

5 最近の自動超音波探傷試験システム

自動超音波探傷について、NDIS 2407 では①走査が機械的に行われること。②探傷結果の記録がとれること。と定義つけられている。初期の自動超音波探傷は機械的に行なった探傷走査の結果、得られたAスコープエコー高さをそのままアナログ量として記録するか、またはエコー高さをデジタル量として表示する方法がとられており、欠陥のイメージが掴みにくい面があった。

最近ではイメージング技術の進歩により、これらの探傷データをコンピュータに自動収録し、瞬時に加工処理を行い、画像記録表示も可能となってきている。

本部会で検討した自動超音波探傷試験システムは走査制御と欠陥データの画像表示および位置情報等の記録表示をできるものとした。

一般的な自動超音波探傷試験システムの機能構成ブロック図を図5-1 に示した。

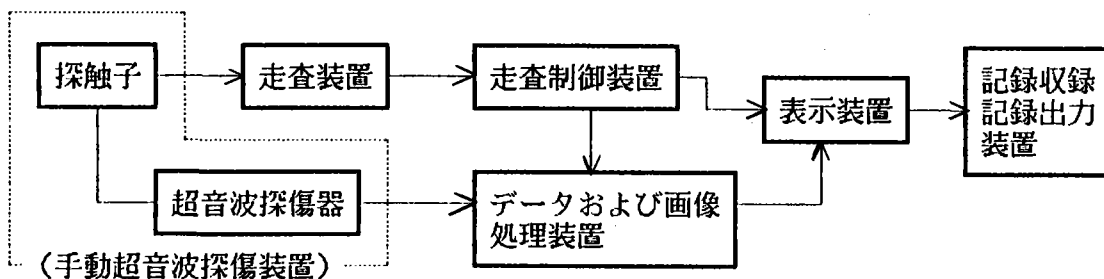


図5-1 自動超音波探傷試験システムの基本構成ブロック図

板継ぎ溶接継手を対象とした超音波探傷試験の探触子は、前述した理由により斜角探触子（屈折角60,70°）とした。超音波探傷器の出力には下記の方式がある。（*5）

- ① オンオフ信号出力：エコー高さが予め設定した値（以後しきい値と称す）以上となると一定時間電圧または電流信号として出力する。
- ② アナログ信号出力：エコー高さに比例した電圧または電流を信号として出力する。
- ③ デジタル信号出力：エコー高さを量子化してエコー高さを数値として出力する。

これらの信号が各システムの方式に応じてデータおよび画像処理装置に取り込まれる。

（1）自動探傷走査

超音波探傷の探傷走査はJIS Z 3060(1988)に斜角探触子の走査方法について定義されているが、自動超音波探傷試験では一般的に前後走査と左右走査を組み合わせた縦および横方形走査が行われる。図5-2 に縦方形走査方法を示した。走査ピッチの大きさは欠陥の検出度と検査効率に影響する。これらを同時に解決するため欠陥の有無を調べるための探傷ピッチの比較的大きい標準探傷と欠陥の大きさを測定するためのピッチの小さい精密探傷へ

