

第 10 回

千葉県非破壊検査研究会 研究発表会

日 時 平成 8 年 1 月 16 日 (火)

13:00～17:05

会 場 高度ポリテクセンター

目次

I 研究発表

1. マイコン搭載ポータブル式X線装置 ----- 1
ラジオフレックス EGMシリーズ
理学電気(株)拜島工場設計部 ○久保寺三義, 上野光春
小玉裕一, 森田明宏
2. 先進複合材料の非破壊評価 ----- 9
航空宇宙技術研究所 ○松島正道
3. 表面SH波探触子の指向性に関する実験的検討 ----- 11
日本鑄鉄管(株) ○高橋雅和
木村超音波探傷研究所 木村勝美
ジャパンプローブ(株) 星野充宏
4. 裏当て金付完全溶込みT継手のルート部からの
エコー判別法に関する実験 ----- 19
NDI溶接部の超音波探傷研究委員会WG
エンジニアリングサービス(株) ○上平綱昭
5. 裏当て金付完全溶込みT継手のルート部からの
エコー判別法に関する指針(本文) ----- 27
NDI溶接部の超音波探傷研究委員会WG
(株)キューシーコンサルタント ○荒井 均
6. 裏当て金付完全溶込みT継手のルート部からの
エコー判別法に関する指針(解説) ----- 33
NDI溶接部の超音波探傷研究委員会WG
(株)ジャスト研究所 ○名取孝夫

II 特別講演

- 千葉と超音波との50年 ----- 47
千葉県非破壊検査研究会会長(千葉工業大学 教授) 丹羽 登

露出線図内蔵 新型工業用 ポータブル式 X線装置
ラジオフレックス EGMシリーズ
New Industrial Portable X-ray Apparatus
RADIOFLEX-200EGM, 250EGM, 300EGM

理学電機(株) 拜島工場
上野 光春 小玉 裕一
〇久保寺三義 森田 明宏

概 要

工業用ポータブル式X線装置は現場におけるRTの主力として利用されている。現場用RT装置としては軽量・小型はもちろんであるが、それにも増して故障のないことや使い勝手のよいことが重要視される。この度、信頼と実績の従来シリーズに加えて、新型ポータブル式X線装置ラジオフレックス-EGMシリーズを開発した。本装置は、マイコン搭載による高機能化とより一層の使い易さを目指したポータブル式X線装置で、標準露出線図の内蔵、内蔵露出条件の材厚値による簡単呼び出しや各種撮影条件の補正機能などの新機能を備えている。

1. はじめに

ポータブル式X線装置 ラジオフレックス-EGMシリーズ(RF-200EGM, RF-250EGM, RF-300EGM)は、従来機種 of 信頼性をそのままに、一歩進んだ「現場対応型X線装置」を念頭に開発されたもので、手袋を付けたままでの容易な作業や従来装置と同様の感覚での操作に加えて、作業の効率化を考慮した機能を標準装備している。

マイクロコンピュータの内蔵も本装置の特長で、制御器内にメモリされた標準露出線図による撮影が可能になったほか、ユーザ自身が作成した露出条件のメモリ機能など、各所にマイコンの効果的な利用がされている。

新開発のX線装置-EGMシリーズについて以下に紹介する。

2. ラジオフレックス-EGMシリーズの特長と

主な機能

本装置の特長となっている内蔵の露出線図(鋼用)による撮影と露出条件の補正機能の利用により、簡単操作で確実な撮影、精细化管理を行えるようになった。もちろん、手動設定による撮影も従来の感覚で容易に行うことができる。

(1)操作の概略フローとプログラム構成

操作の概略のフローおよびエージング終了後のプログラム構成を図2、図3に示す。

①操作の概略フロー

電源を供給すると装置の休止期間に応じたエージングモードが自動設定され、エージング所要時間も表示される。

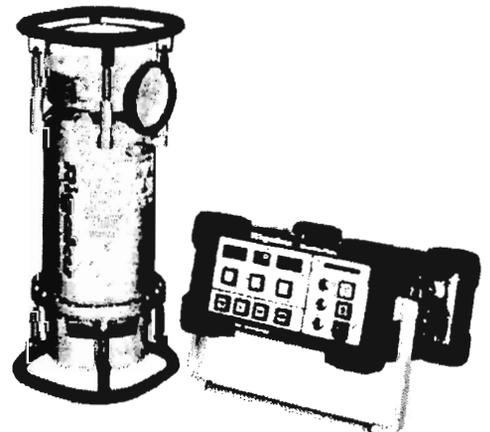


図1 ラジオフレックス-EGM外観

そのまま X-ray ON すれば エージング操作が開始され、エージング終了と同時に「MANU撮影モード（通常の露出条件手動設定による撮影）」になる。
 手動設定であれば、管電圧－露出時間を設定してこのまま撮影を開始することができる。

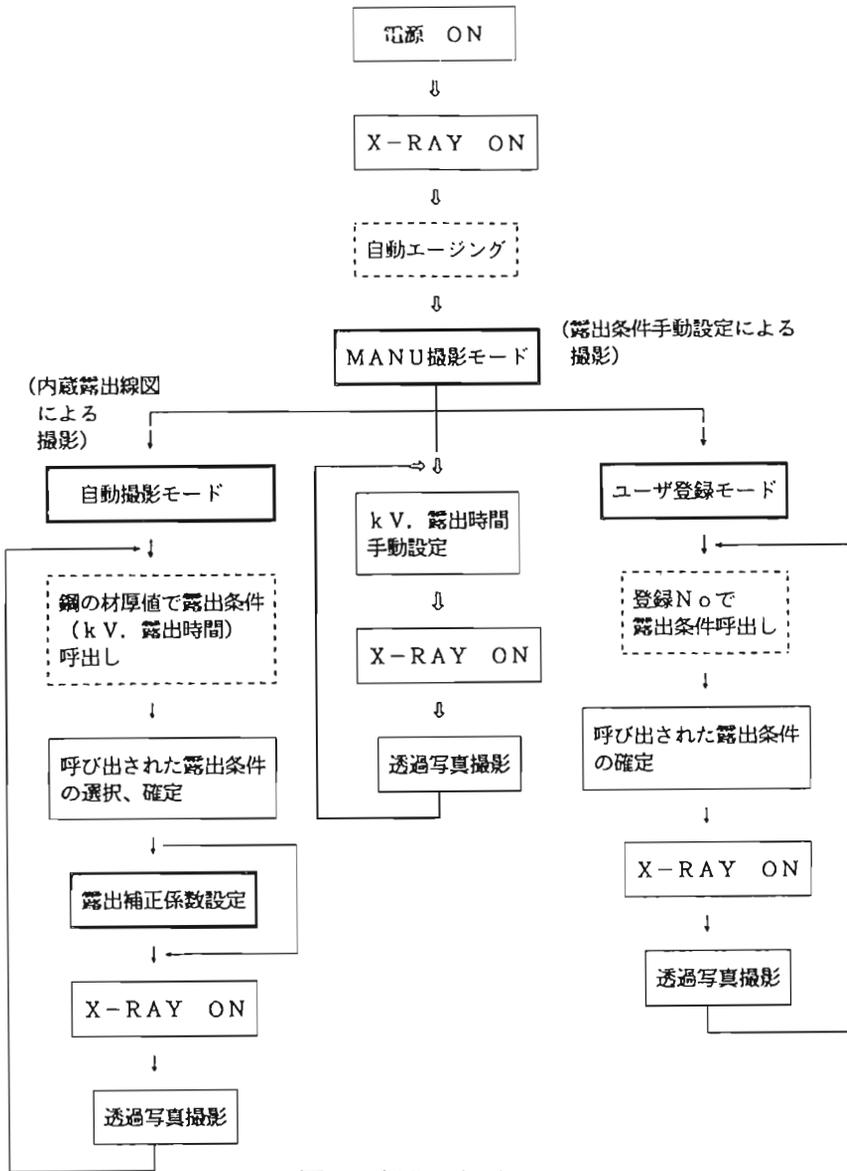
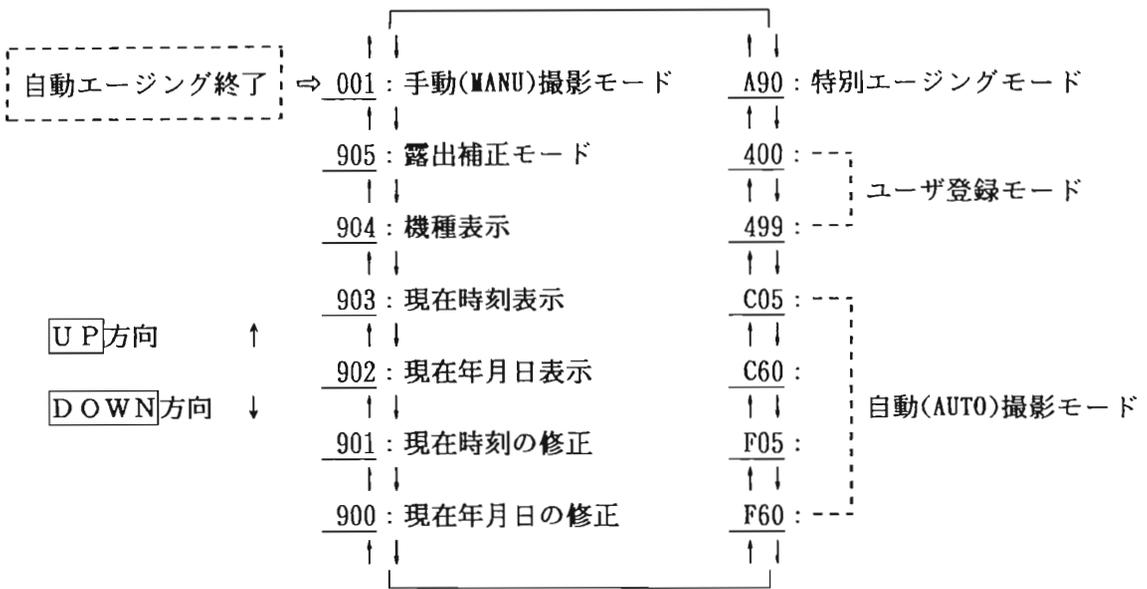


図2 操作の概略フロー

②エージング終了後のプログラム構成

自動エージング終了後は、図に示したモード(プログラムNo.)を任意に選択できる。
 手動撮影モードから他のモードへの変更は、プログラム選択スイッチおよびUP・DOWNスイッチにより行うが、操作は次のように極めて簡単である。

- ⇒ プログラム選択スイッチを押す → プログラムNo. 表示点滅 → UP・DOWNスイッチによりプログラムNo. 選択
- ↓
- 〈撮影モード変更完了〉 ⇐ プログラムNo. 表示点滅停止 ← ENTER(確定)スイッチを押す



- 1) 各プログラムは、**UP**・**DOWN**スイッチで選択する。(エンドス)
- 2) 図の下線を引いた数字が、プログラムNo.を示す。
- 3) F05～F60が、フジ#100フィルムを使用した場合の標準露出条件を呼び出すプログラムNo.で、F〇〇の後の数字が撮影する試験体のmm単位の材厚を表している。

図3 エージング終了後のプログラム構成

(2) 主な機能と特長

① MANU (手動) 撮影モード

従来装置と同じ方法で撮影する時のモードで、管電圧(2kVステップ) および露出時間(0.1分ステップ)の設定は手動で行う。

先のプログラムの選択と同様に、簡単操作で条件の設定や変更が行える。

MANU (手動) 撮影モードの操作手順を図4に示す。

② 自動撮影モード

内蔵の標準露出線図(鋼用)を利用した撮影をする場合のモードで、決められた材厚に対する露出条件(管電圧kV-露出時間min.)の組み合わせを選択するだけで、簡単に透過写真の撮影が行なえる。

内蔵露出線図による自動(AUTO)撮影の場合の操作手順を図5に示す。

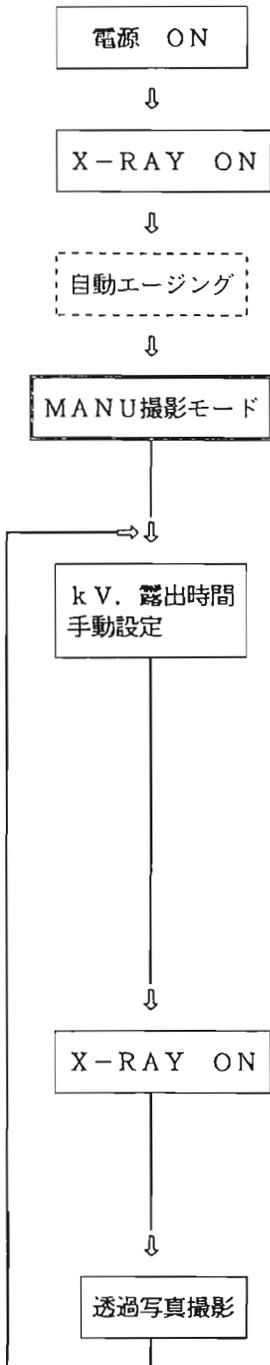
- ・露出条件(管電圧kV-露出時間min)は、検査箇所材厚値(mm単位)でそのまま呼び出すことができる。従って、プログラムNo.を記録したメモを持ち歩く必要はない。
- ・呼び出されたkV-min.の設定および確定はワンタッチで、あらためてスイッチ操作でkV-mA条件を設定し直す必要はない。
- ・露出条件の設定に続いてX-ray ONスイッチを押すだけで、所定の透過写真が撮影できる。
- ・制御器内に決められた標準露出線図は、電源を切っても消去されることはない。

(内蔵露出線図による撮影の用途)

- ・通常の撮影の他、試し撮りに利用できる。

[露出条件手動設定による撮影の操作手順]

- ・ X線発生中の管電圧の変更が可能で、たとえ撮影中であっても、**UP**・**DOWN**スイッチを押せば X線出力を増減できる。



(撮影条件手動設定の場合の操作手順) : MANU

- ・ 電源ONして約8秒後に各々のLED表示点灯。

- ・ 休止時間が8時間以上ならば、自動的に「エージングモード」にはいる。

↳ プログラム表示 **A00**

- ・ エージング時間も休止時間に応じて自動設定。
- ↳ 自動エージング終了時には、ブザーが鳴る。

- ・ 自動エージングが終了すると、自動的に「MANU撮影モード」になる。

↳ プログラム表示 **001**

最後に撮影した透過写真の撮影条件が表示される。

- ① **管電圧変更**スイッチを押す。 → kV表示 点滅
⇒ "READY" ランプ消灯

- ② **UP**、**DOWN**スイッチを押して kV値を設定。

- ③ kV値の選択が終了したら **ENTER**スイッチを押して kV値を確認。 → kV表示 点滅停止

- ④ **タイマ変更**スイッチを押す。 → タイマ表示 点滅

- ⑤ **UP**、**DOWN**スイッチを押して 露出時間を選択。

- ⑥ 露出時間の設定が終了したら **ENTER**スイッチを押して 設定値を確認。 → タイマ表示 点滅停止
⇒ "READY" ランプ点灯

以上で露出条件の設定完了。

- ・ X-RAY ONすると露出タイマがスタートし、露出残時間を表示。
- ・ X線発生中でも、**UP**、**DOWN**スイッチを押すことで管電圧値の変更可能。
- ・ 設定時間経過後、露出タイマにより X線の発生が停止し、タイムアップブザーが鳴る。
- ↳ プログラム表示 **OFF**

- ・ タイムアップと同時に休止時間中の待ち時間が減算表示される。

* 操作パネルのスイッチの配置は、図5参照のこと。

図4 MANU (手動) 撮影の操作手順

[内蔵の標準露出線図による撮影の操作手順]

- ・撮影開始後の手順や操作パネルの表示は、前述の「MANU撮影」と同じである。
(但し、自動撮影モードでは、X線発生中の管電圧の変更はできない。)
- ・内蔵の標準露出線図の撮影条件
管電圧 10kVステップ、露出時間 0.5分～ (9.9分以上の露出時間の自動撮影も可)
FFD:60cm, フィルム濃度 D:2.0, フジ#100フィルム(Pb0.03), タンク現像 20°C 5分

