

7 自動超音波探傷試験システムの課題とその対応策

板継ぎ溶接継手の非破壊検査は現在全て放射線透過試験が行われているが、平成2年度版道路橋示方書15.3.3(12)において「十分な資料を有する場合は、放射線透過試験のかわりに超音波探傷試験を用いることができる。」と規定されている。

同示方書解説において「超音波探傷試験と放射線透過試験とは欠陥の検出方法が異なっており溶接欠陥に対して必ずしも同じ評価にはならないが、引張応力を受ける溶接部はJIS Z 3060の2級以上、圧縮応力をうける溶接部は3級以上を合格とし、両者の試験要領を便宜上合せている。ただし両試験の等級分類の許容寸法の決め方が必ずしも同じではないので適用にあたっては試験の特徴を十分理解しておく必要がある。」と記されている。

また、自動超音波探傷試験については「JIS に規定されていないのでその使用にあたっては、欠陥の検出精度とその信頼性等についてJIS 規格を満足できることを確認する必要がある。」と解説されている。

これらの知見に基づきサブマージアーク溶接を主体とした板継ぎ溶接継手への自動超音波探傷試験の適用について、板継ぎ溶接継手の欠陥とその防止作業条件、過去の実験結果およびデータを基にした両試験方法の比較、現在実用されている自動超音波探傷試験システム、および手動超音波探傷試験による自然欠陥探傷試験を行い、欠陥の検出精度およびその信頼性の確認を行った。

各自動超音波探傷試験システムの探傷試験結果の集約は図6-3 のRTとUTの等級対比となるが、合否合致率は自動超音波探傷システムのみによる場合65.5%、手動超音波探傷による場合が65.3%と全く同じであり、全体的には自動超音波探傷は、JIS Z 3060を満足していると考えられる。合否対応をしなかったデータ(34%)も、その半分はRT合格UT不合格(16%)であり、半分がRT不合格UT合格(18%)であり、いずれかが不合格とした欠陥は断面マクロ試験において欠陥の存在が確認されている。従って自動超音波探傷試験の欠陥検出度は、少なくとも欠陥等級分類上からは放射線透過試験と同程度であると考えられる。

しかしながら、余盛のある板継ぎ溶接継手の自動超音波試験において、今後解決していかなければならない課題が幾つかある。これらの課題のうち重要なものは、①余盛ビードによる妨害エコーの排除 ②板継ぎ溶接継手の重大な欠陥である高温割れおよび溶込み不良の検出率の向上である。

これらについての対応策を以下に提言する。

(1) 自動超音波探傷試験における妨害エコー除去システムについて

自動超音波探傷試験システムにおいては、必要な探傷範囲内のエコーデータはその他の位置データ等と共に、全てフロッピー等に収録される。

これらのエコーデータには欠陥エコーの他、裏表の余盛ビードの反射エコー、疑似エコー等の妨害エコーが含まれており、原則として余盛ビード仕上げのない板継ぎ溶接継手の超音波探傷試験では欠陥エコーと妨害エコーの分離が重要な課題である。

