

AGCを有しない超音波探傷装置による溶接部の探傷実験

倉持 貢
藤盛 紀明

§ 1. まえがき

最近、溶接部の超音波探傷試験においては、信頼性向上、省力化、高能率化等を目的とした自動探傷装置の開発が各所で進められている。しかし、実用化された装置の自動化の程度は、検査対象物や目的によって千差万別であるのが実状であり、どの装置、どの走査方式、どの記録方式が優れているかの判断は一概につけにくい。

このような背景から日本非破壊検査協会では、昭和51年8月にNDIS 2407「鋼溶接部の超音波自動探傷方法」を制定した。同規格では自動探傷を①走査が機械的に行なわれること、②探傷結果の記録がとれることと定義づけ、自動探傷における探触子の走査方式、記録の方式および装置に要求される機能と性能等について規定した。

溶接部の検査は、現在は一般に手動探傷で行なわれており、自動探傷を使用していくためには両者による探傷結果の関係を明確にしておく必要がある。また、自動探傷の検査基準を作成する場合にも、この関係を明確にしておくことが必要である。

そこで、これまでの実験結果を整理し、AGC (Automatic Gain Control)を有しない、縦方形走査型(全断面検査用)、デジタル記録表示方式の自動探傷装置による探傷結果が、手動探傷結果とどのような対応関係にあるかを述べる。さらにその特徴についても報告する。

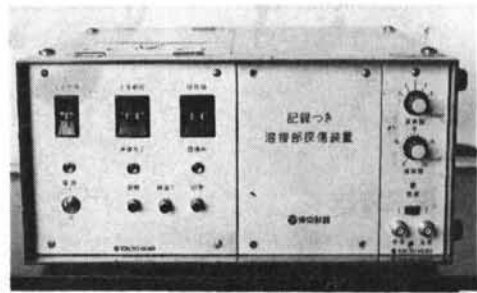
§ 2. 探傷装置および試験体

実験に使用した探傷装置を、表-1および写真-1に示す。探傷器と探触子の組み合わせは電気的な特性を整合させる意味から、自動および手動ともに同一メーカーのものを使用した。

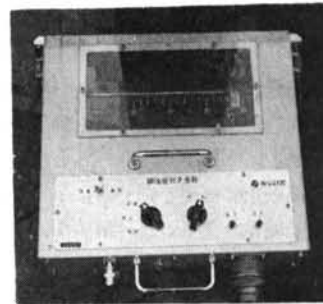
実験に供した試験体は、高温割れが内在する突合せ溶接部である。図-1にその形状・寸法を示す。試験体数は7体で、1体中には大きさ、位置、傾き角などの異な

自動探傷	探傷装置	写真-1参照
	探触子	5Z10×10A70
	走査方式	縦方形走査、直接触法
	走査間隔	1mmピッチで9mmまで可変(1mmごと)
手動探傷	走査範囲	10mm~99mmまで可変(1mmごと)
	信号処理方式	各ゲートごとのエコー高さの最大値を検出し、デジタル表示
	A-D変換	エコー高さ10n%~10(n+1)の時nと印字
	探傷器	SM80D(東京計器製)
手動探傷	探触子	5Z10×10A70
	距離振幅特性	F.S=200mm, STB-A2で作成
探傷者		NDI, UT1級, 経験7年
標準試験片		STB-A1, A2

表-1 探傷装置の概要



(a)本体



(b)走査器

写真-1 超音波自動探傷装置

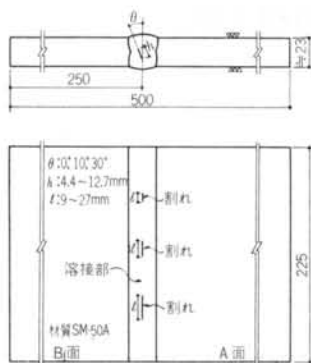


図-1 試験体の形状・寸法

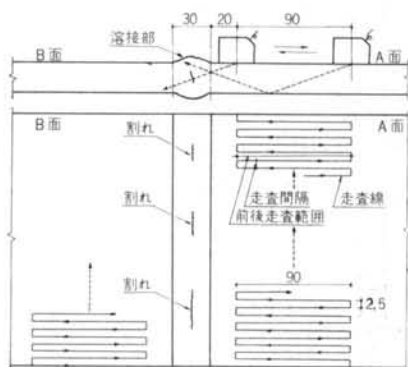


図-2 自動探傷の走査概要

る2～3個の欠陥が挿入されている。欠陥の長さは10mm～30mm程度のものである。

×距離	溶接幅	探触子距離
000	0000000000	0
001	0000000000	0
002	0000000000	0
003	0000113000	0
004	0000120000	1
005	0000120000	0
006	0001310000	2
007	0000543000	0
008	0002620000	2
009	0001643000	0
010	0001320000	2
011	0000213000	0
012	0000113000	1
013	0000113000	0
014	0000000000	0
015	0000000000	0
016	0000000000	0