瞬時に切り替える機能を持たせているシステムが多い。

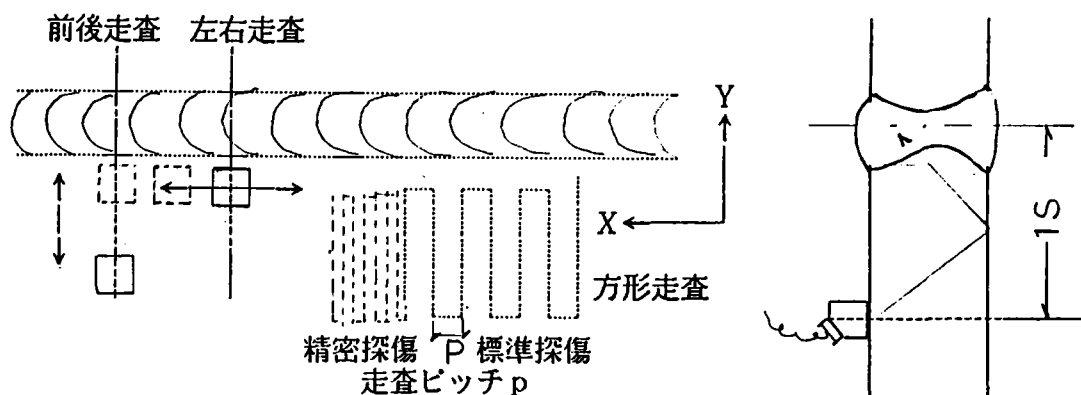


図5-2 自動超音波探傷試験システムの縦方形走査方法

X方向の走査は一般にレール上をラックピニオン制御の走行台車により、Y方向走査は走行台車に搭載したスキャナーで行い、走査制御装置でX、Yの位置情報を同期的に処理する。データ処理装置は、走査制御装置から得られる位置情報と探傷器から得られる欠陥エコー高さ情報およびビーム路程と、予めインプットされたX（溶接継手方向位置）、Y（溶接継手直角方向位置）および板厚方向位置（深さ）等の基準位置から欠陥座標を算出し、欠陥エコー高さと対比させてデータ出力するものである。

(2) 画像処理

超音波探傷試験における欠陥を単にエコー高さとして表示するだけでなく、画像として表示するには前述したオンオフ信号で出力し、オン信号のみを記録することにより可能である。そのためには欠陥のエコー高さをオンオフ信号に切り替えるための「しきい値」を設定する必要がある。一般に、しきい値は距離校正曲線のL検出レベルまたは1/2 L検出レベルを用いる。

画像処理として、探傷部の断面図形を表示するBスコープ表示と探傷部を探傷面からの平面図形で表示するCスコープ表示がある。Bスコープには溶接継手の縦断面で表示するBスコープ（以下BスコープSとする）と溶接継手の横断面で表示するBスコープ（以下BスコープFとする）とがある。

斜角探傷におけるA、B、Cスコープ表示記録の例を図5-3に示した。これらの画像処理の原理を図5-4に示した。

画像の寸法形状は超音波ビーム束の大きさ、しきい値および画像処理の最小ピッチ等によって異なる。一般的には画像寸法は実欠陥寸法に比べて誇張されて表示される場合もあるがJIS Z 3060の欠陥指示長さとは変わることはない。画像は欠陥の位置および形状を直

感的に認識することが主体であり、欠陥の指示長さは原則的にはエコー高さにより決定し位置座標情報等と共にリストアップされる。しかしながら余盛ビード等の妨害エコーと欠陥エコーの分離解析にはCおよびBスコープが重要な役割を果たす。これらについての詳細は後述する。