今回紹介したシステムにおけるデータ取込みから画像処理および欠陥リスト作成の手順を代表的なシステムの例で示すと概略図7-1の通りである。

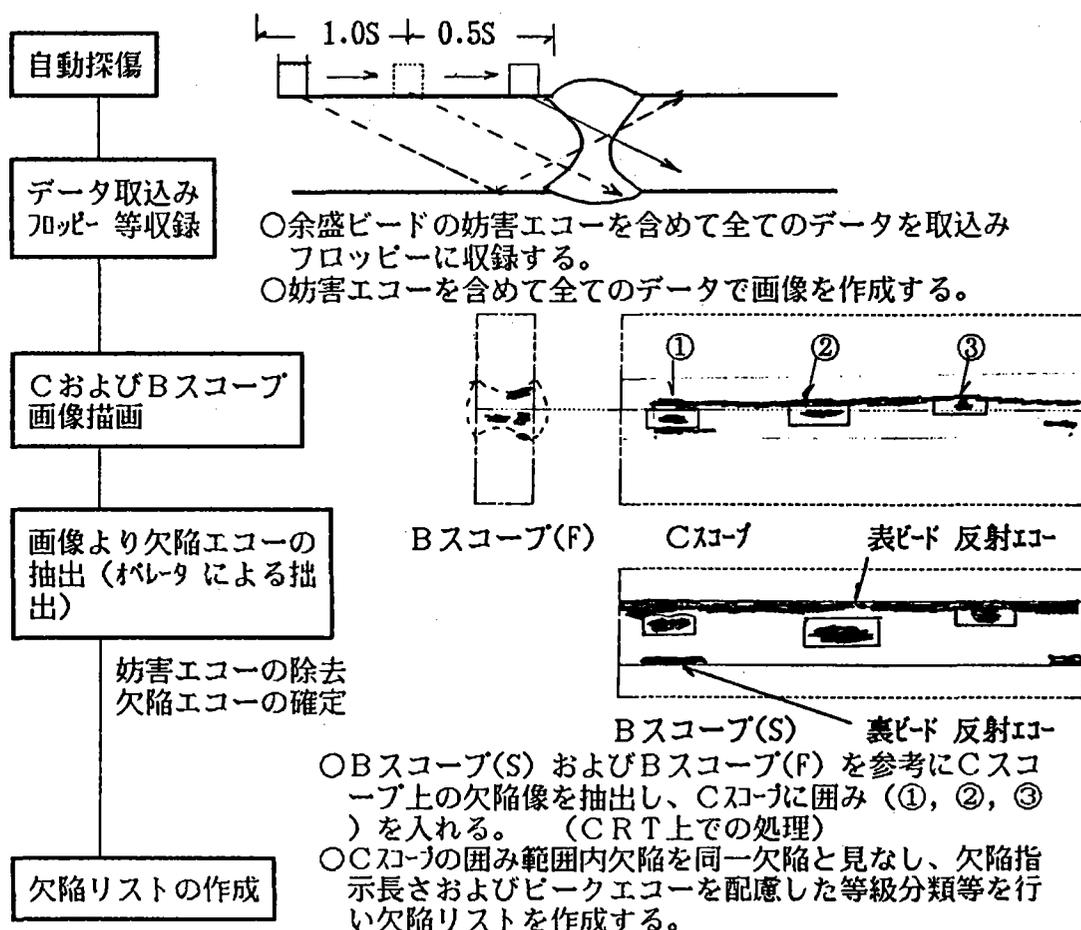


図7-1 妨害エコーの除去と欠陥エコーの抽出手順の例

従って自動探傷の全データを用いたCおよびBスコープから妨害エコーを除去し、欠陥エコーを抽出するには人為的判断に頼っており、十分な経験とシステムに対する専門的な知識を持つ技術者の判断に委ねられることになり、かつリアルタイムに検査結果を得ることにはならない。

データ処理上、エコーデータを図5-6に示したように、データ有効範囲を指定し範囲外

のデータを全て切り捨てる方法は難しいことではなく、表6-1 に示した各システムの妨害除去システムは殆どこの処理を行う方式である。しかしこの場合、音束の拡がりを考慮して余盛ビードの反射エコーを除去しようとする、データ有効範囲は板表面より3 ~5mm程度離れた範囲となり、結果として探傷不能範囲が大きくなる。