(a)自動探傷記録



(b)欠陥エコーの包絡線

図-3 自動探傷の結果と手動探傷の結果との関係

自動探傷	走査間隔	2mmまたは5mm
	走査範囲	90mm一定
	溶接幅	30mm
	探傷感度	STB-A2φ4×4mmを印字4,5,8に調整
探傷	接触媒質	グリセリン50%
	探傷方法	片面・両側で、直射および1回反射法
手動探傷	使用規格	JIS Z 3060, 日本建築学会規準
	探傷感度	STB-A2φ4×4mmをH線に調整
	探傷方法	マシン油 片面・両側で、直射および1回反射法

表-2 探傷条件の概要

§ 3. 探査方法

探傷条件の概要を表-2に示す。手動探傷試験は、JIS Z 3060「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」と、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・同解説」の両規格に基づいて実施した。

自動探傷試験は、種々の探傷感度と走査間隔で実施した。すなわち、感度設定はSTB-A2φ4×4mmを用い、走査間隔を1mmの状態に探傷し、その時の最大エコー高さをプリンター記録の印字値で4,5,8となるように調整した。自動探傷の走査概要を図-2に示す。

探触子の走査範囲は、できるだけ溶接部に接近した位置から1スキップまでとし、探傷方向は片面・両側の2方向である。

接触媒質には、自動探傷の場合グリセリン50%を、手動探傷の場合はマシン油を使用した。

§ 4. 記録の判読法

マルチプル制御ゲートを用いたデジタル記録は、放射線透過写真ほどの直観性はないが、エコー高さを数値で読みとれるとともに、手動探傷でとる記録と同様の記録がとれる便利さがある。すなわち、図-3(a)に示す記録結果は、左側の縦列の印字が溶接線方向の探触子の位置を、中間の印字が平面的な試験範囲(溶接部)を、右側の印字が基準線からの探触子距離を示している。

したがって、欠陥は図中の実線で囲まれた数値群で示されるから、欠陥の溶接線方向の位置は3mm～13mmの範囲に、溶接幅方向の欠陥位置は最大印字を示すゲート番号位置で示されるから、溶接幅のほぼ中央と判読される。欠陥の最大エコー高さは最大印字値で示され、この場合、印字6である。欠陥指示長さの測定方法は、JIS規格では基準感度の $\frac{1}{4}$ (L線)以上を、建築学会規準では最大エコー高さを $\frac{1}{3}$ (-10dB)以上を示す移動範囲であ

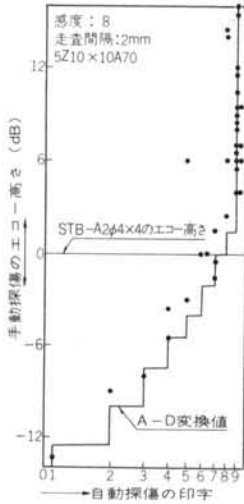


図-4 自動探傷の最大印字と手動探傷の最大エコー高さの関係

り、この関係は図-3(b)となる。ただし、自然欠陥のエコー高さの包絡線は一般に複雑であるから、欠陥の始・終端で同じ指示長さ測定レベルの印字値があるとは限らない場合がある。このときは、欠陥指示長さ測定レベルを越える最小の印字範囲を欠陥指示長さとした。

§ 5. 実験結果および考察

探傷結果にもとづいて、最大エコー高さ、欠陥指示長さおよび等級分類について、自動探傷による結果と手動探傷による結果を整理・検討した。

5.1 最大エコー高さ

自動探傷の走査間隔を2mmとした場合の最大印字値と手動探傷の最大エコー高さの関係を図-4に示す。縦軸は、STB-A2φ4×4mmのエコー高さを基準(H線またはC線)とした場合の手動探傷の最大エコー高さを、横軸は同一欠陥を自動探傷した場合の最大印字値を示す。図中のA-D変換値は、使用装置によって実際に得られた特性をデシベル表示したものである。