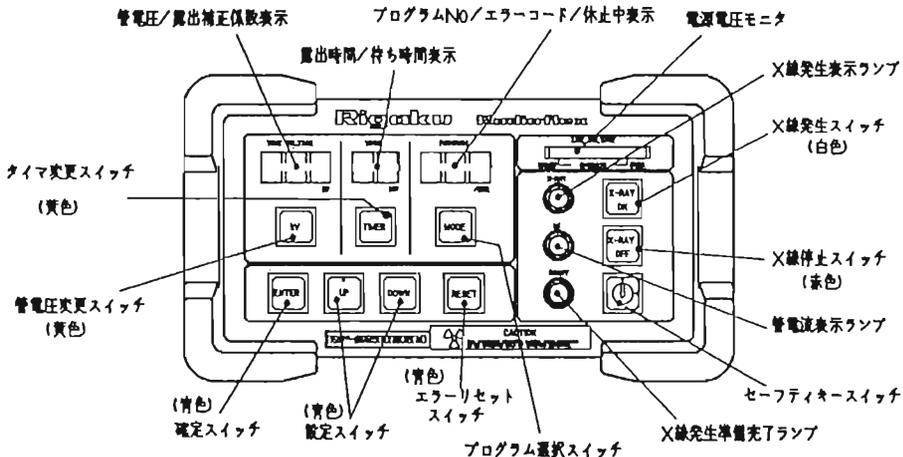
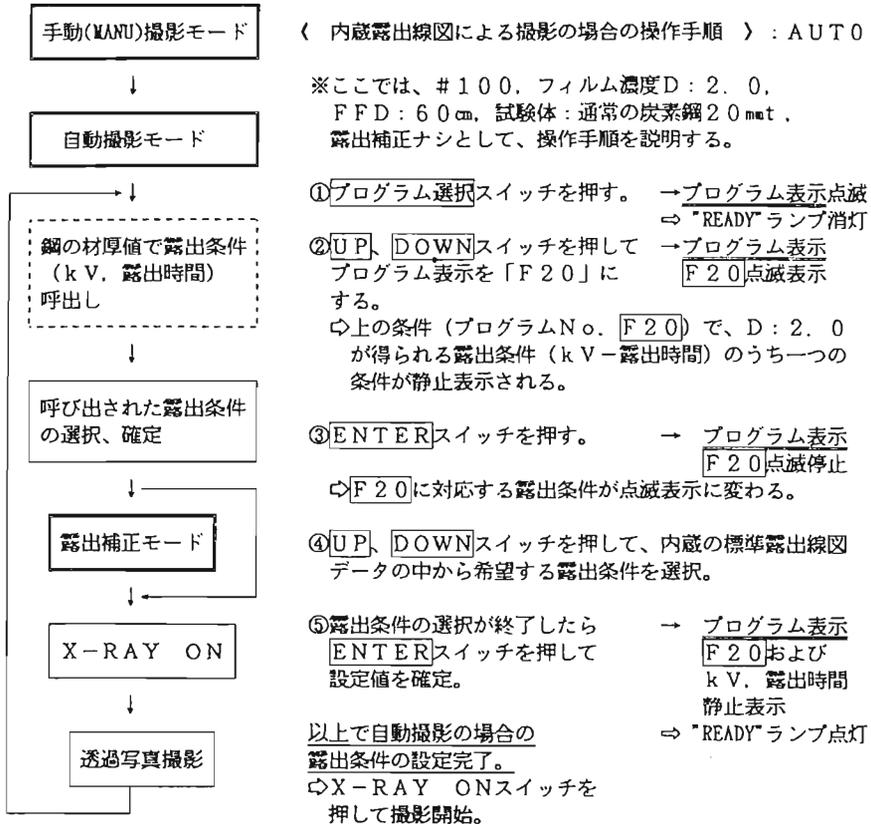


図5 自動(AUTO)撮影の操作手順および操作パネル配置図

③露出補正モード

同じ撮影条件で撮影しても試験条件や現像条件などにより、得られる透過写真のフィルム濃度は変わってしまう。この補正を行うのが露出補正機能で、補正係数（露出倍数）を設定することで、標準露出線図の露出時間の増減が自動で行われるため、標準露出線図をより正確なものにすることが可能となった。

- ・露出補正の範囲：（標準露出線図の露出時間）×（露出補正係数：0.5~2.0/0.05ステップ）
- ・露出補正した場合、補正係数は 1.0 となるので電源を切っても再設定の必要はない。次回からは補正された標準露出条件が自動的に表示される。
- ・補正係数の設定と同時に、他の管電圧も含め標準露出線図の露出条件全てに露出補正が行われる。
- ・露出補正条件の変更や設定値の確認は、操作パネルの LED 表示により容易に行える。
- ・いくつかの要素を同時に変更する場合は、各々の露出補正係数の積を基にして値を設定すればよい。

（露出補正機能の用途）

- ・試験物の材質の違いによる補正や器差の補正。
- ・FFD（撮影距離）などの撮影条件や使用条件の変更。
- ・内蔵の標準露出線図のフィルム濃度や使用 X 線フィルムの種類、現像方法などの変更。

* 露出補正係数の一例を表 1～4 に示す。
各表の補正係数は参考値である。

表 1 撮影距離の変更

FFD(mm)	450	500	550	600	650	700	750	800	850	(900)	(1000)
露出補正係数	0.55	0.70	0.85	1.00	1.15	1.35	1.55	1.75	2.00	(2.25)	(2.75)

表 2 X 線フィルムの種類の変更

X 線フィルムの種類		フジ#25	フジ#50	フジ#80	フジ#100	フジ#150
露出補正係数	標準露出線図1(フジ#100用:プログラムNo. F00)	—	—	1.80	1.00	0.60
	標準露出線図2(フジ #50用:プログラムNo. C00)	2.00	1.00	0.55	—	—

表 3 透過写真のフィルム濃度の変更

フィルム濃度 D:	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8
露出補正係数	0.50	0.55	0.65	0.80	0.90	1.00	1.10	1.25	1.35	1.50

表 4 現像方法の変更

現像方法	タンク現像	77 FIP1400・4000	77 FIP1000
露出補正係数	1.0	0.8 ~ 0.9	0.7 ~ 0.8

④ ユーザ登録モード

ユーザが作成した試験体ごとの露出条件をユーザ自身で登録することが可能で、前述の自動撮影と同様に、メモリされた露出条件の呼び出しをすれば、露出条件をその都度設定することなくワンタッチで撮影することができる。

本機能は、鋼以外の材質の透過試験など標準露出線図がそのまま適用できない場合などに利用できる。

- ・最大 100 条件（管電圧－露出時間）のメモリ可。
- ・登録 No. を呼び出すと露出条件が表示される。

* ③露出補正および④ユーザ登録の機能の設定値呼び出しも、図 4 に示したプログラム選択スイッチと UP、DOWN スイッチにより行う。UP、DOWN スイッチを各々押すとメモリされた条件が連続的に表示されるので設定値の変更や確認は容易に行える。

⑤ 操作性に対する配慮

[制御器]

- ・縦置き、横置きどちらでも使える制御器
- ・手袋のままでも間違いなく操作できる大型の押ボタンスイッチ
- ・ベビュティな取り扱いに耐える頑丈なフレームガード
- ・持ちやすい大型ハンドル
- ・屋外での使用を考慮した明るく見やすい高輝度 LED 表示
- ・管電圧の 2kV ステップ可変
- ・電源電圧モニタ（入力電源電圧を LED 表示）
- ・X 線発生休止中の待ち時間表示（露出タイマ にデジタル表示）
- ・撮影終了を知らせるタイムアップブザー
- ・誤操作防止ブザー（関係ないスイッチを操作したときにはブザーが鳴り誤操作を知らせる）
- ・自動エージング機能（休止期間に応じたエージング所要時間の自動設定）
 - 一般的な使用方法における使用休止期間では、一回の X 線発生（最大 9.9 分）で自動エージングは完了する。
- ・リモートコントローラ（オプション）

⑥ 安全への配慮

- ・セーフティキースイッチ : キースイッチ OFF では、X 線の発生不可。X 線発生器に近づく時に利用すれば、確実な安全確保ができる。
- ・フェールセーフ 式の X-Ray ランプ : 制御器操作パネルの X 線発生表示ランプが切れると X 線の発生は停止する。
- ・ドアインターロック 用出力端子
- ・X 線発生警報用出力端子
- ・X 線の取扱いに関する表示（注意銘板、注意ラベル）
- ・発生器への重量表示

⑦その他

制御器、発生器とも新設計となっているので、従来装置との互換性はない。

(3)主な仕様

表5にラジオフレックス-EGMシリーズの主な仕様を示す。

RF-300EGMの発生器については、従来機種より50mm全長が小型化されている。

表5 理学/ラジオフレックス-EGMシリーズの主な仕様

		RF-200EGM	RF-250EGM	RF-300EGM	備考
X線管		セラミックスX線管 焦点寸法 2.0×2.0mm	セラミックスX線管 焦点寸法 2.0×2.0mm	セラミックスX線管 焦点寸法 2.5×2.5mm	単放射形X線管
デューティサイクル		50%(1:1)	50%(1:1)	50%(1:1)	
管電圧設定範囲		70~200kV	110~250kV	130~300kV	2kVステップ
管電流		4.5mA(90kV以下) 5mA(92kV以上)	4.5mA(140kV以下) 5mA(142kV以上)	4.5mA(160kV以下) 5mA(162kV以上)	
電源電圧		単相 AC180~240V	単相 AC180~240V	単相 AC180~240V	50/60Hz
消費電力		3.1 kVA	3.7 kVA	4.1 kVA	
寸法	制御器	344×195×407 mm	344×195×407 mm	344×195×407 mm	ハンドル寸法含まず
	発生器	617×262×262 mm	632×320×320 mm	687×320×320 mm	
重量	制御器	19 kg	19 kg	19 kg	
	発生器	21 kg	28 kg	38 kg	

3. おわりに

ラジオフレックス-EGMシリーズは、現場対応の使い易いポータブル式X線装置を念頭に開発を進め、制御器の大幅なモデルチェンジと併せて高電圧トランスなど発生器についても新設計のものとし、一層の信頼性の向上が図られている。X線装置を使う側の立場に立って開発したつもりであるが、まだ改良の余地は残っているように思われる。

今後ともユーザの皆様の御意見をいただき、より良いX線装置を供給したいと考えている。

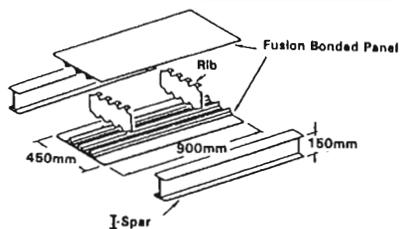
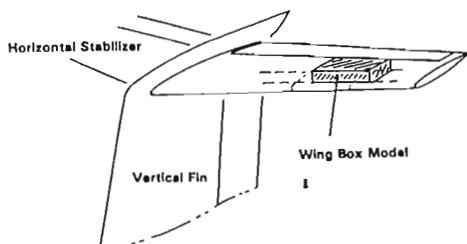
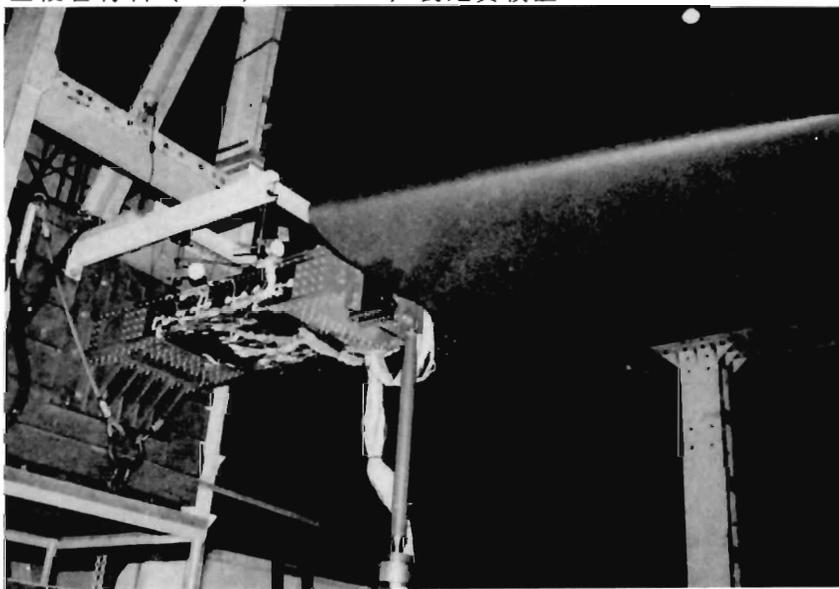
先進複合材料の非破壊評価

航空宇宙技術研究所 松嶋 正道

1. はじめに

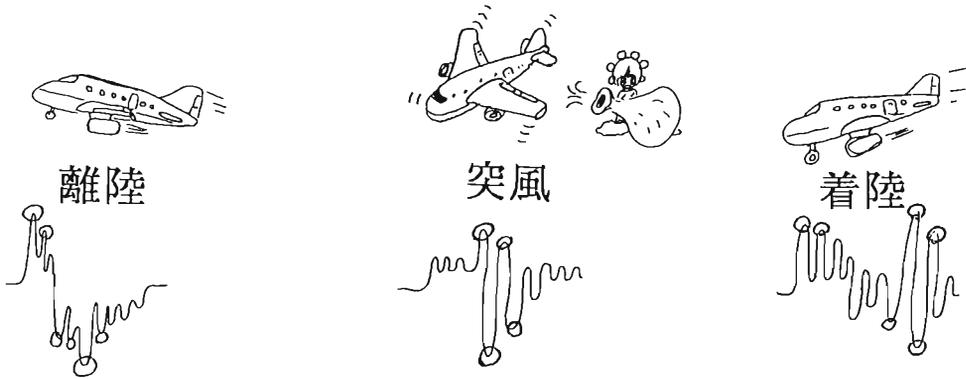
先進複合材料として、熱可塑樹脂（PEEK：ポリエーテルエーテルケトン）を用いた炭素繊維複合材が実用化に向けて進行している。従来の熱硬化樹脂（EPOXY）に比較して靱性が高く、層間の剝離（デラミネーション）強度が格段と高い性能を持っている。また、大きな特長として再融着が可能であり、補修も含めて注目されている。ここでは、熱可塑樹脂複合材（CF/PEEK）製尾翼模型のボックスビーム構造を製作した。この供試体を実荷重による疲労試験（120007ライト）を行い、残留強度を求めた。その際に、超音波探傷、多点AE計測、赤外線応力計測などを試みた結果を報告する。

2. 熱可塑複合材料（CF/PEEK）製尾翼模型



全CF/PEEK製本模型と実機翼構造との関連
の概念と組立法・寸法の概略

3. 実荷重を模擬した疲労試験



4. 非破壊検査の適用と評価

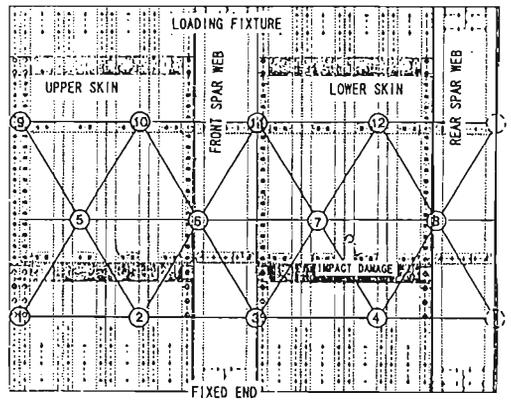
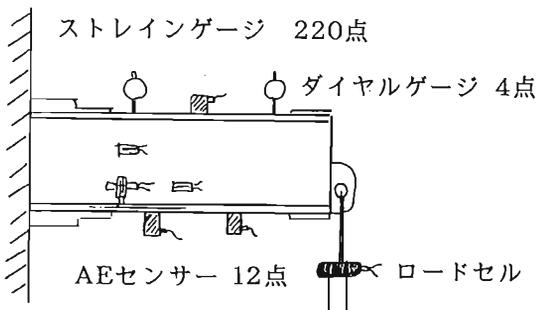
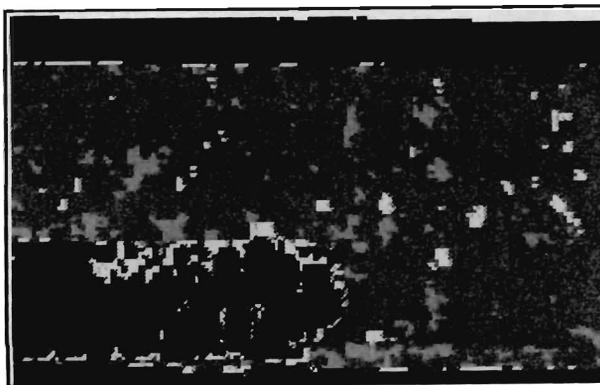


図 構造の展開とAEセンサー配置



衝撃損傷部Cスキャン

5. おわりに

CF/PEEKボックスビーム構造の疲労試験、残留強度試験時における各種非破壊検査を試みた結果、超音波探傷による衝撃ダメージ部の定量的判断を行い、多点AE計測による損傷部評定を行い、十分に納得できる結果となった。

表面SH波探触子のエコーの指向性に関する 実験的検討

Experimental Study of Directivity for Surface SH Wave Probe

日本鋳鉄管機エンジニアリング部 高橋 雅和
木村超音波探傷研究所 木村 勝美
ジャバンプローブ機 星野 充宏

概 要

表面SH波探触子の指向性に関する実験的検討を行なった。実験は、5MHzで屈折角90°及び70°、振動子寸法10×10mmと5×5mm及び2MHzで屈折角90°及び70°、振動子寸法10×10mmである。表面SH波探触子の指向性は深さの異なる横穴を使用しビーム路程が一定となる条件で、横穴のエコー高さを測定して求めた。指向性は周波数が低く且つ振動子寸法が小さい程広い。振動子から発射された平面波が試験片の表面で位相差を持つ音源として指向性を計算した結果と実験結果を比較検討した。その結果、計算結果は実験結果を良く説明でき本計算方法の妥当性を示した。

1. はしがき

表面及びその近傍の傷の検出について表面波、クリーピング波及び表面SH波^{1)~8)}が用いられる。このうち、表面SH波は振動方向が探傷面と平行であるため、モード変換がなく^{9)~11)}、また距離による減衰も比較的少ない。最近のSH波用接触媒質の進歩⁴⁾でその使用範囲の拡大が期待される。

表面SH波探触子の指向性(エコーしての指向性)に関する実験的検討を行なった。実験は、5MHzで屈折角90°及び70°、振動子寸法10×10mmと5×5mm及び2MHzで屈折角90°及び70°、振動子寸法10×10mmである。表面SH波探触子の指向性は木村¹²⁾がSV波の斜角探触子について実施したと同様に深さの異なる横穴を使用しビーム路程が一定となる条件で、横穴のエコー高さを測定して求めた。