従って純粋な余盛ビード反射エコーのみを除去するには、処理手順として図7-2 に示す方法が最も有効である。

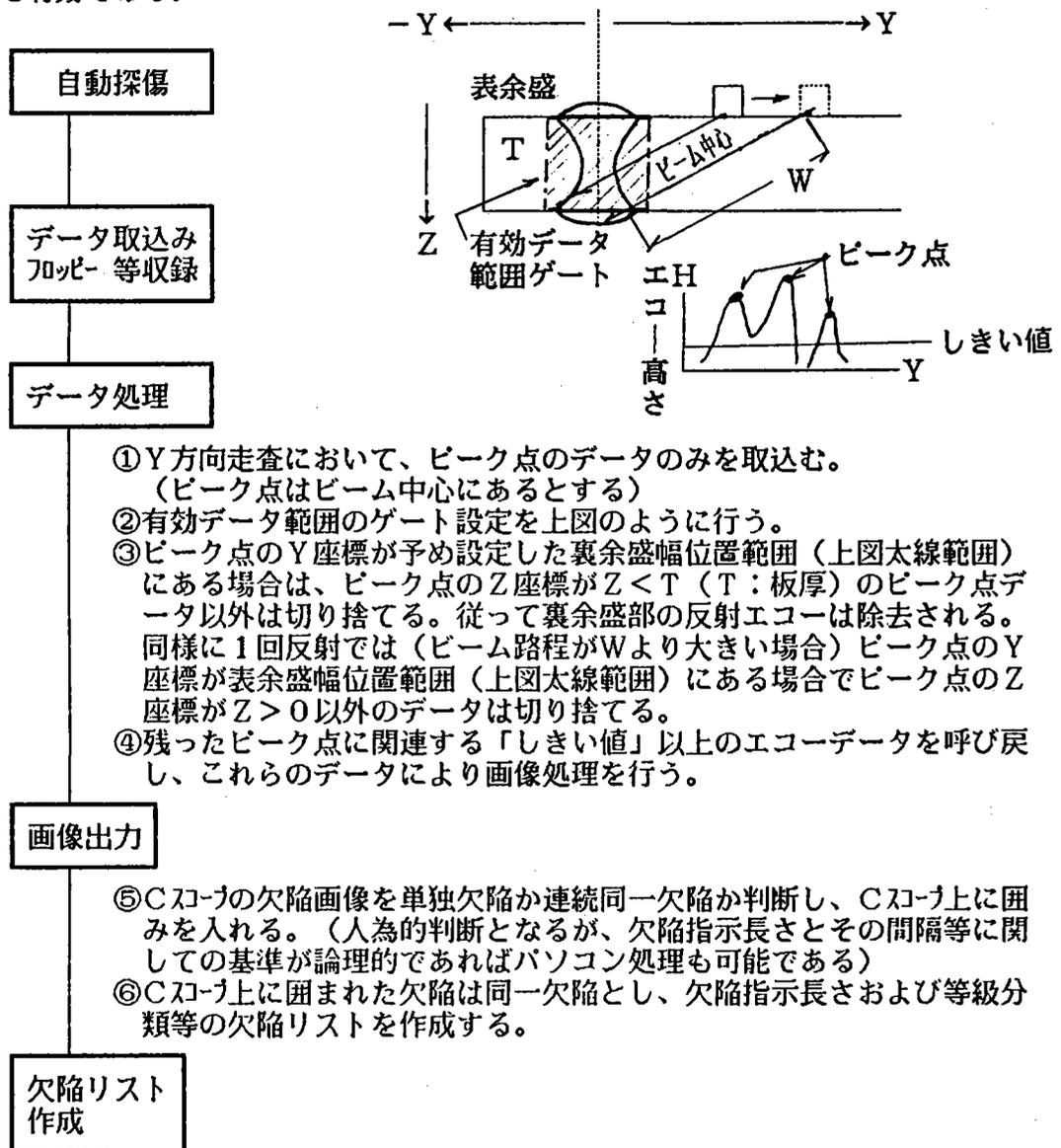


図7-2 画像を分かり易くかつ妨害エコー除去と欠陥抽出を自動化するためのソフト処理の考え方。

今回自然欠陥探傷に用いた自動超音波探傷試験システムでは、余盛反射エコーを含めた全データで画像処理を行い（図6-5.1 参照）、欠陥データを参考にしながらオペレータが妨害エコー等を除外し、欠陥エコーの抽出を行って最終画像としては欠陥像のみを表示させたシステムもあるが、この時点ではまだ図7-2 に示した処理ができるソフトは開発されていなかった。

最近表6.1 に示した自動超音波探傷試験システムにおいて、図7-2 に示した考え方を採用したデータ処理ソフトが開発され、実用化され始めている。（*6）

図7-3.1 ～図7-3.7 に板厚14mmの裏当て金付き突合せ溶接継手の自動超音波探傷試験の画像処理の手順を紹介する。（*6）

図7-3.1 には指定した検出レベル（しきい値：通常はL線レベル）を超えたエコーデータを全て画像出力した。この画像には図7-4 に示した裏当て金部の溶込み境界部、裏当て金すみ肉溶接ルート部およびビード止端部等（図中の①～③等のエコー反射源）からの妨害エコー像が欠陥エコー像と重複し、欠陥判別が困難となる。

図7-3.2 はY方向走査において、ピークエコー点のみを取込んで画像処理したものである。図7-3.1 に比べて画像は非常にシンプルになっている。しかしながら、裏当て金反射部のピークエコーは残っている。

図7-3.3 は有効データの範囲設定と板厚範囲外の裏当て金内部の反射エコー（図7-4 の①～①'のエコーデータ）を板厚範囲内に折り返さないで正確な反射位置にデータプロットするための折り返し補正設定を示したものである。折り返し補正により、図7-3.4 に示すように裏当て金内部の反射源はBスコープにおいて板厚範囲外にデータプロットされる。