図から分るように、自動探傷の最大印字値は、手動探傷のそれよりも低くなる場合があり、必ずしも一致しない。同一印字におけるエコー高さの差は2dB~14dBの範囲である。1個のみ9と印字すべきもので5と印字されたものがある。

自動探傷の最大印字値と手動探傷の最大エコー高さの差(A-D変換値)は、図-5に示すように、印字値に

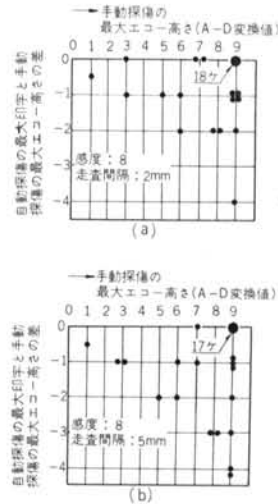


図-5 自動探傷と手動探傷のエコー高さの差

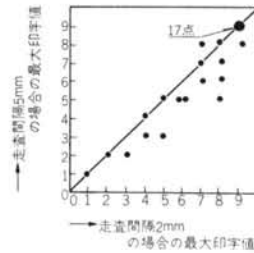


図-6 走査間隔2mmと5mmにおける最大印字の関係
して1~2程度がほとんどである。

走査間隔が5mmの場合には、図-6に示すように走査間隔が2mmの時よりもさらに最大印字値が小さくなる。

しかしながら、手動探傷で検出される欠陥は自動探傷でも全て検出、印字されており、またエコー高さが0~10%の低いものも必ず印字されるので、手動探傷でありがちな小欠陥の見逃しはない。さらに、この実験は走査間隔や探傷感度を変化させた6回の探傷を繰返しており、この間ではほぼ安定した再現性のある記録が得られている。

欠陥の傾き角に起因した両者の差異はほとんどない。エコー高さの差異は探触子の位置、方向、接触圧力および探傷速度などによるものと考えられる。すなわち、溶接自然欠陥の最大エコー高さを示す探触子の方向は、溶接線に対して直角とならない場合が多く、手動探傷では首振り走査を含む複合的な走査を行なうが、本実験に使用した自動探傷装置では一定速度で、しかも定められた走査線上を常に一定方向に音波を向けて探触子を走査する。また、手動探傷の精密探傷においては、探傷面の条件に合わせて探触子の接触圧力を任意に変えることがで

走査間隔	補正感度	
	周波数 5MHz	周波数 2MHz
1 2	0 dB	0 dB
3 4 5 6	2 dB	2 dB
7 8 9	4 dB	4 dB

表-3 直角走査における走査間隔と補正感度

きるが、自動探傷では常に一定の圧力が探触子に加えられる等である。そのため、自動探傷で得られる欠陥エコー高さは、常に手動探傷のそれと同じか小さい。

接触媒質の相違による差異も考えられるが、本実験では探傷面の仕上げ状態(▽▽▽)、探傷姿勢(下向)、記録結果の再現性などから判断して、両者の伝達特性の相違や油膜切れなどに起因するエコー高さの変化は少ないと考えられる。ただし、自動探傷で用いられる接触媒質の種類と濃度については、探傷面のあらさや探傷姿勢、または探触子の接触圧力や探傷速度などを総合した検討が必要である。

走査間隔と感度補正量との関係は既に文献⁴⁾で報告した。その結果は表-3のようであり、走査間隔5mmのエコー高さに2dBを補正すると、図-7はバランスのとれた対応関係となる。

5.2 欠陥指示長さ

自動探傷による欠陥指示長さと、手動探傷による欠陥指示長さの関係を図-7、8に示す。縦軸は自動探傷による欠陥指示長さ、横軸は手動探傷による欠陥指示長さである。

図-7に示すように、JIS規格のL線以上を欠陥指示長さとする方法は自動探傷に適用した場合でも極めて良く一致させることができる。ただし、走査間隔が5mmの場合には手動探傷の欠陥指示長さよりも若干短かく測定されるため、補正が必要である。ここでは、JIS L線法で測定される範囲に走査間隔を加えた値を、自動探傷の欠陥指示長さとして表示した。このようにすれば、両者の相違は±5mm程度である。