指向性は周波数が低く且つ振動子寸法が小さい程広い。振動子から発射された平面波が試験片の表面で位相差を持つ音源として指向性を計算した結果と実験結果を比較検討した。その結果、計算結果は実験結果を良く説明でき本計算方法の妥当性を示した。以下実験結果とその考察を述べる。

2. 実験内容

1) 探触子: 実験に使用した探触子は表1の6種類である。

表1 実験に使用した探触子

探触子形式	試験周波数	探触子形式	試験周波数
5C10×10A90-SH	4.7MHz	5Z5×5A90-SH	5.1MHz
5C10×10A70-SH	4.5MHz	5Z5×5A70-SH	5.2MHz
2Z10×10A90-SH	2.2MHz	2Z10×10A70-SH	2.2MHz

2Z10×10A90-SH及び2Z10×10A70-SHでは、垂直横波探触子と(2Z10×10SN)アクリル樹脂の楔を図2ように組み合わせた。

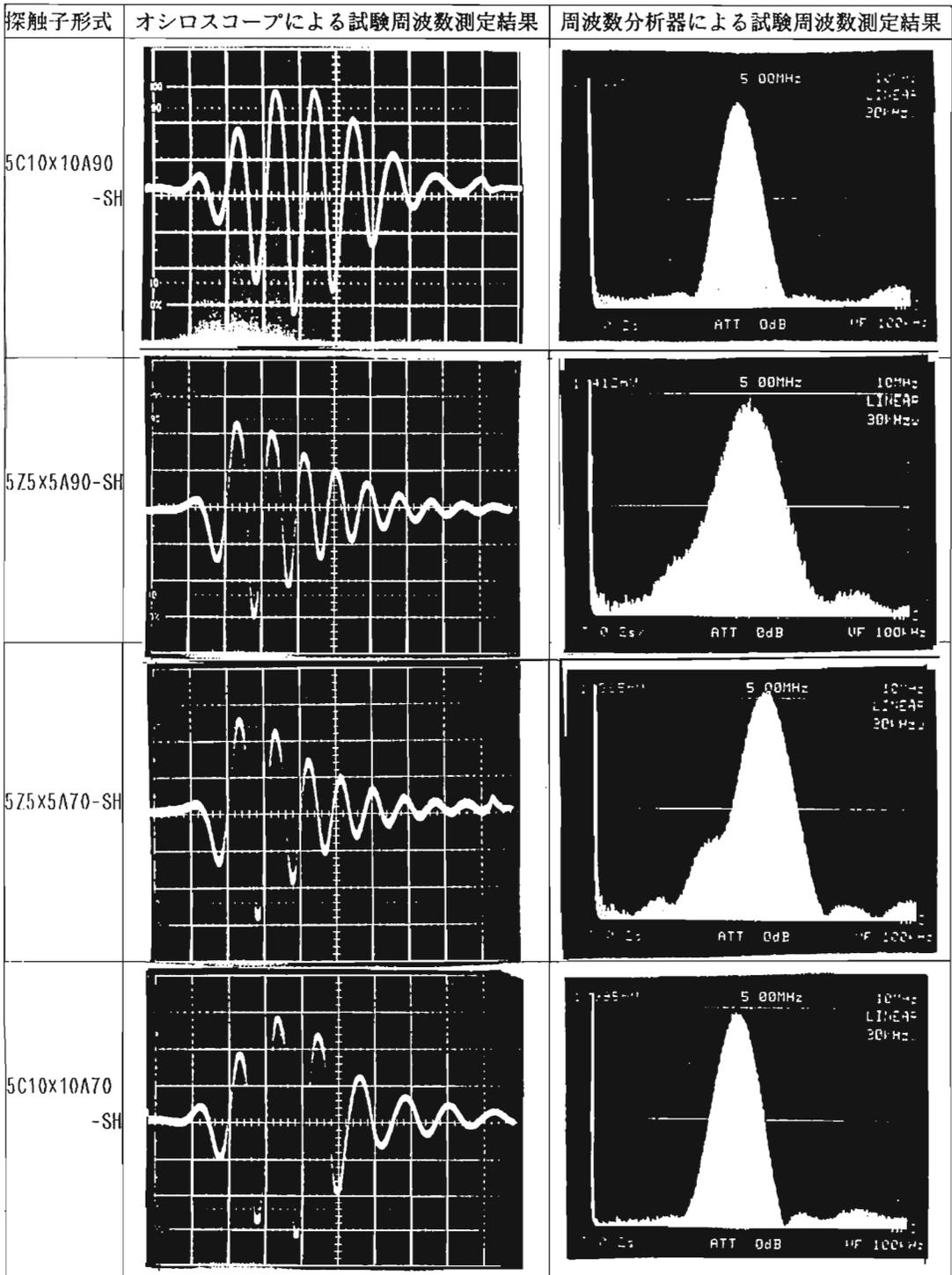


図1 R50面のエコーの周波数測定結果

試験周波数の測定では、反射源はR50面で、最大エコーを求めオシロスコープ及び周波数分析器により試験周波数を測定した。周波数の測定結果は図1に示す。

2Z10x10A90-SH 及び2Z10x10A70-SH の周波数の測定結果は文献¹³⁾ に示したので省略した。

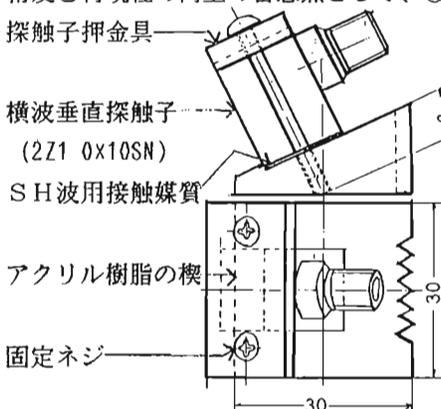
2) 超音波探傷器：三菱電機製FD610S

3) 試験片 : R50×幅100mm の半円の試験片 (材質SB410) と横穴試験片として材質SHCM439, 厚さ60mm×幅30mm×長さ420mm、深さ4mm ~ 36mmで4mm ステップのφ3.0mm の横穴を加工した試験片A、深さ3mm ~ 37mm、φ3.0mm の横穴試験片B及び深さ1.0mm ~ 4mm、φ1.5mm の横穴試験片Cを使用した。SH波の場合には試験片の側面に対してはSV波となり、モード変換の影響が生ずるので試験片の幅は十分大きいことが望ましいが、ビーム路程を一定にして測定することで、モード変換の影響は避けられると考えた。

4) 接触媒質 : 日合アセチレン(株)製の横波専用のソニコート-SHN13を使用した。

5) 実験条件と方法

- (1) 測定範囲は垂直横波探触子5Z10X10SN とSTB-N1を使用し横波100mm とした。
- (2) 入射点はR50×100 半円状試験片を使用し、R50面の最大エコー高さを求めその時のR50面の先端から探触子前面までの距離をスケールで測定し『50-測定値』とした。
- (3) 屈折角はA90-SHでは試験片のエコーで測定できないので設計値のままとし、A70-SHではφ3.0mm の横穴のピークエコーを求めその時の横穴の深さと探触子距離から求めた。
- (4) 指向性は、横穴のエコーのビーム路程が50mm一定な条件で(図3)エコー高さを測定した。エコー高さはCRT上50%にした時の感度目盛りを読みとつた。エコー高さの測定精度と再現性の向上の留意点として、①少量の接触媒質をつけ数回探触子を前後操作しその探触子押金具



の膜厚を均一にした。②探触子から手を離してもエコー高さが低下せず安定し、且つ探触子の前後操作が可能な状態でエコー高さを測定した。③実験室内の室温は21~22° に保つた。

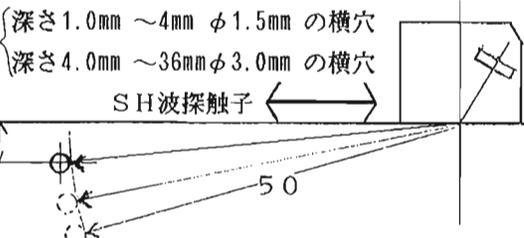


図2 垂直横波探触子2Z10X10SN と楔の組み合わせ

図3 横穴のエコー高さの測定



図4 実験状況

3. 実験結果と考察

3.1 結果

図5は深さの異なる横穴のエコー高さを測定し指向性を求めた。左側は屈折角 90° 、右側は屈折角 70° の場合である。上段は振動子寸法 $10 \times 10\text{mm}$ 、中段は $5 \times 5\text{mm}$ 、下段は周波数 2MHz 、振動子寸法は $10 \times 10\text{mm}$ の場合である。

1) 図5aの5C10X10A90-SHでは表面側の指向性は非常に鋭い、表面から深さ 4.0mm $\phi 3.0\text{mm}$ の横穴のエコー高さが最大で、これは角度 84.5° のビームに相当する。更に表面近傍について表面から深さ $1.0\text{mm} \sim 4.0\text{mm}$ $\phi 1.5\text{mm}$ の横穴のエコー高さを測定した。その結果深さ 1.0mm $\phi 1.5\text{mm}$ の横穴のエコーが最大で、これは角度 88.2° のビームに相当する。この結果表面側の音場が最も強いことが確認できた。厳密に表面の音場の確認は出来ない。深さ 8mm $\phi 3.0\text{mm}$ の横穴のエコー高さは深さ 4mm のものと比較して僅か低下(-1dB)しているだけで角度 81.1° のビームに相当する。しかし、深さ 12mm の横穴のエコー(角度 76.5° のビームに相当)は急に低下(9dB)している。

2) 図5bの5Z5X5A90-SHでは、図5aの5C10X10A90-SHに比較して指向性は広く、表面から深さ $1.0\text{mm} \sim 4.0\text{mm}$ $\phi 1.5\text{mm}$ の横穴のエコー高さには変化はない。また、深さ 4mm と 8mm の $\phi 3.0\text{mm}$ の横穴のエコー高さは同じであった。このことは角度 $90^\circ \sim 81.1^\circ$ のビームでは音場が等しく、表面側の指向性が非常に強いことを示している。深さ 12mm の横穴のエコー(角度 76.5° のビームに相当)の低下は 4.5dB であり図5aの5C10X10A90-SHに比較して低下は少ない。深さ 16mm (角度 71.9° のビームに相当)で -7dB 、深さ 16mm (角度 67.1° のビームに相当)で -15dB であり指向性は広い。

3) 図5cの2Z10X10A90-SHでは5Z5X5A90-SHに比較し更にビームは広がっている。ビームの広がり方は5C10X10A90-SH \rightarrow 5Z5X5A90-SH \rightarrow 2Z10X10A90-SHの順に大きくなっている。

4) 図5dの5C10X10A70-SHでは、深さ 16mm の横穴のエコー(角度 71.9° のビームに相当)を基準にして比較すると、深さ 12mm で -1.5dB 、 8mm で -12.5dB 、 20mm で -2.0dB 及び 24mm で -29dB でビーム幅は非常に狭い。深さ 16mm の横穴の最大エコーが得られる探触子距離から求めた屈折角は $\theta = \tan^{-1}((33.5+10)/16) = 69.8^\circ$ でほぼ中心ビームは屈折角 70° で設計値と一致している。

5) 図5eの5Z5X5A70-SHでも5C10X10A70-SHと同様に深さ 16mm の横穴のエコー(角度 71.9° のビームに相当)を基準にして比較すると、深さ 12mm で -1.0dB 、 8mm で -4.0dB 、 20mm で -0.5dB 及び 24mm で -11.5dB でエコー高さの低下は5C10X10A70-SHに比較して小さい。即ちビームは広がっている。深さ 16mm の横穴の最大エコーが得られる探触子距離から求めた屈折角は $\theta = \tan^{-1}((38+6)/16) = 70.0^\circ$ で設計値と一致している。

6) 図5fの2Z10X10A70-SHでは5Z5X5A70-SHと傾向が類似しているがビームは更に広がっている。屈折角 90° の場合と同様にビームの広がり方は5C10X10A70-SH \rightarrow 5Z5X5A70-SH \rightarrow 2Z10X10A70-SHの順に大きくなっている。

3.2 エコーの指向性の計算方法¹⁴⁾

図6に示すように、探触子から色々な角度 ϕ で R なる距離にある微小欠陥のエコー高さを計算することにより、SH波斜角探触子のエコーの指向性を計算した。図6において高さ H 、紙面に垂直方向の寸法 W の横波振動子があり、楔角 α の楔内に垂直に、紙面に垂直方向に振動する横波超音波(SH波の周波数 f)が放射され、限られた平面波の超音波が

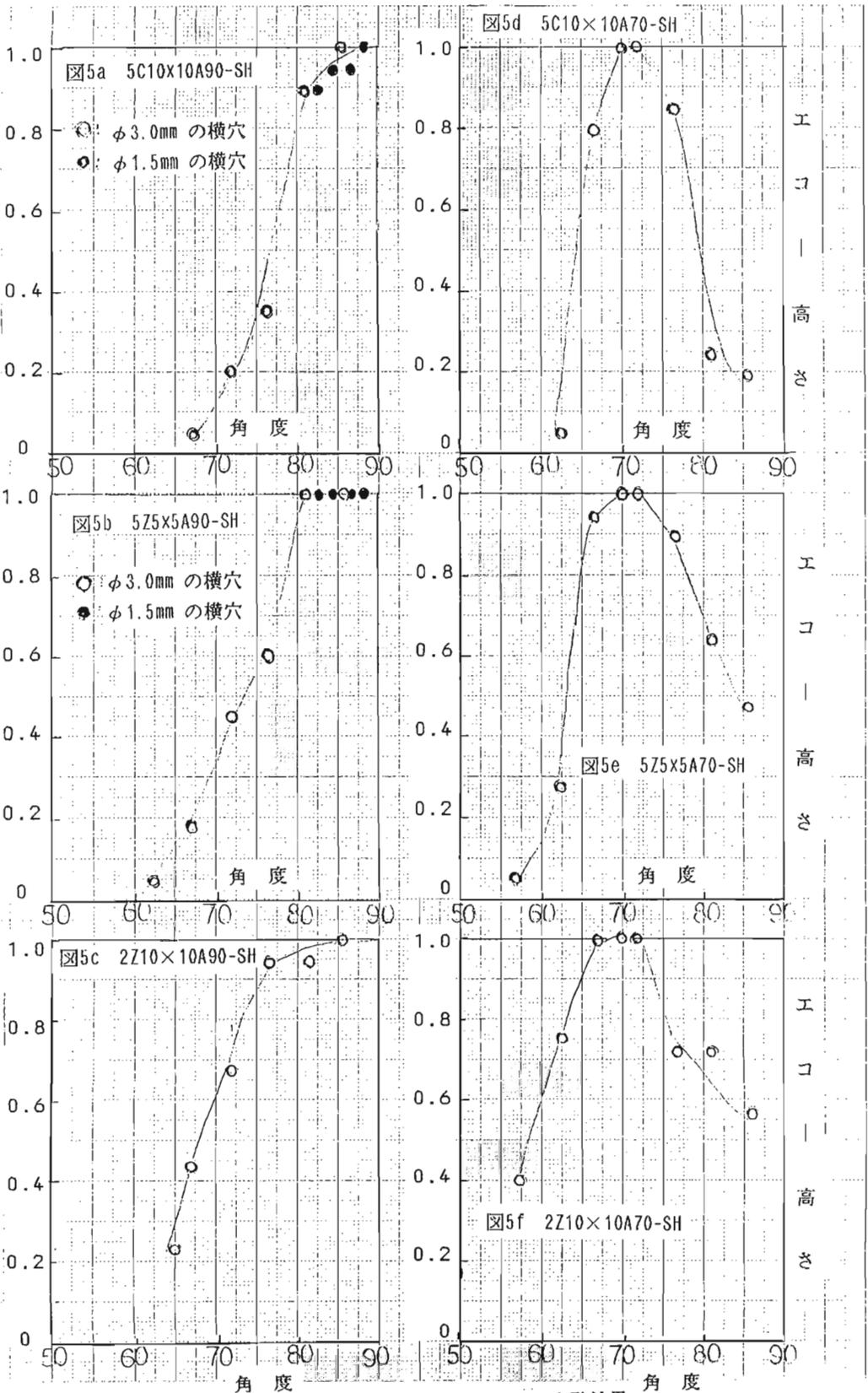
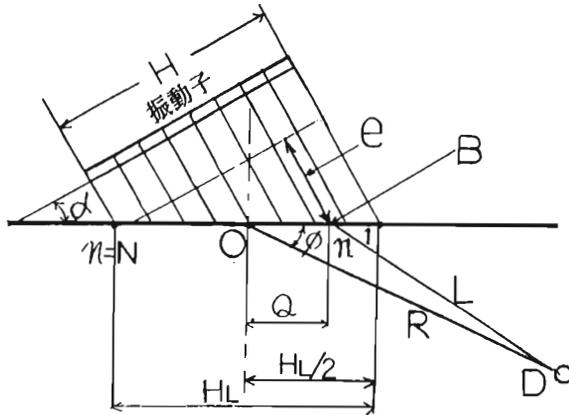


図5 横穴のエコー高さを測定し指向性を求めた実験結果



試験片の表面に到達するものとする。振動子の高さをN個に分割して考える。試験片の表面では、 $H_L = H/\cos\alpha$ で紙面に垂直な方向の寸法Wの範囲に、紙面に垂直な方向に振動し、長さが $\Delta Q = H_L/N$ である微小な横波音源が、位相差 $k'e$ で振動する可以考虑することができる。