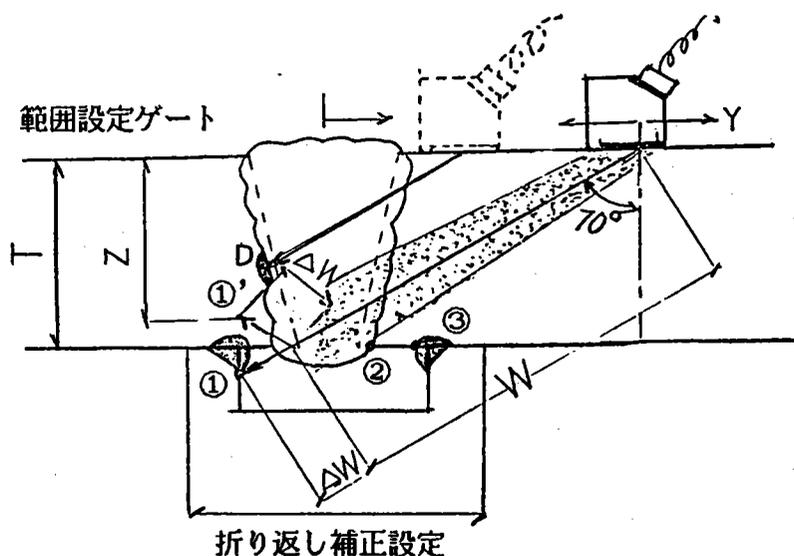


図7-4 裏当て金部の折り返し補正設定と有効データ範囲設定

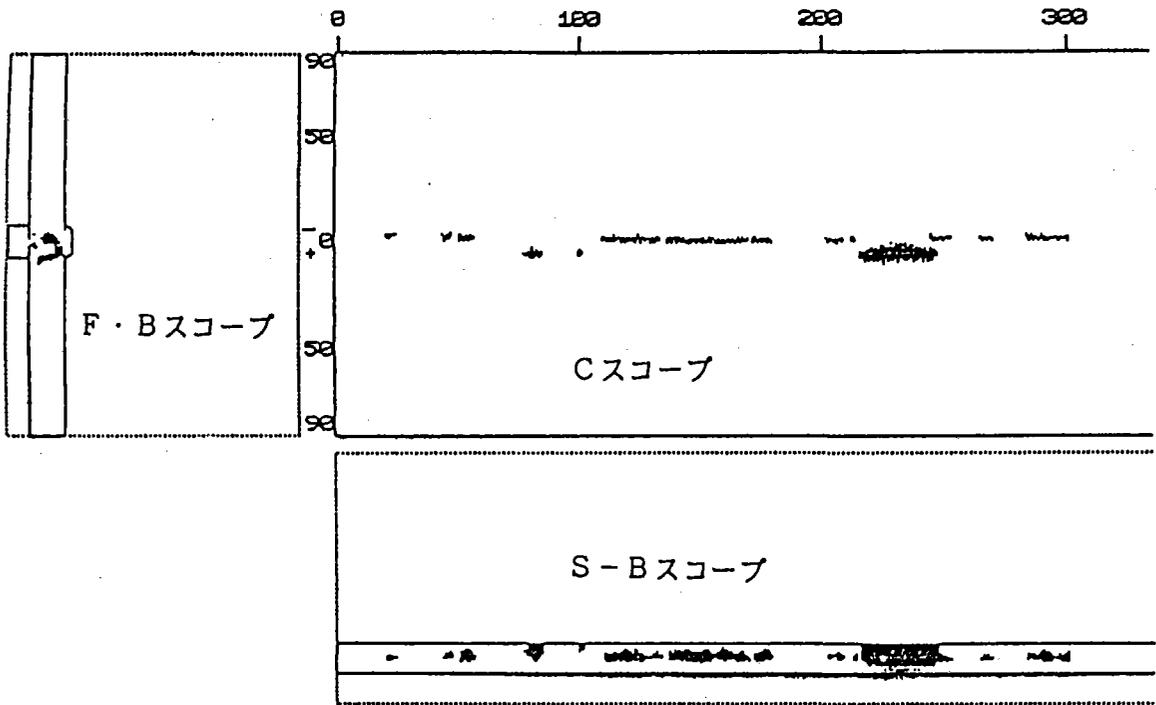