建築学会規準では、最大エコー高さの1/5以上のエコー高さを示す範囲を欠陥指示長さとしているが、本方法を自動探傷に適用すれば常に過大評価となる。この理由は、5.1に示した自動探傷で得られる最大エコー高さは手動探傷のそれよりも若干低いという結果から明白であ

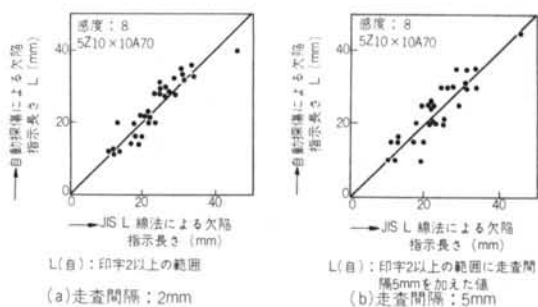


図-7 自動探傷と手動探傷の欠陥指示長さの対応 (JIS)

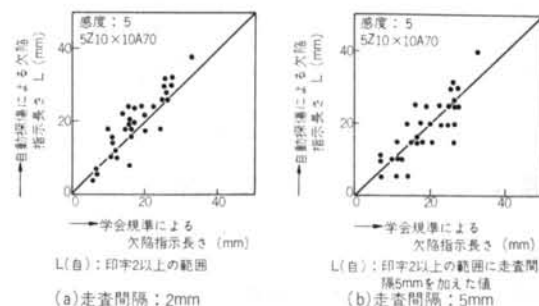


図-8 自動探傷と手動探傷の欠陥指示長さの対応 (建築学会)

る。また、最大印字値が5以下または9以上となる場合は、欠陥指示長さ測定レベルが明確となるように再調整しなければならない。そのため、図-8ではJIS規格と同様な方法によった場合の結果を示した。すなわち、探傷感度を印字5とし、欠陥の最大エコー高さに無関係に印字2以上を欠陥指示長さとした。JIS規格を適用した場合の結果よりも若干ばらつくが、ほぼ良い一致度と考えられる。

走査間隔と読み取り精度については、さらに検討が必要である。

5.3 等級分類

図-9~図-12は、JIS Z 3060と建築学会規準による手動探傷の等級分類と自動探傷による等級分類の関係である。これらは全てM検出レベルの場合で、基準感度を印字5または8に設定した自動探傷では、それぞれ印字3以上または4以上の欠陥を評価の対象とした。したがって、検出レベル以下となる欠陥の等級分類は0級(0点)とした。

図-9、10はJIS規格および建築学会規準の等級分類表をそのまま適用した結果である。JIS規格との対応では、自動探傷による結果が手動探傷による結果よりも過小評価となる。手動探傷の4級の欠陥が自動探傷で3級となる理由は、主に最大エコー高さが一致しないためであるが、中には領域表示が一致し、かつ欠陥指示長さの