図6 SH波斜角探触子によるエコーの指向性の計算方法

ここで、 $k' = 2\pi/\lambda_w$ 、 $\lambda_w = C_w/f$ 、 $e = (N-n)\Delta Q \sin\alpha$ である。n番目のB点の面積 ΔA の部分に入射した超音波によりD点に生じる音圧Pは式(1)になる。 α ：入射角、 λ_w ：楔内での波長、 λ ：試験片内での波長、R：OD間の距離、L：BD間の距離、e：楔内の路程差、Q：OB間の距離、 ΔA ：B点の微小面積、 ϕ ：試験片表面と線ODとの角度である。

$$P = \frac{e^{-i(kL+k'e)} \cos\alpha}{\lambda L} \Delta A \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{ここで、} kL = \frac{2\pi}{\lambda} (R^2 + Q^2 - 2RQ\cos\phi)^{0.5} \dots\dots\dots (2)$$

$$k'e = \frac{2\pi}{\lambda_w} \Delta Q (N-n)\sin\alpha \dots\dots\dots (3)$$

$$\alpha = \sin^{-1}(\sin\theta \times C_w / C_s) \dots\dots\dots (4)$$

$$Q = H_L/2 - \Delta Q (n - 0.5) \dots\dots\dots (5)$$

$$\Delta Q = H_L/N \dots\dots\dots (6)$$

振動子によつて微小欠陥D点に生じる音圧をIとすると式(7)になる。

$$I = \cos\alpha \iint_A \frac{e^{-i(kL+k'e)}}{\lambda L} \dots\dots\dots (7)$$

ここで、 $dA = \Delta Q \times 1\text{mm}$ 、 $A = \text{振動子の面積} = H_L \times 1\text{mm}$ 、 $N=100$ 、この場合もエコー高さ計算定理¹⁴⁾が適用できるものとする、エコー高さは式(8)となる。なお、 $dS=1\text{mm}^2$ である。

$$\frac{P_F}{P_0} = \frac{1}{A} \int I^2 dS \dots\dots\dots (8)$$

3.3 計算値と実験値の比較

図7は試験片の表面に位相差を持つ点音源として指向性を計算した結果と図5の実験結果の比較を示す。

1)計算値と実験値には若干の差はあるものの、5C10x10A70-SHの場合を除き計算値と実験値はよく一致している。特に、屈折角90°では計算値と実験値は非常に良く一致している。表面SH波探触子の指向性の計算結果は実験結果を良く説明でき計算方法の妥当性を示している。

2)指向性は周波数、屈折角及び振動子寸法から容易に計算出来。

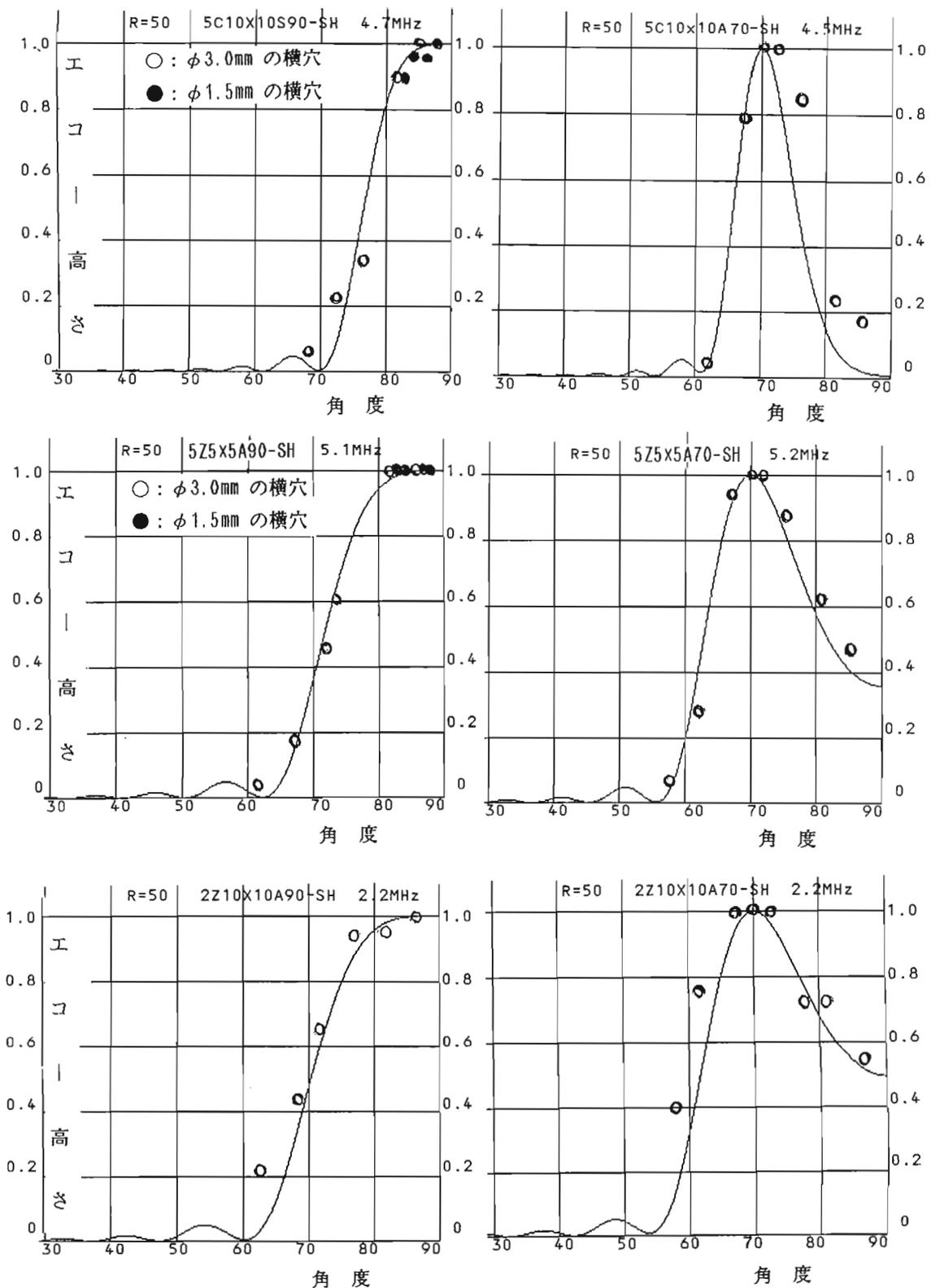


図7 試験片の表面に位相差を持つ点音源としてエコーの指向性の計算と実験結果の比較

4. 結 語

表面SH波探触子の指向性を求めるため、深さの異なるφ3.0mmの横穴のエコー高さをビーム路程が一定の条件で測定した。その実験結果と試験片の表面に位相差を持つ音源としての指向性を求めた結果と比較検討した。その結果次の結論が得られた。

- 1) 今回の実験範囲で指向性は屈折角 90° 及び 70° でも、周波数5MHzで振動子寸法は 10×10 mmが最つとも鋭く、続いて振動子寸法は 5×5 mm及び周波数2MHzで振動子寸法は 10×10 mmの順にビームが広がっている。主ビームの方向は設計屈折角と一致している。
- 2) 指向性は試験周波数、屈折角及び振動子寸法に影響する。
- 3) 試験片の表面に位相差を持つ音源として指向性を計算した結果は実験結果を良く説明でき、本計算方法の妥当性を示している。
- 4) 今回の計算方法で表面SH波探触子の指向性は試験周波数、屈折角及び振動子寸法より容易に計算できる適正な探傷の検討に役立つ。

参考文献

- 1) 戸田裕己他：鉄道車輪用車軸のフレッティング疲労亀裂の表面SH波による定量評価、非破壊検査、40(3)、p158~164、(1991)
- 2) 横野泰和他：表面SH波の特性と表面傷の検出に関する検討、平成5年度春季大会講演概要集、p101~102、(1993)
- 3) 高橋雅和：表面及びその近傍を伝播する波に関する実験的検討、非破壊検査、42(8)、p44 8~454、(1993)
- 4) 高橋雅和、星野宏充：表面SH波探触子の一実験について、超音波シンポジウム、p9~16、(1994)
- 5) 横野泰和、南康雄、迎静雄、加藤光昭、西尾一政：表面SH波によるきずの定量評価、平成6年度春季大会講演概要集、p1~6、(1994)
- 6) 高橋雅和：表面及びその近傍を伝播する超音波に関する実験的検討、非破壊検査、43(10)、P658~664、(1994)
- 7) 立川克美他：『裏当て金付完全溶け込みT継手のルート部からのエコー判別方法に関する指針』（1995改正版）、非破壊検査、44(12)、P946-950、(1995)
- 8) 横野泰和、南康雄、加藤光昭、西尾一政：表面SH波探傷における試験条件の選定方法に関する検討、平成7年度春季大会講演概要集、p69~76、(1995)
- 9) J.D.Achenbach:Wave Propagation in Elastic Solid, North-Holland Elsevier, Inc, p169-184、(1990)
- 10) 福岡秀和、戸田裕己、平尾雅彦：音弾性の基礎と応用、p16~19、オーム社(1993)
- 11) 高橋雅和：SH波、SV波及び縦波のモード変換による反射損失に関する実験的検討、非破壊検査、43(5)、p285-292、(1994)
- 12) 木村勝美：横穴による斜角探触子の指向性測定と接触媒質の厚さの影響、非破壊検査、24(2)、P88~89、(1975)
- 13) 高橋雅和、木村勝美、星野宏充：SH波の往復通過率に関する実験的検討、平成7年度秋期大会講演概要集、p399~406、(1995)
- 14) 木村勝美：SH波によるエコー高さと指向性の計算、NDI資料No.21521、(1995)
- 15) 木村勝美：垂直探触子のAVG線図の計算、非破壊検査、27(10)、p667~671、(1978)

裏当て金付完全溶込みT継手のルート部 からのエコー判別方法に関する実験

Technical reports of Ultrasonic Examination for Judgement Method of Echo
from Defects and/or Parasitic Echo at Root of Single Bevel Groove Welded
T-Joints with Backing Strip

溶接部の超音波探傷研究委員会
委員長 立川 克美

概 要

本WGでは、裏当て金付完全溶込みT継手溶接部のルート部からのエコー判別に関する202指針の改正に当たり、次の項目を主目的とした。

- ① 日常的探傷作業で使用する現場での判断が容易な指針とする。
- ② 適用板厚範囲を拡大する。

実験は超音波探傷試験によるきずの位置と断面マクロ試験との整合性並びにエコー高さから判別し合致率を求めた。その結果、屈折角65°の探触子及びSH波斜角探触子による判別方法の有効性が確認された。

裏当て金付T継手のルート部の欠陥判別WG委員構成表

リ-ダ- ; 立川 克美	千葉県機械金属試験場	委員 ; 岡 賢治	(株)検査技術研究所
幹 事 ; 荒井 均	(株)キュー-ソコンサルタント	笠原 基弘	日本超音波試験(株)
柏瀬 一彦	東京理学検査(株)	加藤 功	(株)検査技術研究所
上平 綱昭	エソジニアリングサービス(株)	小池 光裕	三菱電機(株)
倉持 貢	清水建設(株)技術研究所	幸崎 進	シヅハソフローブ(株)
城島 保茂	(株)東京鉄骨橋梁製作所	鈴木 孝信	(株)帝通電子研究所
名取 孝夫	(株)ジャスト研究所	鈴木 優治	(株)エ・アイ・シー
委員 ; 有井伸一郎	(株)シーエックスアール	松村 民久	日本検査コンサルタント(株)
有馬 良雄	(株)検査サービス	丸山 和則	北日本X線検査工業(株)
井川 敏之	(株)アイ・エム・シー	南 康雄	非破壊検査(株)

1. まえがき

建築鉄骨構造物に適用されることの多い裏当て金付レ形開先溶接部の探傷では、ルート部付近に溶込み不良との区別が困難な形状エコーが得られることが多い。この問題を解決するため、202小委員会のWG-17から1982年に「裏あて金付完全溶込みT継手溶接部のルート部からのエコー判別方法に関する指針」¹⁾(以下202指針という)が示されたが、近年種々の事情から改正の要望が高まり212小委員会の中に当ワーキンググループ(WG)が発足した。

WGはNDIの接合部の超音波探傷研究委員会を中心に、日常業務として建築鉄骨構造物の検査に関係の深いCIW検査事業者協議会、構造物第三者検査機関協会(STIA)に所属する検査会社の協力を得た。

改正作業では次の項に重点を置いた。①日常的な判別の作業規準として使用可能なものにする。②薄板側及び厚板側への適用板厚の拡大を図る。③定量的な判断項目を使用する。④判別の合致率向上が見込めるような手法の検討。

実験は予備実験と11回の集合実験から超音波探傷とマクロ試験結果の整合性を実験した。予備実験の結果については中間報告²⁾を行ったが、今回で一応の実験を終了したのでここに報告する。

2. 判別対象の断面形状

裏あて金付T継手の溶込み不良の例を図1に示す。この形から本報告ではL形溶込み不良及びI形溶込み不良と称する。図2は形状エコーが認められる代表的な例で、溶込み先端部(通称 たれ込み)を反射源とするもので、これらのエコーをビーム路程だけで判別を行うのは極めて困難で、他の情報や条件を基に的確な判別の手法が望まれている。

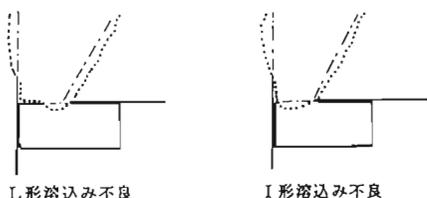


図1 裏あて金付溶接部の溶込み不良

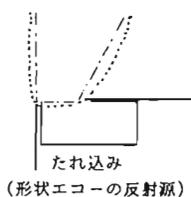


図2 溶込み先端部の形状

表3 使用探傷器

ポータブル型	UFD-360 (帝通電子研究所)
	FD-670 (三菱電機)
デジタル型	UI-21 (三菱電機)
	AD-3213 (エー・アンド・デイ)

表1 試験体の種類

板厚 (mm)	反射源の種類	試験体数及び探傷箇所
6, 9, 12 19, 25, 36 50, 80.	L形溶込み不良	原則として板厚毎に各きずの試験体を2体ずつ作成。各試験体ともエコー高さの安定しているところ3箇所を測定位置とした。
	I形溶込み不良	
	形状反射源 (たれ込み)	

表2 使用探触子

モード	周波数	振動子寸法	公称屈折角
SV波	5	10×10	75°, 70°, 60°, 45°, 65°
		14×14	70°, 65°, 60°
		10×10	70°, 65°, (広帯域)
	2	14×14	70°, 65°, 60°, 45°
20×20		70°, 65°, 45°	
SH波	5	10×10	(表面SH, 70°, 60°, 45°)
		5×5	(表面SH)
	2	10×10	(表面SH)
クリーピングクウェーブ	5	10×10 ダブル	-

◆印は本実験にて使用

3. 実験方法

予備実験を板厚19mm, 22mm, 40mm, 46mmの試験片について行い、探触子と実験手法をセレクトした。その結果²⁾, SV波斜角探傷によるきずの深さ位置とエコー高さを考慮した実験及びSH波を利用した裏面からの探傷を実施することにした。

3.1 試験体

炭酸ガス半自動溶接にて作製した試験体の種類を表1に示す。断面マクロ試験の結果、

L形溶込み不良の発生はまれで、大半はI形の形状となったため、実験データのまとめではL形とI形を併せてきずとして示すことにした。

3. 2 装置

実験に使用した探触子及び探傷器を表2、表3に示す。

実験では市場の各メーカーの装置は原則としてきずの検出性に機差はないものとし、アナログ型探傷器2機種を使用した。デジタル探傷器は予備実験のみ使用した。

探触子についても2社(㈱検査技術研究所, ジャパンプローブ㈱)のものを使用した。

なお、標準試験片はSTB-A1, A2, 及び建築学会規準のARBを使用した。

4. SV波斜角探触子による探傷

SV波による斜角探傷は実験のファクター、使用探傷器、探触子の組み合わせから膨大な量となるため、予備実験の結果を基に表2に◆印で示す探触子を使用した。

セレクトされた11種類の探触子(2メーカーで22個)と探傷器の組み合わせでも、試験個所は149個所、斜角探傷の測定点数は1700余りに達した。

本報告はこの中から、マクロ試験と探傷結果からきずエコーと形状エコーとに判別する際の合致率が良好であった探触子及び建築学会規準で板厚75mm以上の探傷に使用されている2C20×20A70の探触子の結果を示すこととする。

5. 結果

5. 1 エコー高さ領域の結果

きずエコー及び形状エコーのエコー高さ領域を探触子の種類と板厚区分に分類して示したのが図3である。図中の左の数字はデータ数を表し、棒グラフでは左側の領域Iから右側の黒塗り領域IV+6dB(建築学会規準の領域V)までを出現した頻度で表している。

この結果から、2C20×20A70以外の探触子では形状エコーにおいては領域IVを超えるものは無かった。

5. 2 SV波斜角探傷によるきずの深さ

きずの深さ位置は最大エコーのビーム路程で計算したが、探傷実験とマクロ実験を繰返すうちに、所定の探傷感度でも得られるきずの上端部エコーを用いてきずの位置とした方が、きずと形状エコーとを正しく判別できることが分かり、後半の実験では上端部エコーを努めて検出することにした。