図7-3.1 裏当て金部反射11-等を含めた全データ表示画像

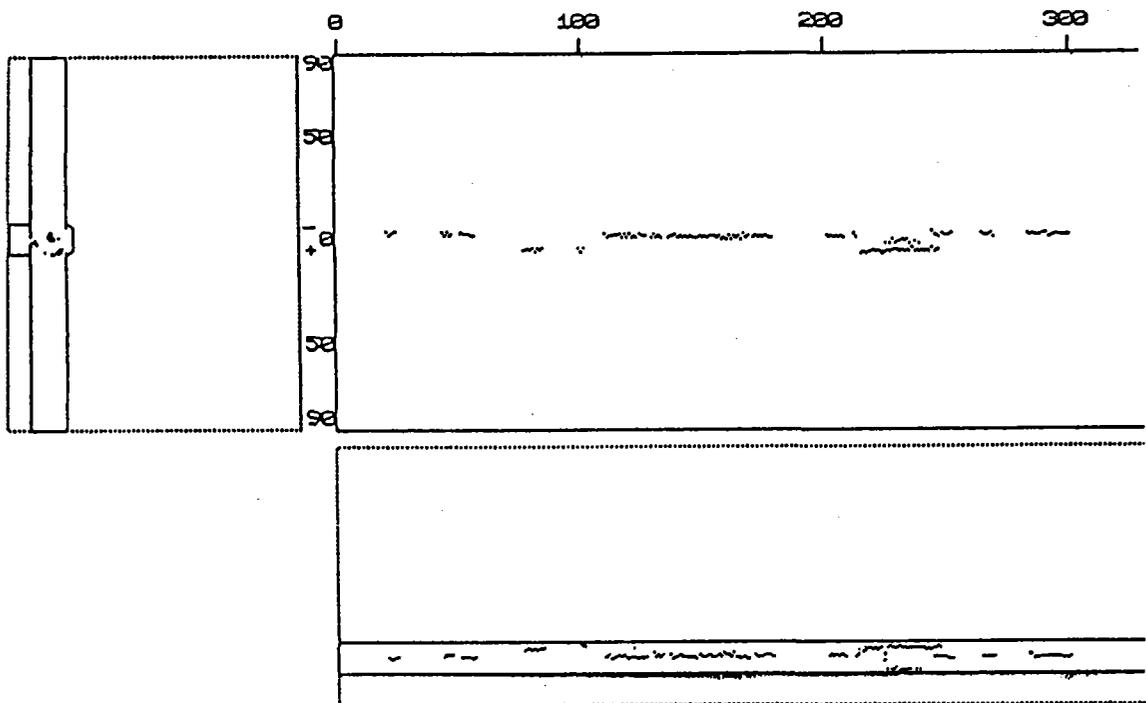
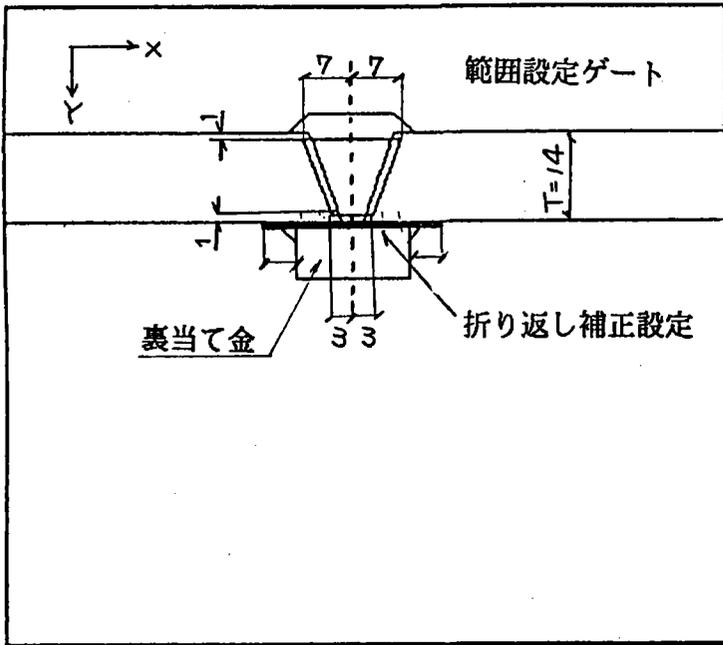