無欠陥の場合記録用紙には探傷条件の記述以外全く白紙状態となるため、探傷軌跡かカップリング状態（超音波が母材に確実に入射しているかどうか）を記録する場合もある。

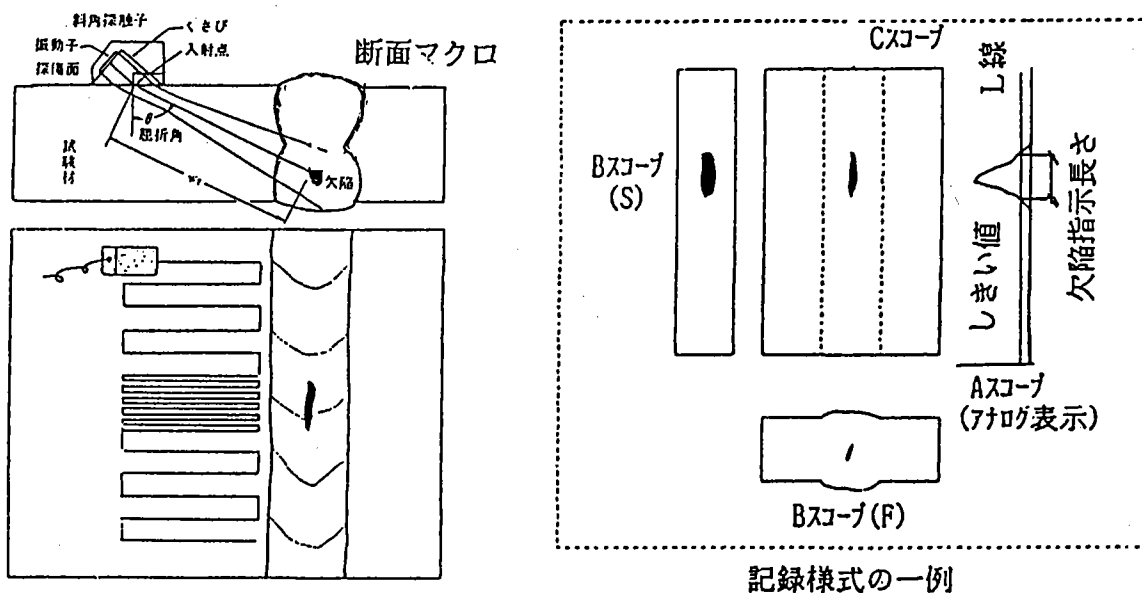


図5-3 A, B, Cスコープ表示記録の例（余盛ビード等の妨害エコーのない場合）

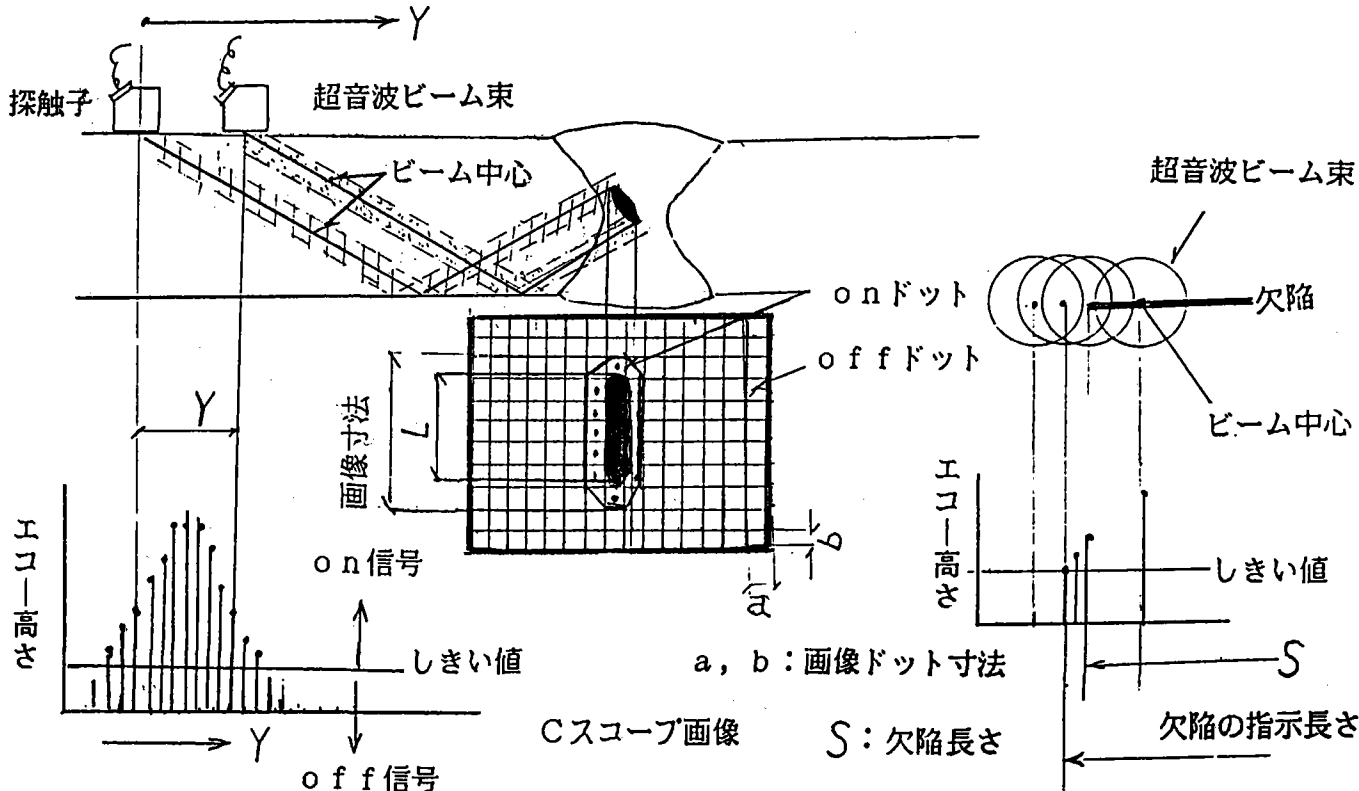


図5-4 画像処理と画像寸法の原理

板継ぎ溶接継手は余盛付きの状態では斜角探傷を行うため、余盛ビードによる妨害エコー除去を行った上、画像処理を行わないと、画像の判別が非常に紛らわしくなる。

図5-5 に妨害エコーの除去処理を行わない場合のCスコープ像の例を示した。

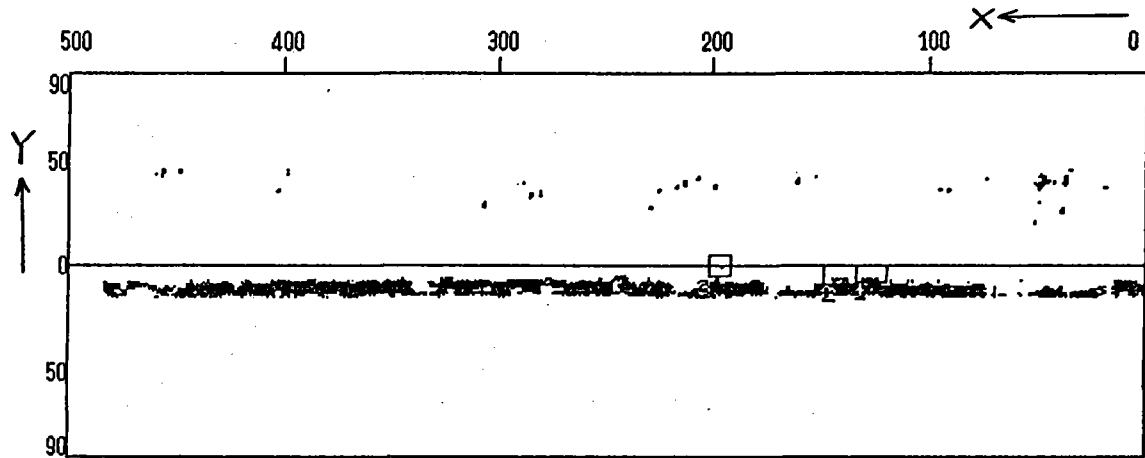


図5-5 余盛ビード妨害エコー除去処理をしない場合のCスコープ像（1A3.SA:L検出）
（□部が妨害エコー除去処理をした欠陥リストによる欠陥像）

余盛ビード等の妨害エコー除去処理とは、予めパソコン等のデータ処理装置に図5-6 に示すように、データ有効範囲を指定し、その範囲以外のデータを切り捨てる処理を行なうことである。この場合重要なのは α を出来るだけ小さくし探傷不能範囲を少なくすることである。