図4は本実験で用いたきずの位置を示したもので、以下の図表は板厚の底部を0mmとし、溶込み不良側をマイナス、裏当て金側に溶け込ん

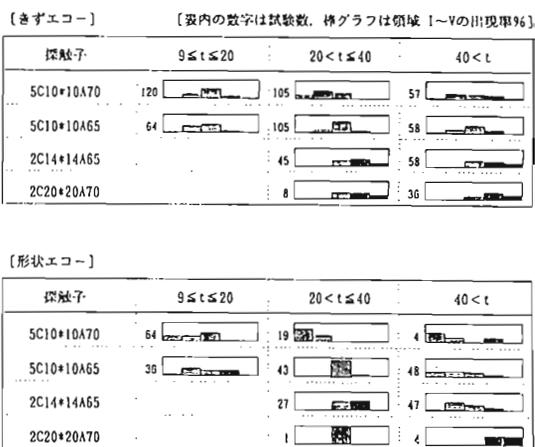


図3 きずと形状エコーのエコー高さの領域

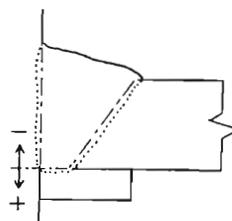


図4 きず位置の表示方法

だ方向をプラスで表示している。

斜角探傷による最大エコーが得られたビーム路程での反射源位置深さと、マクロ試験による反射源の推定位置との関係を図5, 6, 7に示す。上端部エコーが検出されたきずの位置とマクロ試験の結果を図8, 9, 10に示す。図11に2C20×20A70の結果を示す。

この結果から、超音波探傷のデータからは実際よりはやや深めに検出されており、図には示していないが、I形の溶込み不良の方がこの傾向は顕著であった。この要因として、I形の溶込み不良はL形の様な明瞭な反射源形状を持たないため、板厚の下方の当て金の何らかの形状を反射源とするエコーを最大エコーとして捉えているためと思われる。

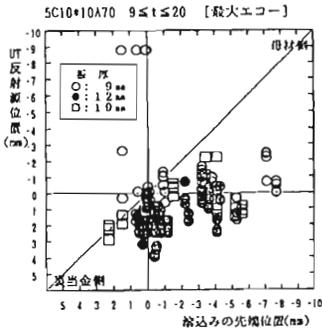


図5 5C10×10A70

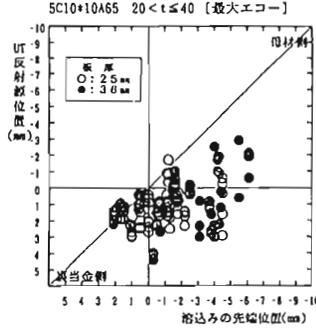


図6 5C10×10A65

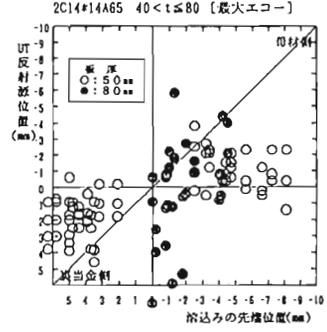


図7 2C14×14A65

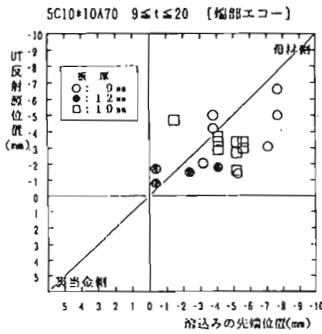


図8 5C10×10A70

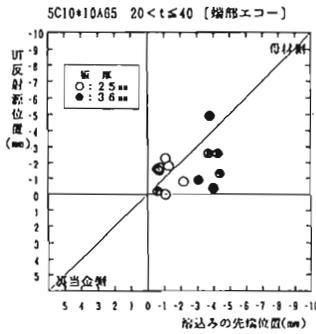


図9 5C10×10A65

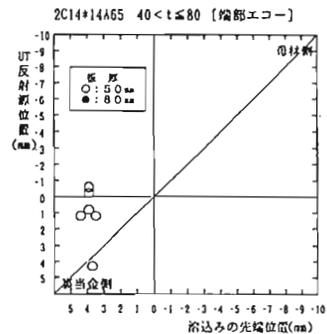


図10 2C14×14A65

5. 3 きずの深さとエコー高さから判別した合致率

5.1及び5.2で得られた結果から、探触子別に板厚区分で合致率を表した。図12はエコー高さ領域Ⅱ(L線カット法)で板厚以下は形状エコーとする方法で、この手法では形状エコーの合致率は高いが、きずの合致率はかなり低く、溶込み不良を見逃す率が高くなる。

図13はきず深さのしきい値を板厚+1mmに下げ、エコー高さ領域をⅢに引き上げたもので、前の図12と比較して、40mm以下の板厚区分で形状エコーの合致率を下げることなくきずの合致率を向上させることができる。なお、板厚9mmの探傷では1.5スキップ法を適用した。

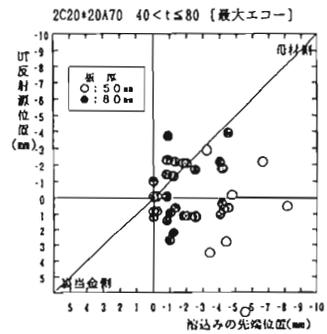


図11 2C20×20A70



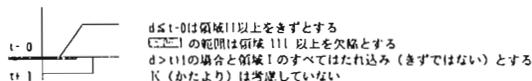
【きず(溶込不良)】 【表内の左側の数字は試験数、グラフおよび右側の数字は合致率】

探触子	9 ≤ t ≤ 20		20 < t ≤ 40		40 < t	
SC10*10A70	120	30%	105	15%	57	35%
SC10*10A65	64	45%	105	22%	58	46%
2C14*14A65			45	48%	58	68%
2C20*20A70			8	25%	36	50%

【たれ込み】

探触子	9 ≤ t ≤ 20		20 < t ≤ 40		40 < t	
SC10*10A70	64	98%	19	94%	4	75%
SC10*10A65	36	86%	43	100%	48	100%
2C14*14A65			27	88%	47	93%
2C20*20A70			1	100%	4	50%

図 1 2 きず深さとエコー高さの合致率 (t + 0 mm, 領域 II 以上)



【きず(溶込不良)】 【表内の左側の数字は試験数、グラフおよび右側の数字は合致率】

探触子	9 ≤ t ≤ 20		20 < t ≤ 40		40 < t	
SC10*10A70	120	46%	105	27%	57	47%
SC10*10A65	64	59%	105	50%	58	63%
2C14*14A65			45	73%	58	84%
2C20*20A70			8	25%	36	72%

【たれ込み】

探触子	9 ≤ t ≤ 20		20 < t ≤ 40		40 < t	
SC10*10A70	64	93%	19	94%	4	75%
SC10*10A65	36	80%	43	74%	48	95%
2C14*14A65			27	33%	47	80%
2C20*20A70			1	0%	4	25%

図 1 3 きず深さとエコー高さの合致率 (t + 1 mm, 領域 III 以上)

表 4 上端部エコーを用いた合致率

板厚: 9 ≤ t ≤ 20 探触子: SC10*10A70 判別対象範囲: W: 5S±10, K=±3
きずとする板厚区分および領域区分: d ≤ t+1mm かつ 領域: III 以上

項目	きず	たれ込み
試験数	120個	64個
0.5スキップ法による合致率	30.0%	98.4%
領域Vおよび区内条件による合致率	46.7%	93.8%
端部エコー判別を加えた合致率	64.2%	93.8%

表 5 上端部エコーを用いた合致率

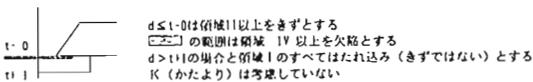
板厚: 20 < t ≤ 40 探触子: SC10*10A65 判別対象範囲: W: 5S±7, K=±3
きずとする板厚区分および領域区分: d ≤ t+1mm かつ 領域: III 以上

項目	きず	たれ込み
試験数	105個	43個
0.5スキップ法による合致率	22.9%	100.0%
領域Vおよび区内条件による合致率	50.5%	74.4%
端部エコー判別を加えた合致率	78.1%	74.4%

表 6 上端部エコーを用いた合致率

板厚: 40 < t 探触子: 2C14*14A65 判別対象範囲: W: 5S±10, K=±3
きずとする板厚区分および領域区分: d ≤ t+1mm かつ 領域: IV 以上

項目	きず	たれ込み
試験数	58個	47個
0.5スキップ法による合致率	69.0%	93.6%
領域Vおよび区内条件による合致率	79.3%	91.5%
端部エコー判別を加えた合致率	79.3%	89.4%



【きず(溶込不良)】 【表内の左側の数字は試験数、グラフおよび右側の数字は合致率】

探触子	9 ≤ t ≤ 20		20 < t ≤ 40		40 < t	
SC10*10A70	120	32%	105	15%	57	42%
SC10*10A65	64	50%	105	28%	58	51%
2C14*14A65			45	60%	58	77%
2C20*20A70			8	25%	36	72%

【たれ込み】

探触子	9 ≤ t ≤ 20		20 < t ≤ 40		40 < t	
SC10*10A70	64	98%	19	94%	4	75%
SC10*10A65	36	86%	43	100%	48	100%
2C14*14A65			27	66%	47	91%
2C20*20A70			1	100%	4	25%

図 1 4 きず深さとエコー高さの合致率 (t + 1 mm, 領域 IV 以上)

図 1 4 は板厚 + 1 mm のままで、さらにエコー高さ領域を IV に引き上げたもので、40 mm 以上の板厚範囲で 2C14 × 14A65 の形状エコーの合致率が向上している。

厚板材の探傷では一般に 2C20 × 20A70 の探触子が使用されているが、本実験からは判別の合致率は 2C14 × 14A65 の方が良好な結果が得られた。

5. 4 上端部エコーを用いた合致率

表 4, 5, 6 は、板厚区分による最上位の合致率を有する探触子のデータに、上端部エコーの得られたものはその位置を本来のきず位置として判別したもので、合致率の向上が認められる。しかし、板厚 40 mm 以上については、上端部エコーの適用を検討する以前に試験体の切断とマクロ試験を終えており、この表のデータからは云々できない。

6. SH波探触子による探傷

T継手の裏面側より判別を行う探傷方法として、予備実験でクリーピング波とSH波を使用したところ、SH波は超音波の伝達に問題があるが波形の見易さときずの大小によるエコー高さの差が大きく、溶込み不良の判別に適していることから実験を進めた。

6. 1 SH波の伝達特性

実験では日合アセチレン(株)製のソニコートSHN95を使用した。SH波の表面粗さの伝達特性を調べるために、探傷面を放電加工により探傷面粗さを変えたスリット試験体を探傷したところ、図15に示すような結果が得られ、通常黒皮付鋼材(20~60 μ mRmax)に対して感度補正の必要性は認められない。

6. 2 SH波の音場と板厚効果

図16はSH波斜角探触子の音場をシミュレーション³⁾したもので、振動子サイズ5x5では屈折角が75度以上になると表面及び表面近傍に音場を持つ^{4) 5)}。また、押し付け圧力等を考慮すると振動子サイズは10x10より5x5の方が有利である。

SH波の音場が板厚に与える影響について、図17に示すスリット試験体を用いたエコー高さの測定では薄板側の方が6dB程度高くなる傾向にある。

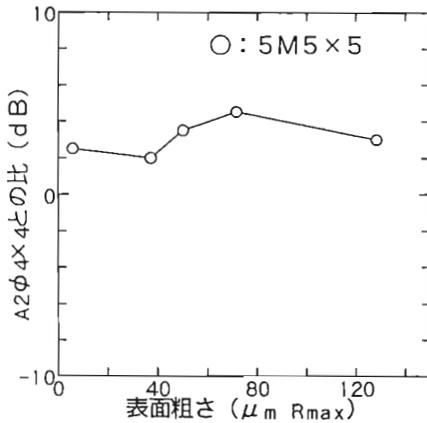


図15 表面粗さと伝達性

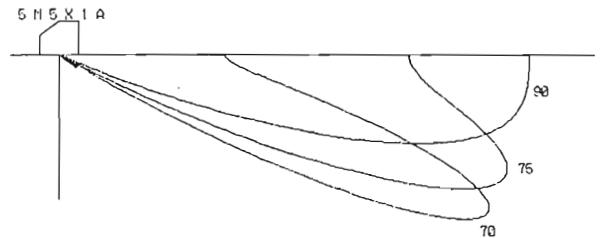


図16 SH波斜角探触子の音場

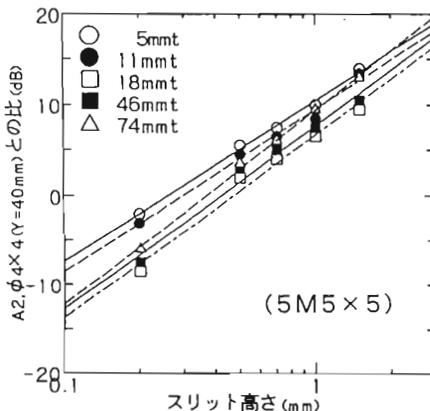


図17 板厚変化とエコー高さ

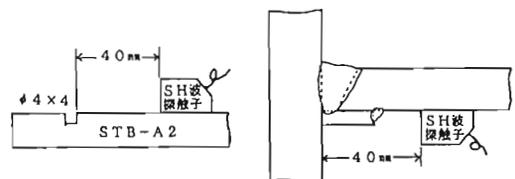


図18 感度調整と探傷方法

6. 3 溶接試験体の探傷

予備実験結果では5M5x5, 5M10x10, 2M10x10のSH波探触子に大きな相違は認められなかった。しかし、マンパワーによる安定した伝達を確保し、有効な音場を得るために本実験では5M5x5の探触子を用いることにした。

探傷感度は図17に示すようにSTB-A2形系の $\phi 4 \times 4$ と探触子間距離を40mmに保持しエコー高さを50%とした。音場の特性からこの探触子は表面波成分が大きく、データを安定化させるために探触子の前方にも接触媒質を塗布し表面波成分を取り除いた。溶接試験体に対しても裏当て金に直交する部材から40mmの位置に探触子を保持し、同様に表面波成分を除去した。

図19, 図20, 図21, 図22は5C5x5SH波斜角探触子による試験材裏面からのエコー高さ(基準感度との比)とマクロ試験による溶込みの先端位置を示したもので、図中の横軸プラス側は板厚以上の溶込み深さを、マイナス側は溶込み不良の板厚方向の高さを表している。

この結果から表7と図中の破線で示した溶込み不良と健全部のしきい値が得られた。溶込み深さ0mm(板厚)の縦線とで区切られた左上の区分は溶込み不良を示し、右下の区分は健全部を示している。これに対して右上と左下の区分は誤判定となる。SH波斜角探触子を用いて138個所の探傷を行った結果91%の合致率が得られた。

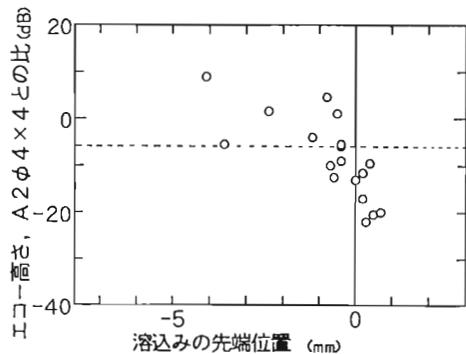
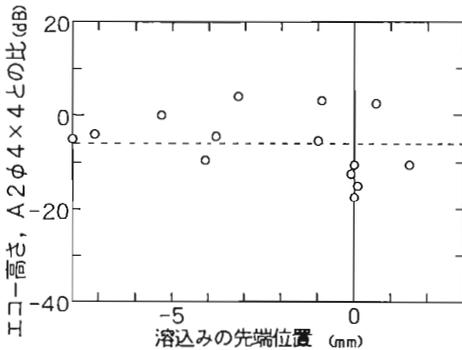


図19 きず高さとエコー高さ(板厚9mm)

図20 きず高さとエコー高さ(板厚12mm)

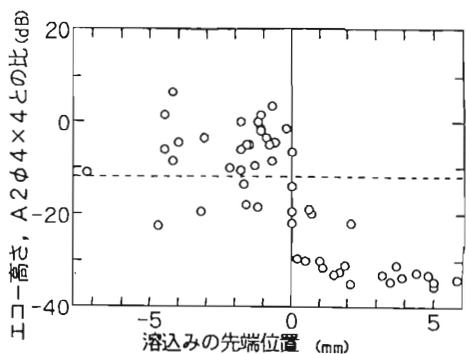
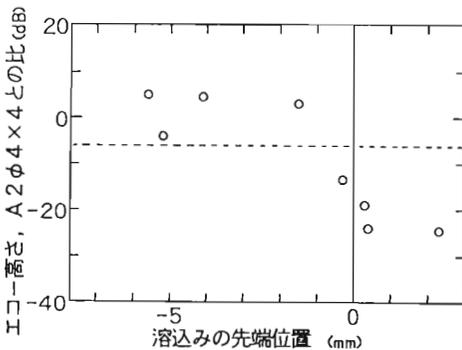


図21 きず高さとエコー高さ(板厚19mm)

図22 きず高さとエコー高さ(>20mm)

なお、裏当て金の溶接施工ではすみ肉溶接で母材と接合することもあるが、スリット試験片に裏当て金を取付てすみ肉溶接した試験体では+4 dBの感度補正を行えば同等に評価できる結果が得られた。

表7 判別するエコー高さの境界値

板厚区分	エコー高さの比($\lambda/2 \phi 4 \times 4$)
$9 \leq t < 20$	-6 dB
$20 \leq t$	-12 dB