図7-3.2 ①ピーク点抽出画像

Y方向走査においてエコーピーク点のみを取込んだ画像



《検査範囲の設定》
〔溶接部〕 (溶接中心上端基準)

		左	右
上	X	-7.0mm	7.0mm
	Y	1.0mm	1.0mm
中	X	-5.0mm	5.0mm
	Y	7.0mm	7.0mm
下	X	-3.0mm	3.0mm
	Y	13.0mm	13.0mm

《折り返し補正範囲の設定》
(溶接中心基準)

	左	右
表面	0.0mm	0.0mm
裏面	-12.0mm	12.0mm

図7-3.3 ②有効データ範囲設定と折り返し補正設定
(折り返し補正：ピークエコー点が板厚外(裏当て金部)にある場合板厚範囲内に反射しないで、正確な反射位置でのデータプロット出来るようにした補正)

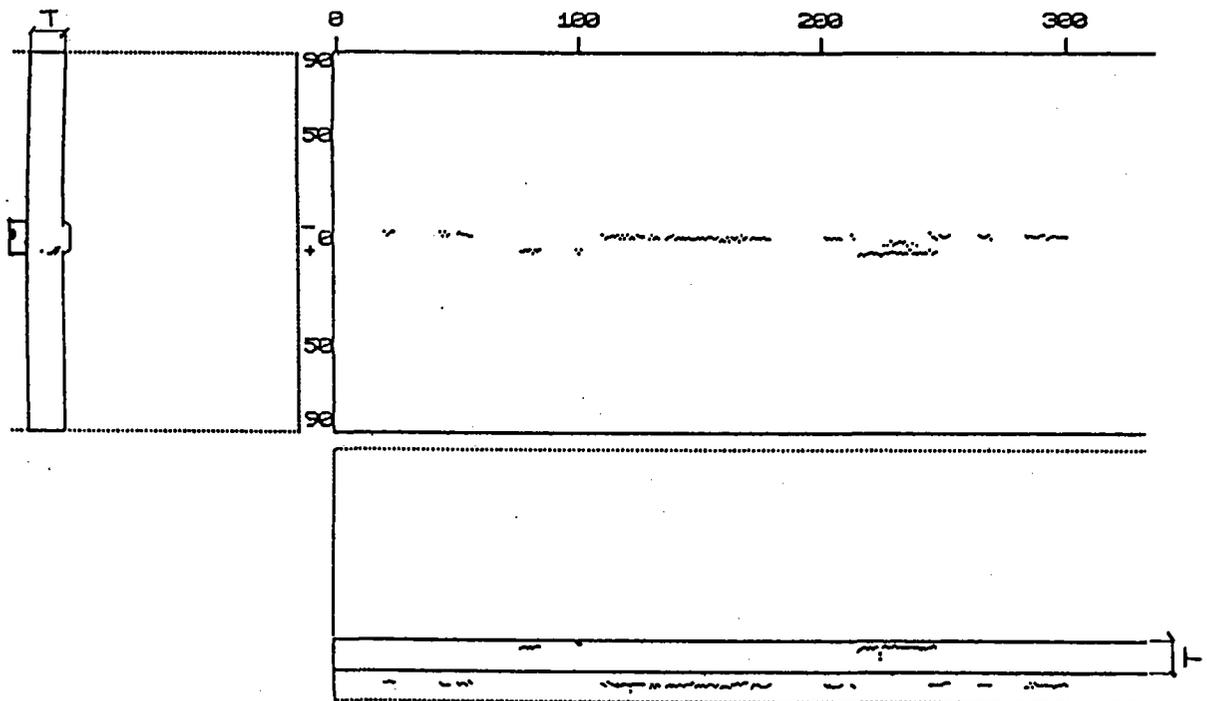


図7-3.4 ③折り返し補正処理
(裏当て金部の反射エコーピーク点はF・BおよびS・B表示では裏当て金内にピーク点に移行している)

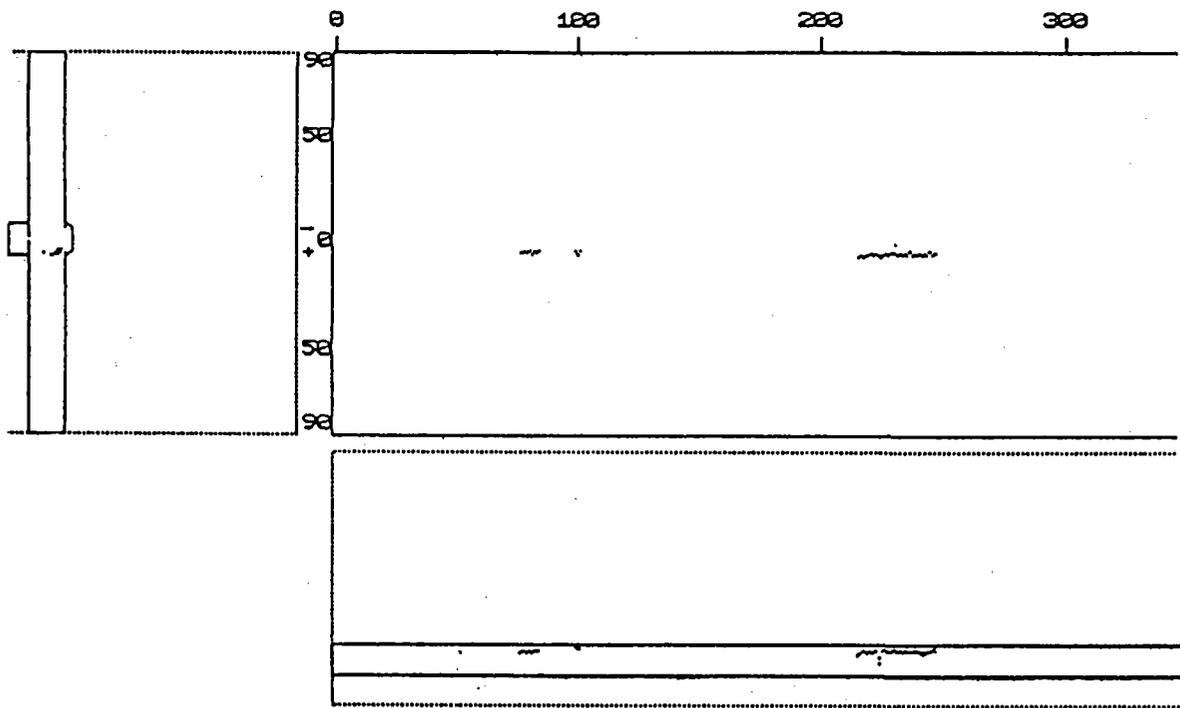


図7-3.5 ③有効データ範囲設定処理

(母材と裏当て金の境界部でのピーク点除去するため、板厚面より1 mm内側のピーク点のみを取込み画像処理している。これにより超音波探傷ビームの拡がりによる境界部の反射データの混入を防ぐ)