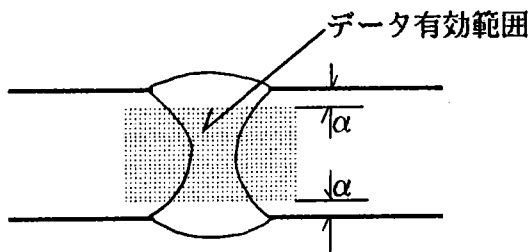


図5-6 妨害エコー除去範囲
（ α ：ビームの拡がりによる反射エコーを除去しようとするとき、 $\alpha=3 \sim 5\text{mm}$ となる場合もある。）

(3) DACおよびゲート機能

自動超音波探傷においては、手動探傷のように距離振幅特性曲線を用いたエコー高さ区分線および領域区分を用いられないので超音波探傷機のDAC機能に頼らざるを得ない。

DAC機能は距離振幅特性曲線に近似的な直線（DAC起点値と調整点における傾斜値をもった直線）を用いることになるので、ビーム路程（時間軸）は必要最小限の範囲で設定することが必要である。

ON-OFF信号を取り出すための「しきい値」はゲート機能で設定される。

(4) 等級分類

欠陥が単独に存在している場合、単独欠陥をデータ処理装置で検出レベルに応じて欠陥指示長さを算出し、エコー高さ領域を加味して等級分類し、合否の判定を行うことは難しいことではない。しかしながら、多数の欠陥または混在欠陥がある場合、これらの欠陥を同一欠陥と見なすかどうかを自動判定し、それに基づき等級分類を行うことは難しい。