7. まとめ

本指針改正に伴う実験から次の結果が得られた。

1. 判別適用の板厚範囲を9 mm～100 mmまで拡大できた。
2. 使用探触子は板厚区分により9 mm以上20 mm未満は5M10×10A70, 20 mm以上40 mm未満は5M10×10A65, 40 mm以上100 mm未満は2M14×14A65で高い合致率が得られた。
3. きずと形状エコーとを判別する深さのしきい値は板厚+1 mmとし、これにエコー高さ領域を組み合わせることで、合致率が向上した。
4. きずの位置は上端部エコーのビーム路程で計算した方が合致率は向上する。
5. SH波斜角探触子による探傷では超音波の伝達において若干の注意を要するが、判別で高い合致率が得られた。

謝辞

本指針改正の実験にあたり、2年余りの期間に数多くの方々のご努力と誠意に支えられ作業が終了したことに感謝の意を表します。特に試験体製作を担当した㈱東京鉄骨橋梁製作所、実験会場の千葉県機械金属試験場、器材を提供していただいたジャパンプローブ(株)、(株)検査技術研究所、(株)帝通電子研究所、三菱電機(株)、(株)エー・アンド・デイ、日合アセチレン(株)、また種々のご支援をいただいたCIW検査事業者協議会、構造物第三者検査機関協会並びに千葉県非破壊検査研究会に重ねて感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 202小委員会：裏あて金付完全溶込みT継手のルート部からのエコー判別方法に関する指針、非破壊検査31巻第7号P475～482
- 2) 212小委員会WG：裏あて金付完全溶込みT継手のルート部からのエコー判別方法に関する指針改正WG中間報告、NDI資料21484
- 3) 木村勝美：SH波探触子の音場プログラム、NDI212小委員会資料No.212-95(1994)
- 4) 高橋雅和、星野充宏：表面及びその近傍を伝搬する波に関する実験的検討(Ⅱ)、NDI資料21431
- 5) 高橋雅和、星野充宏：表面SH波探触子の一実験について、超音波による非破壊評価シンポジウム、P9～16

裏当て金付完全溶込みT継手のルート部からの エコー判別方法に関する指針 (1995 改正版)

溶接部の超音波探傷研究委員会

Guide Line for Judgement Method of Echo from Defects and/or
Parasitic Echo at Root of Single Bevel Groove Welded T-Joints
with Backing Strip in Ultrasonic Examination

by Ultrasonic inspection of Welds Sub-committee

溶接部の超音波探傷研究委員会委員長 立川克美
接合部の超音波研究委員会委員長 倉持 貢

裏当て金付T継手のルート部の欠陥判別WG委員構成表

リーダー；	立川 克美	千葉県機械金属試験場
幹 事；	荒井 均	(株)キューシーコンサルタント
	柏瀬 一彦	東京理学検査(株)
	上平 綱昭	エンジニアリングサービス(株)
	倉持 貢	清水建設(株)技術研究所
	城島 保茂	(株)東京鉄骨橋梁製作所
	名取 孝夫	(株)ジャスト研究所
委 員；	有井伸一郎	(株)シーエックスアール
	有馬 良雄	(株)検査サービス
	井川 敏之	(株)アイ・エム・シー
	岡 賢治	(株)検査技術研究所
	笠原 基弘	日本超音波試験(株)
	加藤 功	(株)検査技術研究所
	小池 光裕	三菱電機(株)
	幸崎 進	ジャパンプローブ(株)
	鈴木 孝信	(株)帝通電子研究所
	鈴木 優治	(株)エ・アイ・シー
	松村 民久	日本検査コンサルタント
	丸山 和則	北日本X線検査工業(株)
	南 康雄	非破壊検査(株)

1 適用範囲

この指針は探傷面の板厚が9 mm以上100 mm以下の裏当て金付完全溶込みT継手をパルス反射式の超音波探傷器を使用して探傷した場合の、ルート部付近から検出されたエコーをきずエコーと形状エコーに判別する方法について規定する。

2 用語の意味

この指針で使用する超音波探傷用語は、次に定義するものの他はNDIS 2001（超音波探傷試験標準用語）及びJIS Z 2300（非破壊試験用語）に規定されたものによる。

(1) 形状エコー

一般には裏当て金及び余盛等の形状に起因する妨害エコーのことをいうが、本指針では、裏当て金と直交する部材とのすき間の先端部から反射する通称“たれ込みエコー”をいう。

(2) 先端エコー

端部エコーのうち以下の条件を満たすエコーをいう。

1) 上端部エコーである。

2) 本指針5.5で取り扱うエコーである。

(3) 斜角判別法

本指針で規定する方法で、通常のSV波斜角探触子を用いてフローチャートによりきずエコーと形状エコーとに判別する方法をいう。

(4) SH判別法

本指針で規定する方法で、表面SH波斜角探触子を用いてフローチャートによりきずエコーと形状エコーとに判別する方法をいう。

(5) 判別対象範囲

本指針できずエコーと形状エコーとを判別する際に、判別対象とするビーム路程の範囲と溶接基準線に直角方向のきずの位置(k)の範囲をいう。

3 一般事項

本指針に規定する以外の一般事項は、JIS Z 2344（金属材料のパルス反射法による超音波探傷試験方法）、JIS Z 2345（超音波探傷試験用標準試験片）、JIS Z 2350（超音波探触子の性能測定方法）及びJIS Z 3060（鋼溶接部の超音波探傷試験方法）による。

4 判別法の選定

本指針の判別手法は「斜角判別法」と「SH判別法」の2種類とする。ただし、「SH判別法」は当事者間で事前に協議を行ったうえで採用することとする。

5 斜角判別法

適用規格に基づいた斜角探触子により探傷を行い、判別対象範囲にエコーが認められたときは次による。なお、接近限界距離により直射法が困難な場合は2回反射法に

より行う。

5.1 使用探触子

探触子は板厚に応じて表1に示すものを使用する。

表1 斜角判別法における使用探触子

試験体の板厚(mm)	$9 \leq t \leq 20$	$20 < t \leq 40$	$40 < t \leq 100$
周波数 (MHz)	5	5	2
振動子の公称寸法(mm)	10 × 10	10 × 10	14 × 14
公称屈折角 (度)	70	65	65

5.2 STB屈折角の測定

STB屈折角の測定は、A1形標準試験片又はA3形系標準試験片を用い、0.1度の単位で測定する。

5.3 探傷感度の調整

探傷感度の調整は、A2形系標準試験片又はA3形系標準試験片を用いるときは $\phi 4 \times 4$ の標準穴のエコー高さがH線に、対比試験片を使用するときは標準穴のエコー高さがH線に、それぞれ一致するように感度を調整し探傷感度とする。

5.4 ビーム路程の読み取りの単位

ビーム路程は最小目盛の1/5又は1/4の単位で読み取る。

5.5 先端エコーの検出

先端エコーの検出は、最大エコー高さの得られた位置で探触子を前後走査と若干の首振り走査（首振り角度 5° 以内）を行い、以下の条件を満たす場合とする。

- (1) 先端エコーは、図1に示す前後走査時に、反射源の先端部に当たったエコーとこの後に続くエコーが入れ替わること。
- (2) 先端エコーの最大エコー高さを50%に調整したとき図2に示すような探傷図形が認められること。
- (3) 判別の対象となるきずの指示長さ範囲で10mm以上隔てた複数の位置で検出されること。

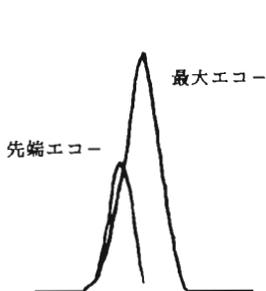


図1 前後走査時の先端エコーと最大エコーの入れ替わり(MA図形)

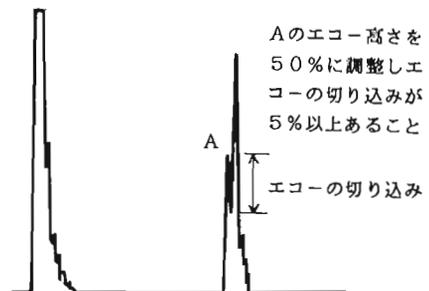


図2 先端エコーの探傷図形

5.6 判別のフローチャート

(1) 斜角判別法による判別フローチャートを適用する条件。

適用規格の探触子で次の①及び②に示す判別対象範囲内にエコーが得られた場合。

①実測板厚の0.5S距離の
ビーム路程に表2に示す
距離を加えた範囲。

表2 対象範囲のビーム路程

屈折角	$t \leq 40$	$t > 40$
45°	—	7 mm
60° 65°	7 mm	10 mm
70°	10 mm	15 mm

②図3に示す溶接線に直角方向の位置(k)が±3mmの範囲。

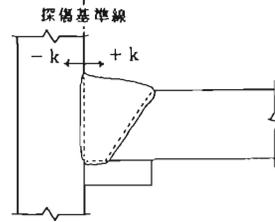
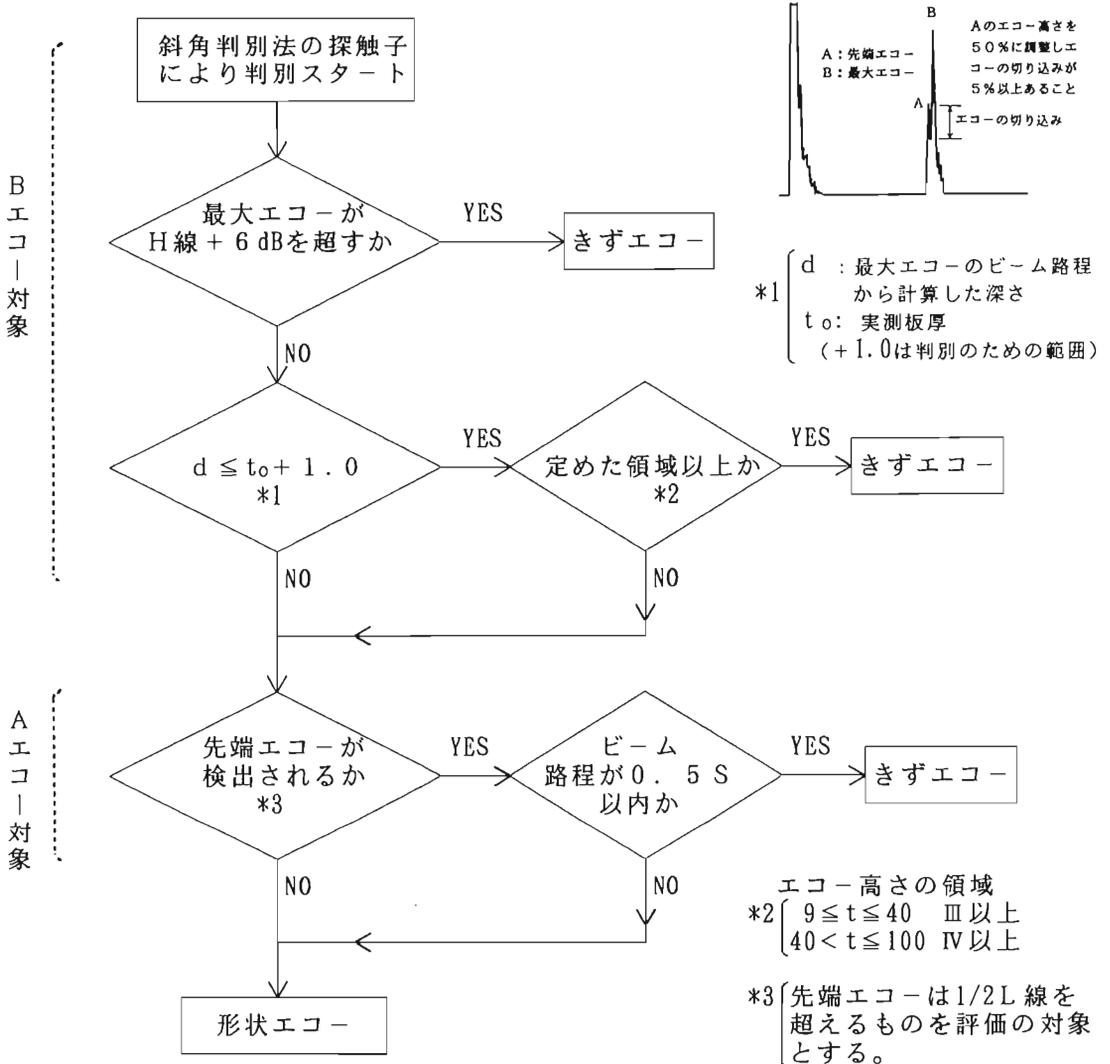


図3 溶接線に直角方向の位置(k)

(2) 斜角判別法によるフローチャート



6 SH判別法

適用規格に基づいた斜角探触子により探傷を行い、判別対象範囲にエコーが認められたときは次による。

6.1 使用探触子

使用する探触子は周波数5MHz、振動子寸法5×5mmの表面SH波斜角探触子とし、表面及び表面近傍に音場を有するものとする。

6.2 接触媒質

横波専用の接触媒質を用いる。

6.3 探傷感度の調整

探傷感度の調整は、図5に示すA2形系標準試験片及びA3形系標準試験片のφ4×4と探触子の先端との距離を40mmに保ち、この間にも接触媒質を塗布してエコー高さが安定するまで保持する。

エコー高さが50%になるよう感度を調整した後、表3の板厚区分に応じ感度を高め、これを探傷感度とする。

表3 板厚区分による探傷感度

板厚区分	探傷感度
$9 \leq t < 20$	$\phi 4 \times 4$, 50% + 6dB
$20 \leq t$	$\phi 4 \times 4$, 50% + 12dB

6.4 感度補正

探触子の前方の裏当て金にすみ肉溶接ビードのある場所では+4dBの感度補正を行う。

6.5 探傷方法

判別の対象となる指示長さの範囲で図6に示す位置に探触子を配置する。

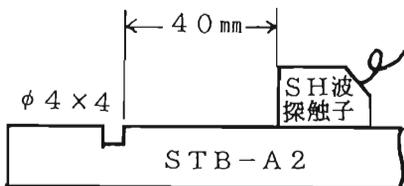


図5 探傷感度の調整

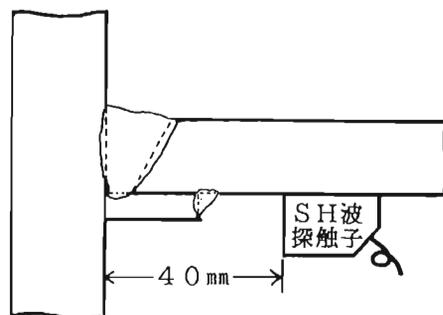


図6 探傷方法

6. 6 判別のフローチャート

(1) S H判別法による判別フローチャートを適用する条件。

適用規格の探触子で次の①及び②に示す判別対象範囲内にエコーが得られた場合。

① 実測板厚の0.5 S 距離の
ビーム路程に表4に示す
距離を加えた範囲。

② 図7に示す溶接線に直角方向の位
置(k)が±3 mm の範囲。

表4 対象範囲のビーム路程

屈折角	$t \leq 40$	$t > 40$
45°	—	7 mm
60° 65°	7 mm	10 mm
70°	10 mm	15 mm

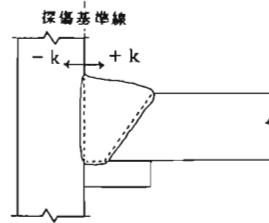
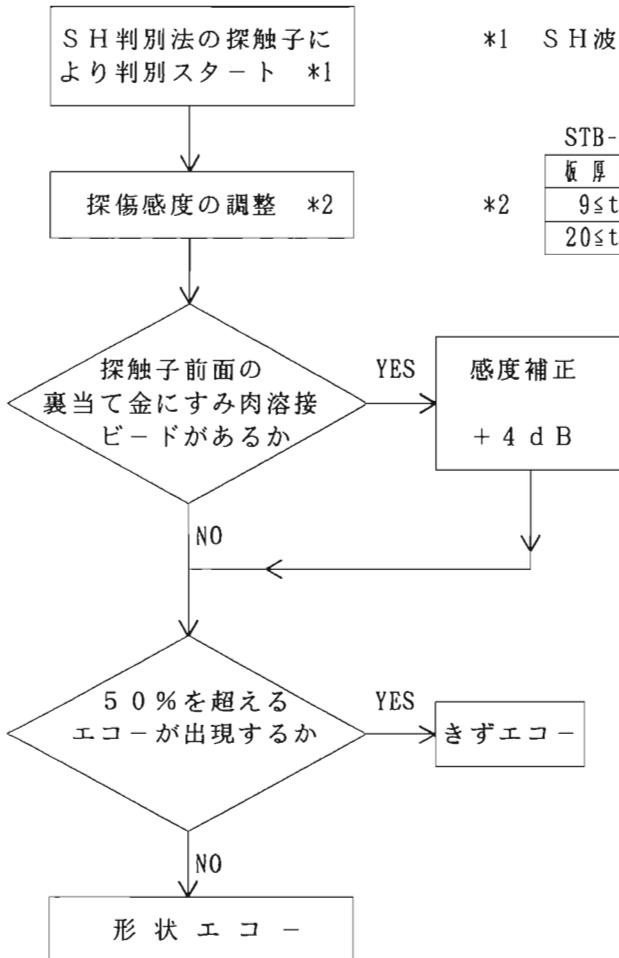


図7 溶接線に直角方向の位置(k)

(2) S H判別法によるフローチャート



*1 S H波専用の接触媒質を使用する

STB-A2 $\phi 4 \times 4$ Y=40mm 50%

板厚区分	探傷感度
$9 \leq t < 20$	$\phi 4 \times 4, 50\% + 6\text{dB}$
$20 \leq t$	$\phi 4 \times 4, 50\% + 12\text{dB}$