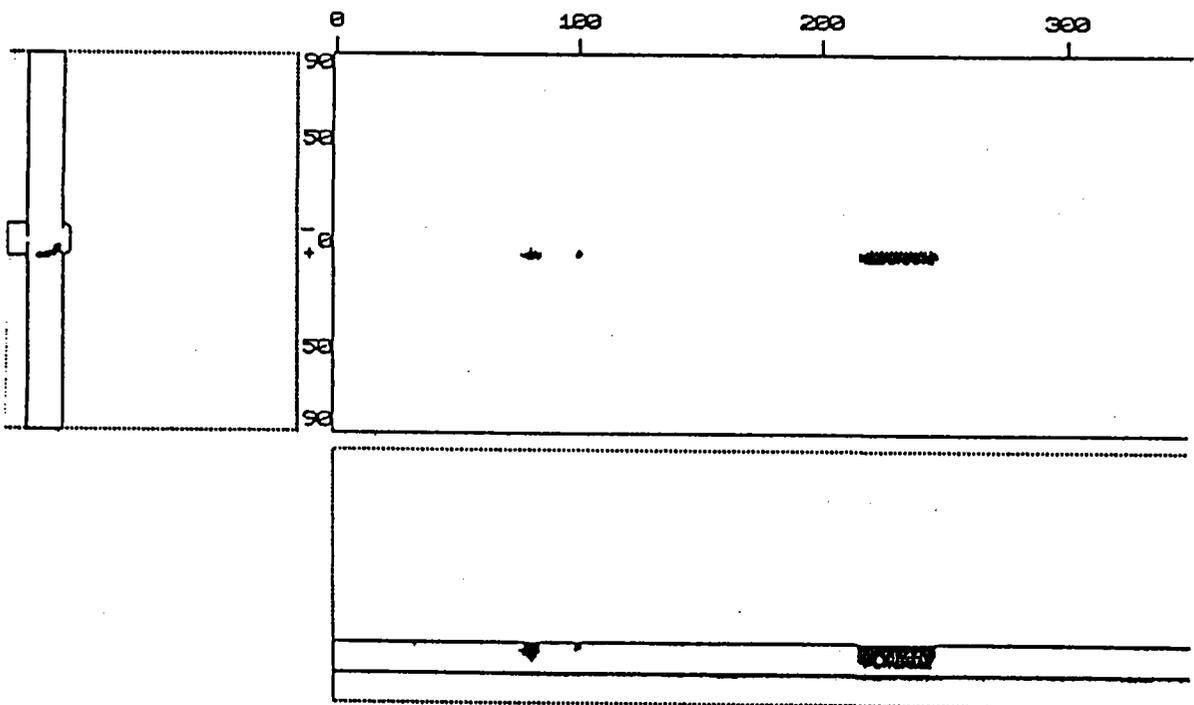


図7-3.6 ④図7-3.2 ~5 で処理されたピーク点に関連するデータ(「しきい値」を超えたデータ)を呼び戻し、復元した画像。実欠陥像のみが抽出)