放射線透過試験では図5-7に示すように、ブローホール等の第1種欠陥の場合は指定した視野内 ($t < 25:10 \times 10$, $25 \leq t < 100:10 \times 20$) の欠陥点数の総和、スラグ巻込みは欠陥と欠陥の間隔が大きい欠陥寸法以下の場合欠陥長さの総和、および溶込み不良、融合不良は間隔が大きい欠陥寸法の2倍以下の場合欠陥長さの総和と規定されている。

放射線透過試験は得られる欠陥情報は平面像であり、同一欠陥かどうかは欠陥の平面的位置関係で決まり、欠陥の深さは関係ない。

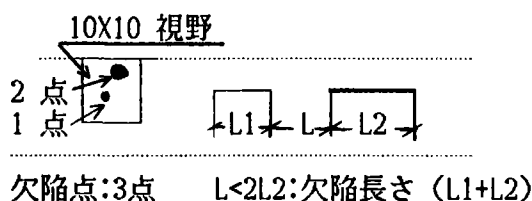


図5-7 放射線透過試験における同一欠陥の判定

一方、超音波探傷の場合、JIS Z 3060では「同一と見なされる深さにおいて欠陥と欠陥の間隔が大きい方の欠陥より短い場合は同一欠陥と見なし、それらの間隔を含めて連続した欠陥として扱う」と規定されているが、かなり曖昧な表現となっている。

建築学会の超音波探傷検査規準では、「同一断面内の欠陥群で深さ方向の位置が同一とみなされ、かつ欠陥と欠陥の間隔が長い方の欠陥指示長さ以下の場合同一欠陥群とみなし、その欠陥評価長さは、それらの欠陥の欠陥指示長さと間隔の和とする」と規定され、同一断面および同一深さに対して図5-8に示すように明確に規定されている。

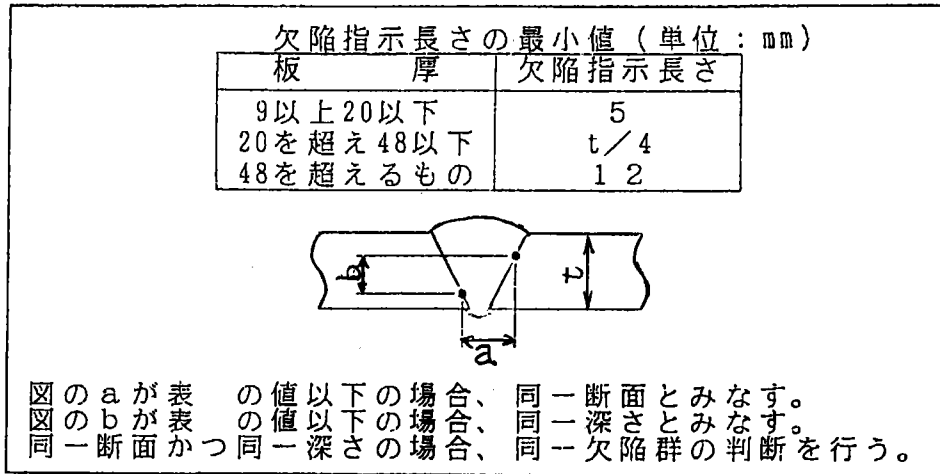


図5-8 建築学会「鋼構造建築溶接部の超音波探傷検査規準・同解説」による同一断面、同一深さの定義

自動超音波探傷システムにおいて、これらの規定に則り同一欠陥かどうか、判別し同一欠陥であれば欠陥間隔も含めて欠陥指示長さを自動的に算出して等級分類できるソフトを持つものはない。しかしCRT上のCスコープまたはBスコープの欠陥をオペレータが囲みを作り、その範囲内の欠陥を同一欠陥とみなし、等級分類を自動処理している例はあるが、いずれにしても人手と人の判断が入ることになる。