*2

図8 S H判別法による判別のフローチャート

「裏当て金付完全溶込みT継手のルート部からのエコー判別方法に関する指針」解説

この解説は、本文に規定した事柄及びこれらに関連した事柄を説明するものであって、指針の一部ではない。

I 改正の趣旨

1. 制定の趣旨

裏当て金近傍に発生する溶込み不良などのきずエコーと、たれ込みエコーと称する妨害エコーとの判別における技術者間の差異の発生を改善するため、1981年に202小委員会のワーキンググループにより、判別方法に関する指針が作成された。

2. 今回改正の趣旨

指針は制定後10数年を経過し、その存在が周知されてきたにも係わらずその適用は十分普及しなかった。これは適用範囲が「その判別結果に疑義又は差異が生じた場合に適用する」としていたことと、こうした場合を想定しての規定であったため、現場での実務的適用のし易さを考慮することなく、種々の判別項目を盛り込んだことから日常的な探傷作業で受け入れられなかったことによる。また一方の大きな理由として、対象範囲を裏当て金側に3mmとしたことが3mmの溶込み深さを必要とするとの誤解を生じ、過剰検査を要求するものと受け取られたことにもよった。また適用範囲の板厚の規定が12mm以上36mm以下としたことについて、拡大を要望する意見があった。そこで今回の改正では、制定の趣旨及び技術的内容を尊重しつつ、判別結果と切断結果との合致率を下げることなくより多くの探傷現場で適用されるよう見直すこととした。

II 主な改正点と改正の経緯

1. 主な改正点

今回の主な改正点を次に示す。

- (1) 適用範囲の板厚を9mm以上100mm以下とした。
- (2) 適用範囲から「その判別結果に疑義又は差異が生じた場合に適用する」を削除し、日常的探傷作業で使用するとした。
- (3) 斜角判別法とSH判別法の2種類を定め、SH判別法の採用は当事者間の事前協議とした。
- (4) 対象範囲を裏当て金側への深さの値で規定せず、誤解を避けることから0.5スキップのビーム路程に加える値で示した。
- (5) 対象範囲はA、B区分であったものをB区分のみを対象としたことからA、Bの呼称を削除した。
- (6) 斜角判別法の探触子を板厚によって規定し、屈折角65°及び振動子寸法14×14mmの探触子を採用した。
- (7) 判定項目を3項目に削減し、定性的項目を極力減らした。

2. 改正の経緯

平成5年6月～平成7年6月の間に212小委員会（接合部の超音波探傷研究委員会）の中に発足したワーキンググループ及び212小委員会により、11回の集合実験と13回のワーキンググループ委員会及び18回のワーキンググループ幹事会また12回の212小委員会への報告を経て作成した。尚、改正期間が複数年度に及び、この間に委員長の交替があったため両委員長名を列記するとした。

ワーキンググループの構成は、本指針の適用の普及を図るためより広い関係団体からの参加とし、またデータ取り等の実作業が膨大となることから探傷技術者を中心とすることとした。そのため212小委員会からは中立機関、ゼネコン、鉄骨加工業者、探傷機器メーカーが参加し、更に日常業務として建築鉄骨構造物の検査に関係の深いC I W検査事業者協議会、構造物第三者検査機関協会（S T I A）に所属する検査会社が参加した。

また判定方法の内容次第では、極端な安全サイドに立つことで経済性が損なわれること、またこの逆が考えられることと利害関係に係わる事柄でもあるため、中間過程での意見聴取の場を持ち、N D I超音波分科会への報告や(社)日本建築学会、(社)鉄骨建設業協会、(社)全国鉄構工業連合会など関係諸団体の協力を得てヒアリングを開催した。

3. 集合実験の進行

集合実験は、本実験に先立ち探触子の種類及びデータの種類の絞り込むための予備実験を行った。予備実験では、通常の探触子以外にクリーニング波探触子、S H波斜角探触子、広帯域探触子を使用し、データの取り方はエコー高さと同接部探触子距離、ビーム路程以外に探傷図形、M A図形及び周波数特性を記録した。この結果、本実験では通常の探触子及びS H波斜角探触子を使用し、データはエコー高さと同接部探触子距離、ビーム路程を取るものとした。尚、本実験実施途中で裏当て金と直交する部材とのすき間の先端部付近からのエコーが判別に効果有りとなされ、この先端エコーの記録を追加した。

本実験は、各板厚毎の形状エコーが生じる試験体及び溶込み不良を有する試験体を作成し、前述のデータ取りを行った後、データ取得部のマクロ試験を行い、両者のデータをパーソナルコンピュータに保存し、専用のデータ処理ソフトを開発してその解析を行った。

4. 使用した機材

探傷機材については、長期に渡る実験を同一機材を用いて比較検討が行えるよう、装置メーカー及び探触子メーカーの協力を得て、専用のものの提供を受けた。尚、探傷器及び探触子の機差によるエコーの得られ方の違いは周知の事実であるが、本WGでこれに対する解決策を見出すことは困難であると判断し、機差を把握するための積極的なデータ取りは行わないとした。以下に使用した探傷機材を示す。

探傷器：アナログ探傷器2機種、デジタル探傷器2機種

探触子：メーカー2社

5C10×10A(45° 60° 65° 70° 75°), 5C14×14A(45° 65° 70°), 2C14×14A(45° 60° 65° 70°), 2C20×20A(45° 65° 70°), B5C10×10A(65° 70°), 5C10×10CD(クリーニング波), 5C10×10A(45° 60° 70°)SH, 5C10×10表面SH, 5C5×5表面SH, 2C10×10表面SH

試験片：標準試験片(STB-A1, STB-A2, STB-A21), 対比試験片(ARB)

溶接試験体については、以下の板厚毎に作成した。

板厚：6mm, 9mm, 12mm, 19mm, 22mm, 25mm, 36mm, 40mm, 46mm, 50mm, 80mm

III 審議中に特に問題となった事項

1. 対象範囲の考え方

対象範囲は、解図1の探傷で得られたエコーから計算される位置での範囲と解

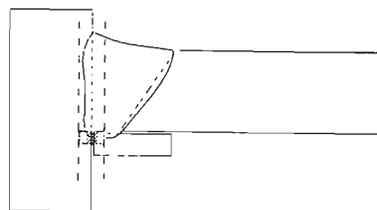
図2の健全性を要求する溶接部の断面での範囲とが言える。本指針では前者を判別対象範囲とし、後者と明確に区別するとした。これは前指針で対象範囲図の区分で裏当て金側に3mmと図示したことで、本来は判別対象とする範囲であったにも関わらず、多くの使用者に健全性を要求する範囲との誤解を生じたことによる配慮である。また用語のみでなく数値の表示方法についても同様の配慮から断面上の深さによる表示とせず、0.5スキップのビーム路程に加える値をビーム路程で表示した。

後者の健全性を要求する溶接部の断面での範囲について、一般的には解図2とする範囲が考えられているが、表側は余盛部も含めており、また母材側は熱影響部も含めていることから裏面側についても、解図3のように裏当て側の熱影響部までを含めるべきとの意見があったが、本WGにて結論するに不相当であると判断し、他の専門関係者の判断を待つこととした。尚、本WGでは判別結果の合致率の算出には、板厚まで溶込みがあればきずとしないとして取り扱った。

参考に形状エコーが確認された溶接部とI形、L形の溶け込み不良のエコーが確認された溶接部のマクロ写真を解図4に示す。

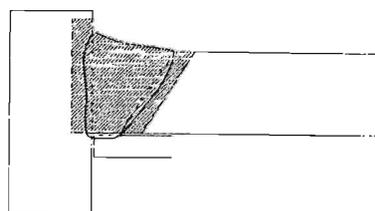
2. SH判別法の取扱い

前指針においてもその解説で、クリーピングウェーブ探触子を使用するの判別方法の併用の必要性について言及していた。クリーピングウェーブは表面直下を縦波が伝搬するもので、本指針でのSH判別法は表面直下を水平方向に振動する横波が伝搬するものであり、後者は前者よりSN比が優位であり、きずの検出性を同等以上に期待できる。しかし、指針本文としては初めて取り上げるものであり、現時点では十分普及した方法とは言えない。また、裏当て金を取り付けた側の母材表面に探触子を接触させる必要があるため、建築構造物等で多く使用される閉断面形状を有する構造部材の溶接部には適用できないとの部位による探傷のグレードの差異が生じる問題点が指摘された。これらを考慮して、発注者、溶接施工者及び検査実施者等の当事者間で事前協議を行った上で採用するものとした。尚、斜角判別法とSH判別法の両者を併用する場合にその結果に差異が生じた場合の取扱いについても事前協議の対象とする。

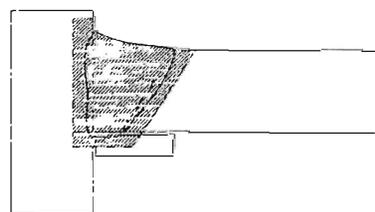


注：溶接線に直角方向の位置(X)は±3mmとし、深さ方向は0.5Sのビーム路程に探触子で規定したビーム路程の値を加えた範囲とした

解図1 判別の対象とする範囲



解図2 健全性を要求する断面の範囲



解図3 裏当て側の熱影響部まで健全性を要求する考え方

3. きずの推定位置及びエコー高さ領域による判別

斜角判別法による判別フローチャートでは、判別に使用する探触子で得られたエコーから計算される位置が実測板厚より何ミリ深めまで、また合わせてエコー高さ領域がいくつ以上のものをきずとするかについて決定的な判断要素が薄く、その数値決めは難航した。深さを大きな値までとすればきずの検出の合致率は上がるもののきずでないものの合致率が低下し、両者を同等に前指針の合致率に近づけることは困難だった。

本指針ではこの数値を次の考え方で決定した。実験データとなった溶接試験体のI形とL形の溶け込み不良ときずでないものとの比率は同等を目標に作成したため65%対35%できずでないものが少なかったことと、溶接施工者側から過剰品質を要求するものと受けとめられ指針の普及の妨げとならないよう若干きずでないものの合致率を高め設定した。

4. 先端エコーの定量的定義

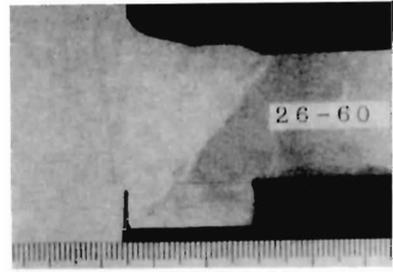
本指針では極力定性的判断項目を避けることを目標としたが、前指針の合致率を低下させないため、きずの先端部付近からのエコーと裏当て金とその直交する部材とのすき間からのエコーとが僅かに分離して現れる状態を捕らえて判別する方法を採用する必要が生じた。この先端エコーの検出による判別方法についても極力定量的な取り決めとすべく数値を規定したが、その有無の判断にMA図形及び探傷図形を図示して参考とせざるを得ないものとなった。

また、先端エコーを確認する探触子走査を行う場合、その走査範囲の規定が存在しないと有無の判断に個人差が生じるとの指摘があったが、この規定の根拠となるデータに欠けることと実験ではこうしたケースが極めて稀であったことから規定しないとした。

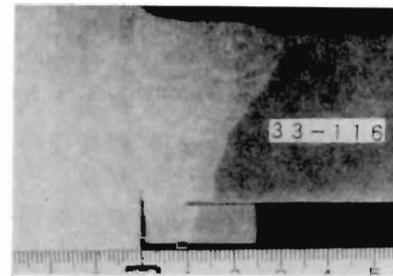
IV 本文の説明及び主な改正点

1. 板厚範囲

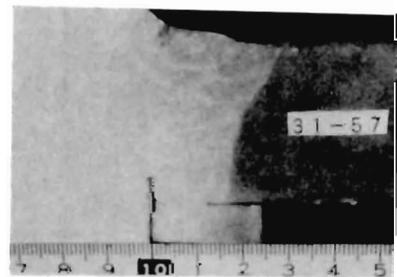
実験結果から板厚の適用範囲を9mm以上100mm以下と拡大した。9mmは1.5スキップで



解図4 (A) 形状エコーが確認された溶接部



解図4 (B) I形の溶け込み不良のエコーが確認された溶接部



解図4 (C) L形の溶け込み不良のエコーが確認された溶接部

探傷する。12mm以上は直射で探傷するが、特に12mmの場合、溶接ビードが広いと十分に溶接ビードに接近できず、正確なピーク位置が求められないことや、先端エコーが確認できないことがあり、このため探触子の接近限界長さを小さめとして使用することが望ましい。6mmは測定データのばらつきが大きかったため適用範囲から除外した。上限を100mm以下としたのは実験に使用した試験体が80mmまでであったことと、実際の検査対象物のほとんどが100mmを超えないためである。

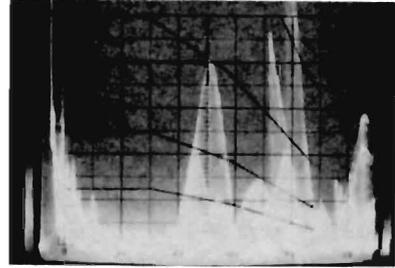
2. 判別対象範囲

探触子5M10×10A70の場合、溶込み不良の試験体で得られたエコーから計算される深さ位置は、稀に5～6mmまで拡大するものがあるがそのほとんどが裏当て金側に3mm程度までのばらつきを持って表示された。探触子2M20×20A70の場合、5～6mmまで拡大するものが増大した。このことから前指針で対象範囲図の区分Bを裏当て金側に3mmとしたことは妥当であったといえる。しかし、「Ⅲ審議中に特に問題となった事項」で述べた理由からビーム路程の範囲で表示することとし、板厚40mmまでは深さ3mmに相当するビーム路程を加算した値とし、板厚40mmを超えるものは深さ5mmに相当するビーム路程を加算した値とした。

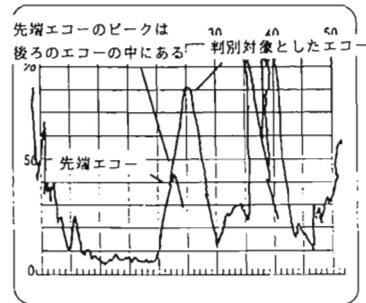
3. 使用探触子

判別に使用する探触子は、適用する規格で規定された探触子とするか、あるいは別途に規定するとしても一つの種類で広い板厚範囲をカバーすることが探傷作業の効率から望ましいが、実験ではそうした場合に良好な判別結果が得られ難いデータとなった。探触子の種類と板厚区分は表解1の結果から選定した。

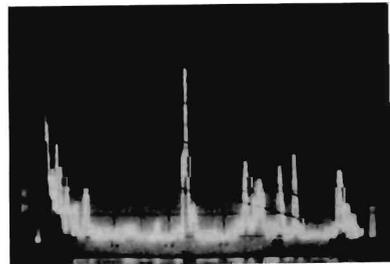
結果的に屈折角65°の探触子が選定された。屈折角65°の探触子は70°の探触子ほど指向性が鈍くないこと、音速差による屈折角の変化が小さいこと、60°のようにモード変換によるコーナー形状の反射体のエコーの低下が起らないことから今後諸規格で規定する探触子として採用されることが望まれる。またJIS Z 3060で規定される音響異方性材料の横波音速比1.02を大きく超える材料は現状ほ



解図5(A) 先端エコーの事例1



解図5(B) 解図5(A)の解説



解図5(C) 先端エコーの事例1の探傷図形

とんどの一般的建築材料に使用されていない状況であるが、1.02近傍のものが多く存在する。この音速差は実験データのばらつきを増大させるもので、通常の探傷作業で検出されたエコーが判別対象範囲であるか否かに影響する。従って通常の探傷作業で音響異方性の測定と探傷屈折角の測定は重要であり、また屈折角 65° の有効性も生じるものである。

4. 形状エコー

前指針では「たれ込み」及び「たれ込みエコー」の用語を用いていた。本指針では以下の理由から溶接部の形状による妨害エコーである「形状エコー」を用いた。

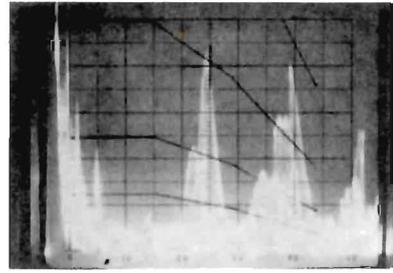
- ①「たれ込み」及び「たれ込みエコー」は建築関係者のみでの用語であること。
- ②裏当て金と直交する母材とのすき間に生じた実際の形状が相応しくなくなったこと。

5. 先端エコー

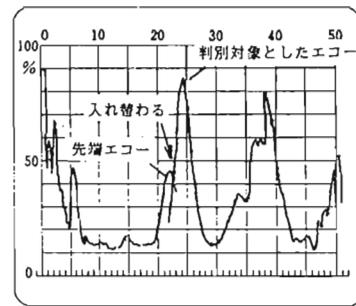
本指針では用語に「先端エコー」を採用した。これは端部エコーと同意味であるが、202小委員会「鋼溶接部の端部エコー法による欠陥高さ測定法に関する指針」で言う端部エコーとは以下の点で差異があることと、本指針を運用する際に明確化するため用語とした。

- ①端部エコーのうち上端部エコーのみをいうこと。
- ②測定時の感度が異なること。
- ③後ろに近接したエコーを伴い、この谷とのエコー高さの差異を規定していること。
- ④複数の位置で検出すること。