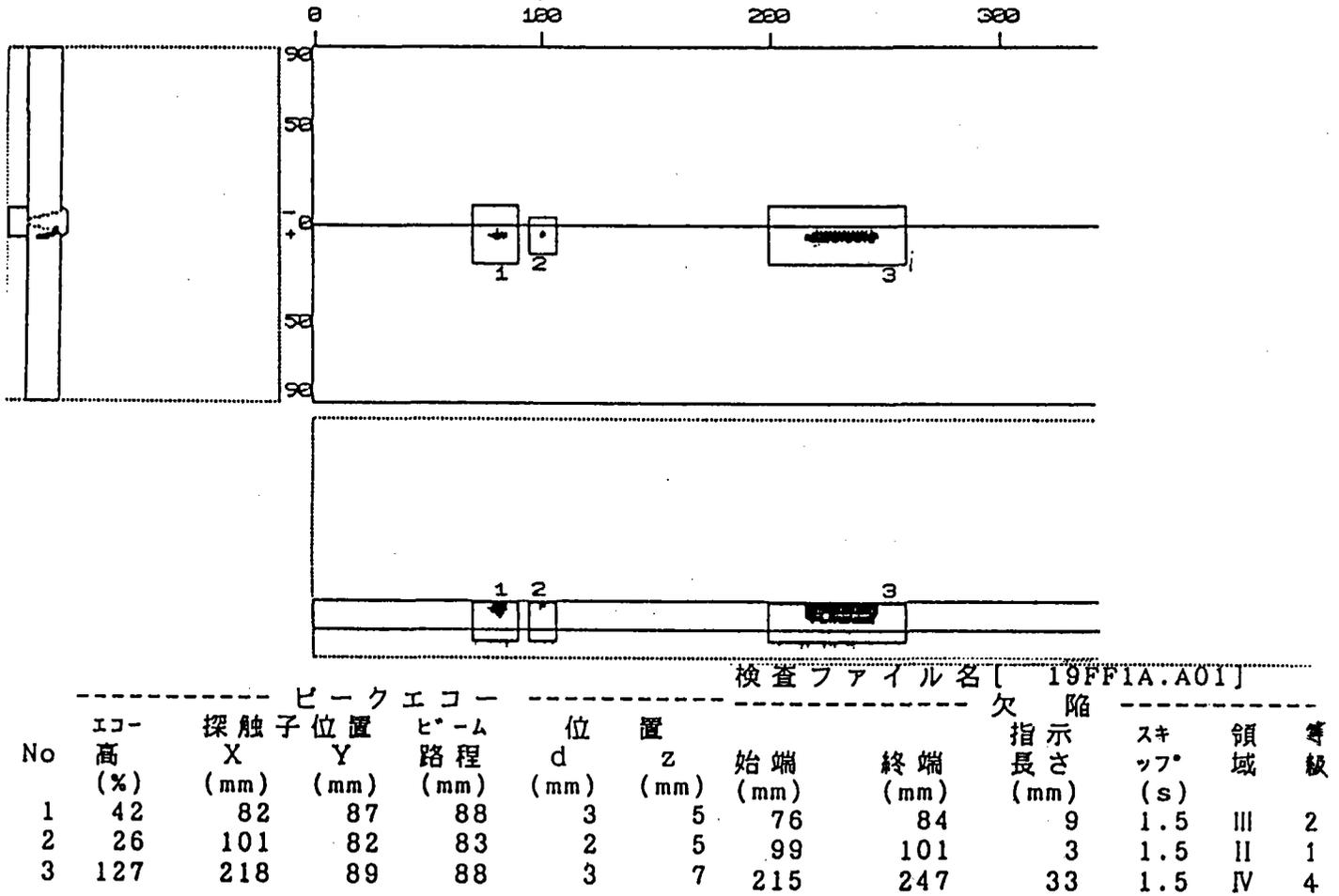


図7-3.7 ⑤実欠陥Cスコープ画像の各欠陥をCRT上でウィンドウ設定して必要な情報とともにリストアップする。最終検査報告書となる。

引き続き有効データ範囲設定処理により、範囲設定ゲート外のデータは全て消去される。図7-3.5 は折り返し設定および有効データ範囲設定処理を行った後の欠陥ピークエコー点のみの画像である。図7-3.5 のピークエコー点に関連するデータ（しきい値を超えた全ての関連データ）を呼び戻し復元した画像が、図7-3.6 である。

以上のような処理を余盛ビードのある継手に採用することにより、不探傷部は裏表の板表面1mm程度となり、余盛ビードの妨害エコーを効果的に除去でき、分かり易い画像を得ることが可能となる。

最終的な検査報告書は図7-3.6 に欠陥番号を付けた画像とそれに対応した欠陥のデータ、等級および合否判定を行った検査リストとなる。

(2) 自動超音波探傷試験システムの高温割れ、溶込み不良等の検出度の向上についてサブマージアーク溶接による板継ぎ溶接継手の重要な欠陥としての高温割れと溶込み不良は板面直角方向の面状欠陥であるため、斜角超音波探傷において検出し難い欠陥であることを報告した。

自動超音波探傷試験における検出レベルはL検出レベルが妥当であると報告したが、高温割れまたは溶込み不良等の検出には感度不足と考えられる。自動超音波探傷試験では、1/2L検出レベルをしきい値としてデータを取り込み、データ処理機能により任意のレベルの出力を行うことが可能であることから、高温割れまたは溶込み不良（両面溶接継手の場合）の発生位置が特定されることを利用して、両欠陥の検出レベルのみを1/2L検出レベルとすることが可能である。図7-5 に、高温割れまたは溶込み不良の検出感度を上げるための、局所的な高検出レベルゾーン設定の考え方を示す。

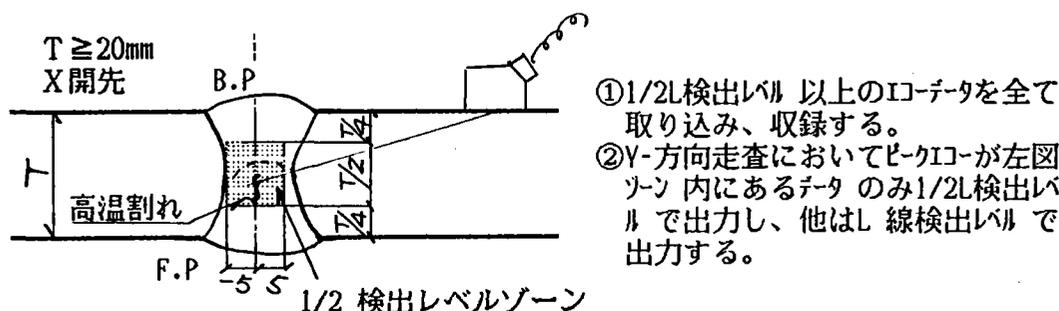


図7-5 高温割れ、溶込み不良欠陥の検出度向上のための局所的な高検出レベルゾーン設定の考え方。

この結果得られた欠陥指示長さを持って、等級分類はL線検出レベルⅡ～Ⅲ領域として扱うものとする。

図6-4 に比較的短い高温割れ検出におけるL線検出レベルと1/2L線検出レベルの等級分類の比較を示したが、L線検出レベルに比べて、1/2L線検出レベルでは平均的に1～2等級程度厳しい等級となっている。

RTでは割れと判定した時点で、欠陥の大きさに関係なく4級と判断されるが、UTでは欠陥の種類をデータから判断することは無理であり、強度的にも重要な意味を持つ高温割れおよび溶込み不良等の検出感度を厳しくすることが、UTでの現実的対応と考えられる。局部的高検出レベルゾーンの範囲については、開先形状、開先寸法および探傷時の開先中心線設定精度等によって異なるが、余り範囲を大きくすると、他の欠陥に対して厳しくなり過ぎると共に、妨害エコー等が多くなる恐れがあり、小さいと肝心の欠陥がゾーンから外れることになる。開先形状等を考慮したゾーン設定が必要である。