厳密な意味でJIS Z 3060の等級分類に従うとすれば（同一深さの定義が不明確であるが）リストアップされた欠陥指示長さおよび位置データにより技術者が判断する必要があり、等級分類の自動算出および自動合否判定とは言えない。

現状では、混在欠陥等が同一欠陥かどうかの判別は下記の方法が考えられている。

- ① Aスコープエコー高さにより、全ての個別欠陥の指示長さおよび位置情報をリストアップし、これらのデータを基に技術者が再度同一欠陥かどうか判断し、等級分類する方法（同一深さの定義をどうするか。建築学会規準、阪神高速道路公団検査要領等）
- ② 放射線透過試験と同様にCスコープによる平面像を基に欠陥の間隔が大きい方の欠陥寸法以下の場合には同一欠陥とみなし（JIS Z 3060）、それに対応するAスコープ欠陥データを基に再度等級分類を行う方法。

いずれにしても、自動超音波探傷システムとしては、同一欠陥群のグルーピングとその等級分類をJIS Z 3060に準じて、自動的に行うためには、今後、明確なグルーピングの定義とそれに基づくソフトの開発が必要である。

(5) 探傷不能範囲

板継ぎ溶接継手の板厚は一般的に板厚9～50mm程度の範囲であり、図2-2に示したような板厚差（板厚差がある程度以上はテーバ付き）のある継手があり、余盛ビード付きの状態では探傷する。従って屈折角70°、斜角一掃触子法による片面両側探傷（0～1.0スリップ）では、探触子の接近限界長さ、板厚および余盛ビード幅の関係により探傷不能範囲ができる場合がある。ビーム中心に注目した場合の探傷不能範囲の理論図を図5-9に示した。

研究会メンバーの13工場の板継ぎ溶接方法における板厚と平均ビード幅を報告して貰い理論探傷限界直線と重ね合せた結果を図5-10に示した。

標準的な接近限界長さ(N=15mm)の屈折角70°の探触子では約半数の工場において板厚12mm以下では理論的な探傷不能域が存在することになることが分かった。

しかしながら、超音波ビームには拡がりがあり、ピークエコー位置および領域にこだわらなければ、実際の探傷不能範囲は無視できると考えられるが、今後の検討が必要であると思われる。

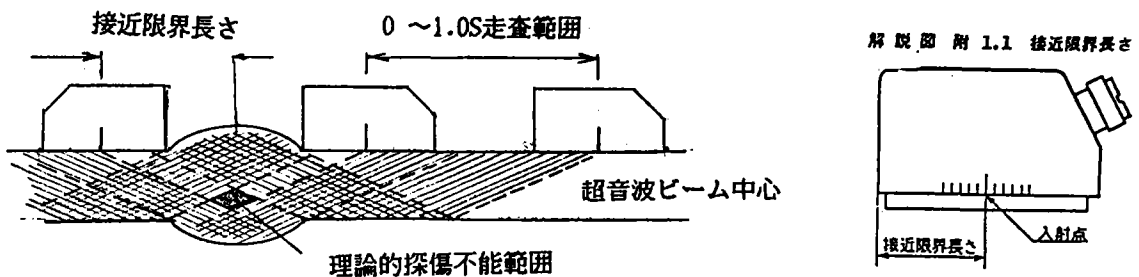


図5-9 片面両側探傷における理論的探傷不能範囲(ビーム中心)