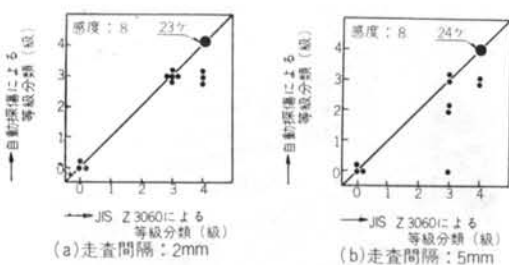


図-9 JIS規格による自動探傷と手動探傷の等級分類の対応

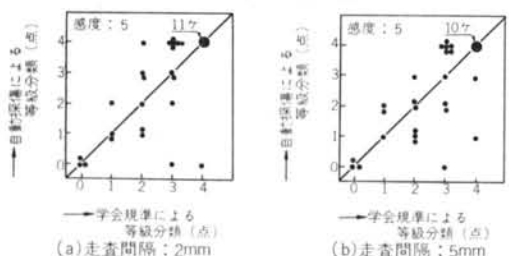


図-10 学会規準による自動探傷と手動探傷の等級分類の対応

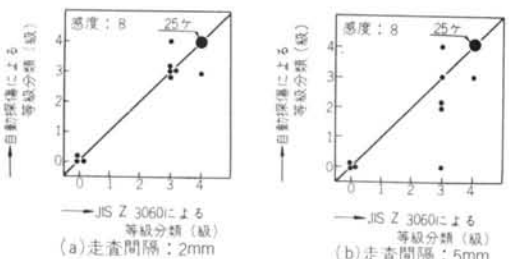


図-11 JIS規格による自動探傷と手動探傷の等級分類の対応

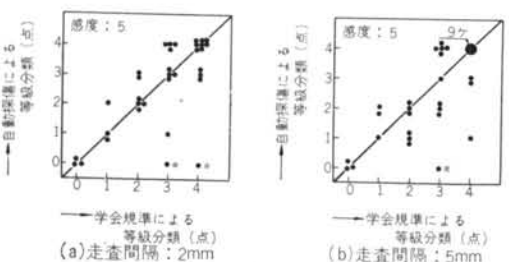


図-12 学会規準による自動探傷と手動探傷の等級分類の対応差が2mmであってもその長さが等級分類表の境界であるために差が生じたものも含まれる。建築学会規準を適用した場合の対応は、JIS規格との対応よりも悪くなる。手動探傷による2、3点の欠陥を自動探傷で4点とした理由は、欠陥指示長さの差によるものが多い。また手動探傷による4点の欠陥を自動探傷で0点としたものは、自動探傷と手動探傷の接近限界距離の違いに起因する最

大エコー高さの差異によるものである。

したがって、図-11, 12では領域表示を補正した結果を示した。すなわち、JIS規格を適用する場合は印字4、5、6のみを領域Ⅲとし、建築学会規準を適用する場合はすべて領域Ⅱとして等級分類した結果である。このようにすれば、図-12の※印の欠陥を除けばバランスのとれたよい対応が得られる。

5.4 結果のまとめ

探傷結果を要約すると以下のものである。

- ①手動探傷で検出された欠陥は、自動探傷でも必ず印字される。
 - ②最大エコー高さは、自動探傷の方が手動探傷よりも低くなる。
 - ③JIS Z 3060のL線を用いる欠陥指示長さ測定法は、自動探傷でも同様な方法で容易に利用することができる。
 - ④走査間隔が5mmの場合には、幾分感度を上げる必要がある。
 - ⑤自動探傷の印字値が小さくとも、指示長さの長い欠陥は評価の対象とする必要がある。
- 以上のように、自動探傷の結果と手動探傷の結果はほぼ一致させることができるが、自動探傷を実施する場合には、その特質を考えた独自の使用法または探傷基準を定める必要があると考えられる。

§ 6. あとがき

AGCを有しない縦方形走査型、デジタル記録方式の自動探傷装置による最大エコー高さ、欠陥指示長さ、等級分類を手動探傷試験との関連において述べた。本実験は割れを対象にしたものであり、さらにその他の欠陥についても同様の検討が必要であろう。

溶接部の自動探傷は、手動探傷の欠点を補足することが第一であり、この意味においてAGCを有しない装置でも信頼できる性能を有していると同時に、現行規準に準じた探傷が可能であると考えられる。すでに、本装置は工場および現場溶接部の探傷に適用されている(写真-2, 3参照)。

素人でも探傷できる装置の開発・普及は今後とも大いに望まれるが、自動探傷といえどもそれを取扱う人間とのコミュニケーションを密接にする必要がある。自動化されればされる程、コミュニケーションのポイントを明示し注意を喚起しなければならない。



写真-2 現場溶接部の探傷風景

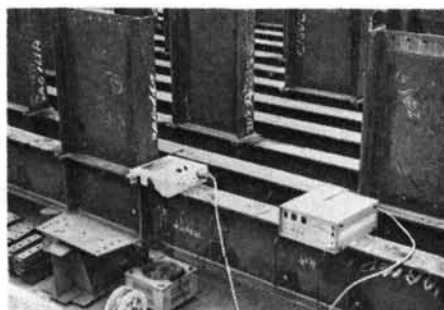


写真-3 工場溶接部の探傷風景

最後に、実験に協力された東京鉄骨橋梁製作所の城島保茂氏に謝意を表す。

〈参考文献〉

- 1) 藤盛他：“記録つき鋼構造物の溶接部超音波自動探傷装置について（その1，2，3）” NDI 第2分科会資料
- 2) 藤盛他：“ポータブル自動超音波探傷器の鉄骨溶接部および鋼管溶接部への応用” NDI 非破壊検査の自動化に関するシンポジウム 昭和50年10月
- 3) 太田他：“記録つき鋼溶接部の超音波自動探傷装置について” 非破壊検査 Vol. 24, No. 11
- 4) 高橋他：“超音波探傷試験における走査間隔と感度” NDI 第2分科会資料