdown list of "LF" flaws detection



Rejection criterion	≥0	≥-6	≥-12	<-12	Total
Undiscerned	1	4	12	22	39

(): detected at JIS L-level

(b) Breakdown list of "LF" flaws detected by AUT and XRT

Classification in XRT	Echo amplitude by AUT (dB)							Overlooked	Total
	≥+12	≥+6	≥0	≥-6	≥-12	≥-18	-18>		
4					12	10	5		27
3				4	2	5		1	12
2				2	3	11	5	1	22
1					2	2		1	5
Undiscerned			1	4	12	18	4		39
Total			1	10	31	46	14	3	105

echo level was calibrated by using φ4 drilled hole of STB-A2

3.4 LFの検出

表3は、合計105個が確認されたLFの内訳である。ほとんどは長さ5mm以下、高さ1mm以下の微小なものであるが、XRTでは40個、MUTでは60個を見落としている。これに対し、AUTの見落としはわずか3個で、LFの検出におけるAUTの優位性が明らかである。

XRTで見落とししたLFは、開口量が小さく、しかもX線の透過方向に対してやや傾いていたため、濃淡差の少ない欠陥像となってしまったものである。AUTでは、L検出レベルで42個を検出して

いるが、半数以上はそれ以下のレベルで検出されている点が注目される。

Fig. 3は、XRTによる欠陥長さと、AUTによる最大エコー高さとの関係を、LFの高さで整理して示したものである。最大エコー高さ欠陥高さにはほとんど相関は認められない。

見落としが許容されていない5mm以上のLFはL検出レベルで確実に検出されている。しかし、全てのLFを検出するためには、検出レベルを-20dB程度まで厳しくする必要がある事が分かる。

3.5 SI, BHの検出

AUTで見落とししたSIは、42個中11個で、そのほとんどは微小でありXRTのJIS1級相当である。一方、XRTで見落とししたSIは16個で、その中には、高さ1mm以下ではあるが、長さが5mm程度のものが3個含まれていた。

BHについては、XRTは68個中5個を見落としただけであったが、AUTは-18dBでも22個を見落としした。この中には、XRTのJIS3, 4級相当のものが各1個含まれており、1・2級も合計20個含まれていた。MUTでは58個が見落とされた事から、0.5mm以下というような微小球状欠陥の検出における超音波法の弱点が明らかである。

3.6 試験結果の総合評価

Fig. 4は、各欠陥の各手法による検出率を示す棒グラフである。3.3~3.5を総合すると次の通りである。

① MUTで見落としが多いのは、探触子の走査上の不確かさ、形状エコーと欠陥エコーとの識別の難しさに原因がある。

② XRTは実用上問題となるほとんど全ての欠陥を検出するが、従来から指摘されている通り、LFの様な体積が小さく、X線の透過方向に対し傾いている欠陥の検出は不得手である。

③ AUTは、全自動スキャナーによる正確な探触子走査、全エコー像の収録・画像表示による欠陥エコー/形状エコーの誤認防止、の2つの効果で実用上問題となるほとんどの欠陥が検出される。ただし、検出レベルをJISのL検出レベルよりも低い-20dB程度にする事が必要で、BHの小さいものは、それでも検出が難しい。

4 結言

人為的に溶接欠陥を導入した大口徑鋼管の溶接部をXRT, MUT, AUTで探傷し、欠陥の種類別に各方法の検出特性を比較検討した。その結果、全自動式探触子スキャナーと、全エコー像を収録する事が出来る自動超音波探傷器とを組み合わせたAUTは、従来のXRTを代替できる見通しが得られた。今後は、XRTで検出されているのもかわらず、AUTで見落としした欠陥の破壊力学的評価などを行い、AUTの実用化を目指したい。

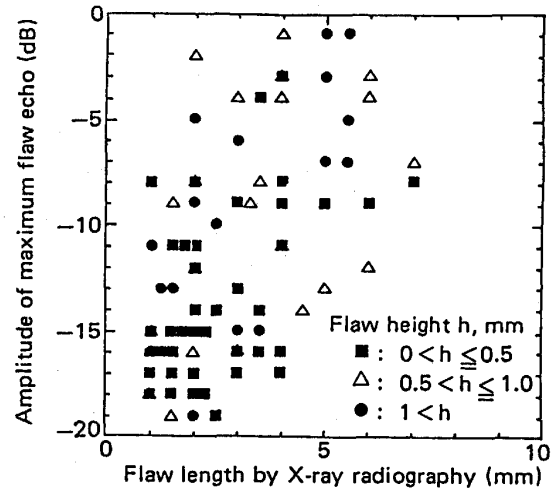


Fig. 3 Relationship between flaw length of LFs and amplitude of maximum flaw echo, where echo level was calibrated by using $\phi 4$ flat bottom hole of STB-A^{*}.

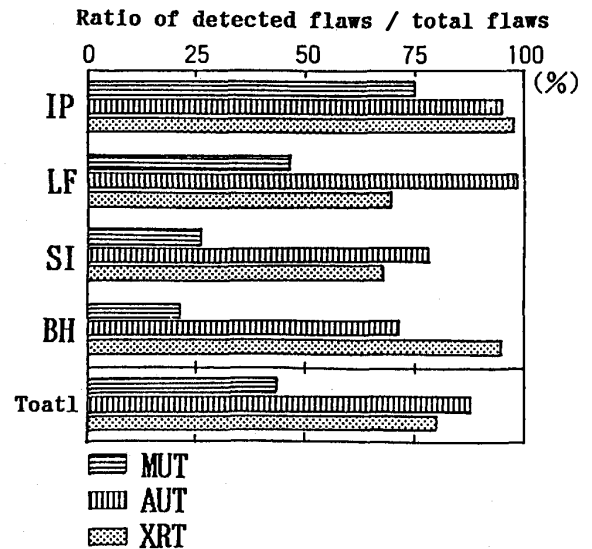


Fig. 4 Ratio of detected flaws / total flaws