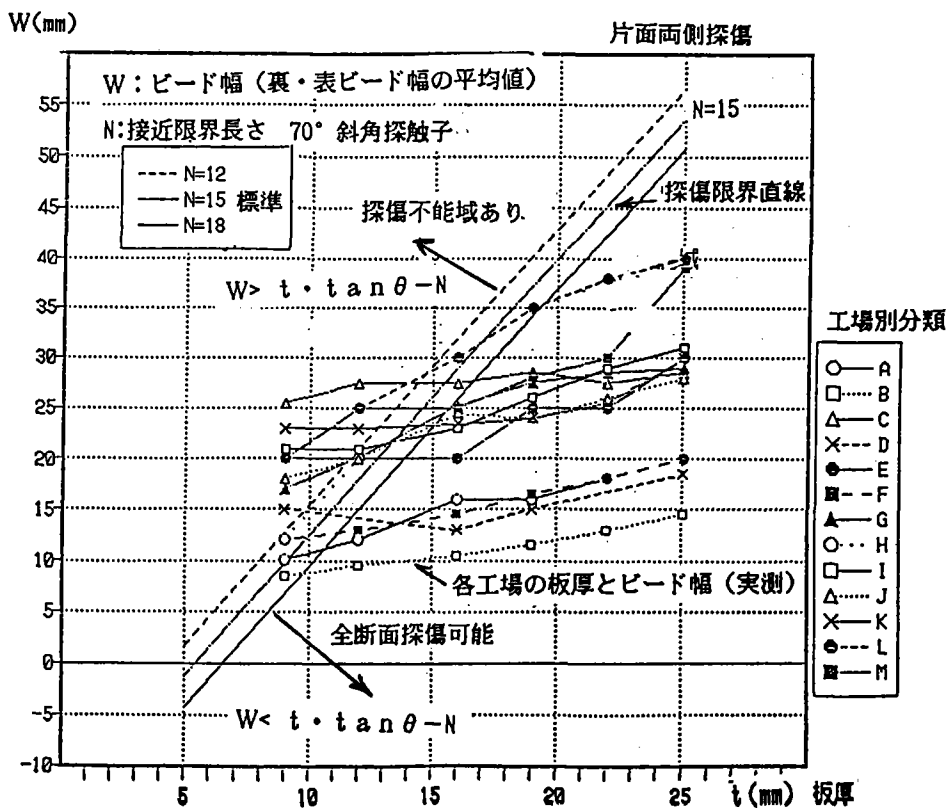


図5-10 13工場での板厚と余盛幅の関係と理論的探傷限界

(6) 検査条件および欠陥データ表示項目

① 検査条件表示項目

自動超音波探傷試験システムでは、探傷範囲のデータを全て取込み、フロッピー等に一旦収録し、パソコン等でデータ処理と画像処理を行い、欠陥データのみを表示するためのデータ加工を行うことになる。従ってパソコン等で算出基準となる継手条件および超音波探傷条件を試験計画書または試験報告書等で明確にしておくことが重要である。

下記に板継ぎ溶接継手の一般的な検査条件表示項目を示す。

イ)システム名称

ロ)超音波探傷器の名称、探傷法、探触子種類、探傷面および探触子数

ハ)オペレータの氏名、資格等

ニ)継手形状図：板厚（ $a \times b$ ）、開先形状（ベベル角、開先深さ等、面合せ位置、板厚テーパの有無等）

ホ)探傷ピッチ（標準探傷、精密探傷）および探傷範囲（探傷可能範囲と探傷不能範囲）

ヘ)妨害エコー除去等の範囲（有効データ範囲）

ト)感度調整記録および検出レベル（しきい値）

チ)等級分類方法（特に多数欠陥および混在欠陥のグルーピングの方法）

リ)その他特殊処理の説明

② 欠陥データ表示項目（試験記録）

自動超音波探傷試験結果を示す記録は画像と欠陥画像に対応する欠陥データリストとする。

イ)画像はCスコープおよびBスコープ（S）を標準とし、参考として必要に応じてBスコープ（F）を表示する。表示記録は欠陥の有無に拘らず、探傷継手全長について記録する。

ロ)欠陥の有無に拘らず、探傷継手全長についてカップリング記録または走査軌跡記録を表示する。

ハ)欠陥の指示長さおよび等級に関係無く、しきい値（検出レベル）を超えた欠陥データは画像および欠陥データリストに記録する。

ニ)Cスコープ欠陥像はCスコープ記録上に欠陥番号を付し、欠陥データリストと対応できるように表示する。

お)欠陥データリストは少なくとも下記のデータを欠陥毎にリストアップする。

- 欠陥番号 (Cスコープとの対応)
- ピークエコー高さ
- ピークエコー位置での座標 (XおよびY)
- ピークエコーでのビーム路程
- ピークエコー位置での欠陥位置 (欠陥深さZとビード中心からの距離d)
- 欠陥のスタートおよびエンドの位置 (X位置)
- 欠陥指示長さ
- ピークエコー領域
- 等級分類および合否判定結果 (JIS Z 3060による)

その他必要に応じてスキップ数、探触子番号または探傷面等を表示する。