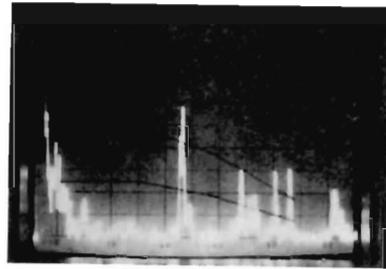
先端エコーの事例写真を解図5及び解



解図6(A) 先端エコーの事例1



解図6(B) 解図6(A)の解説



解図6(C) 先端エコーの事例1の探傷図形

図6に示す先端エコーの判定上の注意点を以下に示す。

- ①連続した軌跡が山谷を画く場合

解図7のようにMA図形が連続した軌跡を画く場合は、手前側のピークを示すエコーでエコー高さ及び位置の測定を行い、これは先端エコーとしない。前指針ではこの現象を「端部ピークエコー」として扱っていた。今回の実験ではきずがこうした現れ方をしたものは1点のみであり、きずでない場合であっても、対象とするエ

表解1 探触子の種類と板厚区分別の判別合致率

【きず(溶込不良)の場合】 太枠内: 選択した条件での合致率 (%)

探触子	板厚 条件	$9 \leq t \leq 20$			$20 < t \leq 40$			$40 < t$		
		①	②	③	①	②	③	①	②	③
5C10×10A70	30	46	32	15	27	15	35	47	42	
5C10×10A65	45	59	50	22	50	28	46	63	51	
2C14×14A65	-	-	-	48	73	60	68	84	77	
2C20×20A70	-	-	-	25	25	25	50	72	72	

【たれ込みの場合】 太枠内: 選択した条件での合致率 (%)

探触子	板厚 条件	$9 \leq t \leq 20$			$20 < t \leq 40$			$40 < t$		
		①	②	③	①	②	③	①	②	③
5C10×10A70	98	93	98	94	94	94	75	75	75	
5C10×10A65	86	80	86	100	74	100	100	95	100	
2C14×14A65	-	-	-	88	33	66	93	80	91	
2C20×20A70	-	-	-	100	0	100	50	25	25	

条件①: $d \leq t$ かつ領域II以上をきずとする

条件②: $d \leq t$ かつ領域II以上及び $t < d \leq t + 1$ かつ領域III以上をきずとする

条件③: $d \leq t$ かつ領域II以上及び $t < d \leq t + 1$ かつ領域IV以上をきずとする

d: 検出されたエコーの深さ t: 板厚

コー高さレベルをL線-6dBまでとしている関係で解図7に近似した表示を行う場合があった。このためこの現象は先端エコーとして取り扱わないものとした。

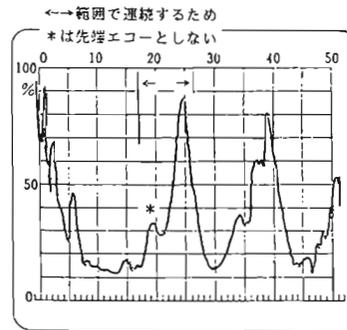
② 山と谷のエコー高さの差

先端エコーの条件の一つを、解図8に示すように先端エコーの最大エコー高さを50%に調整したとき後ろに続くエコーとの谷間が先端エコーに対し5%以上の差異を有することとした。

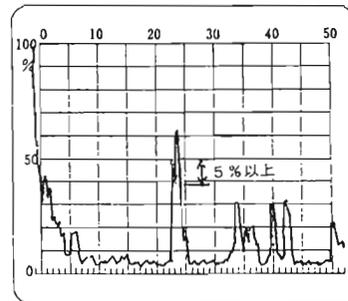
探傷図形は、探傷器の機種によって異なる。これは検波回路の特性や波形成形の定数に影響し、メーカーや機種によってかなりの差異が生じている。このため機種によっては解図9のように波形にギザギザが目立つものと目立たないものがある。前者の機種を使用した場合、このギザギザを先端エコーと誤ることを避けるためこの規定を設けた。

③ 先端エコーのエコー高さ

先端エコーのエコー高さはかなり低いものと考えられ、先端エコーを確認する際は十分に低いレベルまで対象とするべきである。しかし、探傷器のSN比との関係



解図7 連続した軌跡が山谷を画く場合



解図8 山と谷のエコー高さの差

でノイズを先端エコーと誤ったり、主ビームより小さな角度のビームの拡がりできずの端部を捕らえたエコーを先端エコーと誤る危険があるためL線-6dBまでをレベルの範囲とした。

④10mm以上隔てた複数の位置での確認

先端エコーの条件の一つを、判別の対象となる指示長さ範囲で10mm以上隔てた複数の位置で検出されたものとした。

これは裏当て金のすき間の先端近傍に微小なきずが存在する場合やすき間の形状が深さ方向に変化を伴う場合に先端エコーと同様な現象が生じ、この現象は溶接線に平行する方向でごく短い範囲で現れるものの10mm以上の範囲で複数現れることは極めて稀と考えられることからこの規定を設けた。

⑤首振り角度5度以内

202小委員会「鋼溶接部の端部エコー法による欠陥高さ測定法に関する指針」によると「前後走査時、端部エコーを明瞭に検出させるよう若干の首振り走査を行っても良い。」とある。本実験

に於いても若干の角度をもつことにより先端エコーが検出しやすくなることが確認された。しかし、過度の首振りはきずでないものも先端エコーと同様な現象が生じやすいと確認されたためこの規定を設けた。

⑥きずの位置の表示

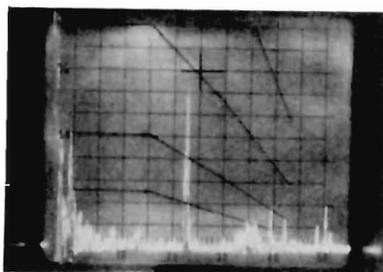
先端エコーが有り判断された場合、きずの位置の表示は先端エコーのビーム路程により行う。これはJIS Z 3060のきず位置の表示に「きずの横断面位置〔深さ(d), 溶接線に直角方向の位置(k)〕は、最大エコーが得られる探触子の位置(X_p)で、…(省略)…で表示する。」とあり、このことから一般的に最大エコーのビーム路程にて表示している。本指針を運用する場合、きずの位置をより精度よく表示するため先端エコーのビーム路程によりきず位置を表示するとよい。

⑦きずのエコー高さの領域の表示

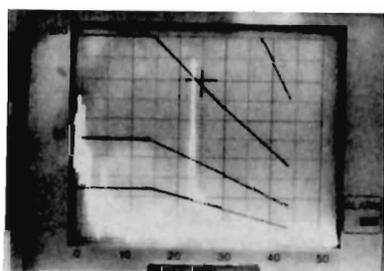
先端エコーが有り判断された場合、きずのエコー高さの領域の表示は先端エコーの後ろに続くエコーの最大エコーの領域により行う。これは先端エコーは実際のきずの大きさに対し極めて低く過小評価となるためである。

6. STB屈折角の測定

STB屈折角は、 0.1° 単位で読み取るとした。JIS Z 3060のSTB屈折角の測定に「STB屈折角は、 0.5° 単位で読み取る。」とあるが、202小委員会「鋼溶接部の端部エコー法による欠陥高さ測定法に関する指針〔解説〕」には「…屈折角も小数点



解図9(A) 波形のギザギザの機差
ギザギザが目立つもの



解図9(B) 波形のギザギザの機差
ギザギザが目立たないもの

以下第1位まで求めることが望ましい。」とある。本指針では位置推定のばらつきの原因を極力少なくすることから読み取り単位を定めた。

7. 探傷器

探傷器の機差は先端エコーの判別上の注意点で既に述べたように、機種によっては波形にギザギザが目立つものとほとんど現れないものがある。前者については山と谷のエコー高さの差の規定により使用上の問題を生じないが後者については先端エコーが確認できない場合があり、きずの合致率が低下する可能性がある。

液晶表示のデジタル探傷器は、時間軸方向の解像度が機種により234～512ドットのもの存在する。測定範囲を200mmとした場合、先端エコーは解像度との関係で確認できない。この場合5～10倍の部分拡大を用いることにより確認可能となるが実用上は使用し難く、より一層の高解像度化が望まれる。

8. 斜角法の実験データ

8.1 合致率

前指針の判別結果と切断結果が合致した割合は78%（76個中59個合致）であり、本指針は77.6%（437個中339個合致）であった。

8.2 斜角判別法における使用探触子

使用する探触子は作業効率を考慮した場合、一つの探触子で全板厚に適應することが好ましいが、種々の探触子のデータを検討した結果、以下の理由と各板厚別の合致率から5M10×10A70、5M10×10A65、2M14×14A65の3種を選定した。

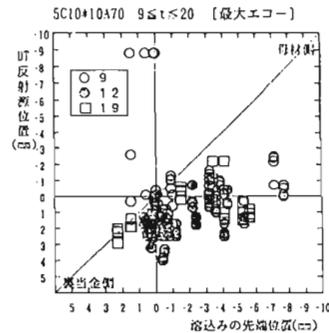
- ① 5M10×10A70を使用した場合の板厚25mmのきずの合致率が低い。
- ② 5M10×10A65は、接近限界長さの関係で板厚12mm以下の適用が困難であり、また板厚80mmのきずの合致率が低い。
- ③ 建築関係では板厚が75mmを超えた場合、一般に2M20×20A70を使用している。この使用は板厚80mmのきずでないものの合致率が低いため不適當であった。

8.3 H線+6dBを超すエコーの判別

きずでないもののデータ総数154個にH線+6dBを超すエコー高さを示すものは存在しなかった。このため判別対象範囲において、H線+6dBを超すエコー高さが確認されれば、より早く結果が得られるため、きずと判断するとした。

8.4 きずの位置、エコー高さ領域及び先端エコーによる判別

探傷から得られたきずの位置とエコー高さ領域とによる判別が最も定量的で克つ現場的であると考えられ、探傷データをこの観点から検討したが、位置と領域のみではきず及びきずでないものの両者の合致率を満足する条件が見いだせなかった。このため位置と領域の判別ではきずでないものの合致率を満足する条件とし、きずの合致率の低さは先端エコーの確認による方法で補うものとし、両者の合致率を満足できるものとした。



解図10(A) マクロきず位置と探傷きず位置 $9 \leq t \leq 20$

① マクロきず位置と探傷きず位置

解図10にきず又は裏当て金とその直交する部材とのすき間の先端位置と探傷から得られた位置との関係を示す。探傷から得られたきずの位置は大きなばらつきを有し、実際の反射源の位置よりやや深めとなる傾向を示す。

探傷から得られたきず位置での判別の規定値(d)は、解図10と表解1とから求めた。解図10(A)の $9 \leq t \leq 20$ 及び解図10(B)の $20 < t \leq 40$ の場合、実際の深さより探傷データは約2mm深めに測定される。解図10(C)の $40 < t \leq 100$ の場合もやや深めに測定されが、ばらつきが大きいため有意でない。この結果をもって実測板厚より2mm深めの探傷データまでをきずとした場合、きずでないもの誤判定が板厚19mm及び36mmで多く不適当であり、先端エコーの確認できずの合致率を補う前述の考え方から実測板厚より1mm深めの探傷データまでをきずとし、表解1の太枠内の条件を選択した。尚、解図10(C)は深めに測定される傾向が少ないが、標準試験片と音速差を有しない材料を使用したもので、実際の被検査材の音速差と板厚を考慮すると解図10(A)(B)と同程度の深めの傾向を想定すべきである。

② エコー高さ領域

$40 < t \leq 100$ の場合、検出されたエコーの位置が板厚より深く板厚プラス1mmまでの範囲で、領域IIIまでをきずとするときずでないものの合致率がやや低く領域IVまでをきずとする必要がある。

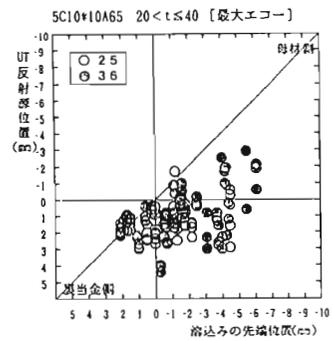
③ 先端エコーの採用

先端エコーでの判別を加えることにより、表解2に示すように合致率の向上が確認された。

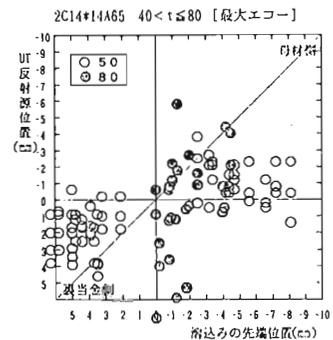
9. SH判別法

9.1 表面SH波探触子

表面SH波探触子は解図11に示すように振動子が超音波の進行方向に対し、左右方向に振動する。通常の斜角探触子の振動子は縦波を発生するのに対し、表面SH波探触子の振動子は横波を発生する。このため一般の液体状の接触媒質で

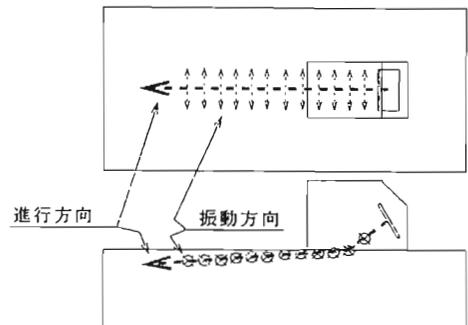


解図10(B) マクロきず位置と探傷きず位置 $20 < t \leq 40$



解図10(C) マクロきず位置と探傷きず位置 $40 < t \leq 100$

実際の被検査材の音速差と板厚を考慮すると解図10(A)(B)と同程度の深めの傾向を想定すべきである。



解図11 表面SH波探触子の超音波の伝搬

は試験体内に超音波を伝達できなく、S H波専用の接触媒質を使用する。主ビームが75° 以上の場合、解図12に示すように表面直下を含めた広い板厚範囲に超音波が分布する。このため屈折角が75° 以上のS H波斜角探触子は表面S H波探触子と同様に使用できる。

本指針では振動子寸法5×5mmを使用した。振動子寸法10×10mmであっても探傷可能であるが、いずれの使用も可とした場合、振動子毎に判定レベルを設ける必要が生じることと、探触子の押し付け圧力と保持時間が探触子の接触面積に関係して増大するため振動子寸法5×5mmのみとした。

9.2 接触媒質

横波用の接触媒質が使用可能であるが、その特性はデータの信頼性及び作業性に影響する。S H波専用の接触媒質を使用することが望ましい。S H波専用の接触媒質であってもその使用環境には注意を必要とし、温度及び湿度が探傷感度や塗布後探傷までの経過時間に関係する。特に夏季の炎天下での鋼材が高温となる場合には、接触媒質の粘性が低下しS H波が伝達し難くなり感度が低下する。また冬季には接触媒質の粘性が大きくなり探傷までの経過時間が長くなる。S H専用の接触媒質は、使用する温度を考慮したものの中から適した種類を選定して使用すると良い。本実験では20° C、湿度70%の環境において、塗布後3分以内での探傷が適切であった。今後、接触媒質の性能向上と共に使用条件の検討を必要とする。

9.3 探触子の押し付け圧力

接触媒質が水飴状であるためエコー高さの安定に大きな押し付け力と若干の保持時間を必要とする。本指針で使用する振動子寸法5×5mmの場合、約10Kgの押し付け圧力で30秒の保持時間を要する。

9.4 屈折角の検定

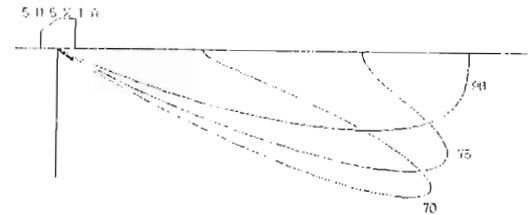
通常S H波斜角探触子では、走査による探傷を行わずポイント毎の測定として使用する。このためシューの磨耗は起きにくいと考えられるが、押し付け圧力が大きいことと押し付け中に滑りやすいことから使用方法によっては磨耗による屈折角の変化が生じる恐れがある。通常、屈折角が85° 程度の表面S H波探触子を使用すると多少の磨耗でも使用に支障をきたさないが、屈折角が75° 未満となった場合、表面近傍の音圧が低下し本指針のS H判別法に不相当となる。このため探傷感度の調整を行ったときノイズが5%以下であるか否かで使用可能かシューの傾きの修正を行うかの目安にすると良い。

9.5 探触子前方の接触媒質の影響

表解2 先端エコー確認による合致率の向上

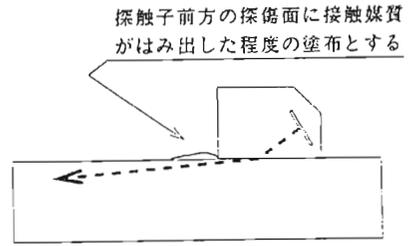
単位：%

板厚	先端エコー非確認			向上	先端エコー確認		
	きず	非きず	総合		きず	非きず	総合
9 ≤ t ≤ 20	46.7	93.8	63.0	}	64.2	93.8	74.5
20 < t ≤ 40	50.5	74.4	57.4		78.1	74.4	77.0
40 < t ≤ 100	79.3	91.5	84.8		79.3	89.4	83.3



解図12 表面S H波探触子及びS H波斜角探触子の音場

表面SH波は探触子前方の探傷面に横波専用の接触媒質が塗布されているとエコー高さが低下し、低下の度合いは塗布される接触媒質の範囲によって異なる。探傷感度の調整時及び探傷時とでその状態に差異があると判定結果に影響を及ぼす。そのため両者での接触媒質の塗布が同一状態となるよう配慮する必要があり、良く拭き取るかまたは同様の範囲に接触媒質を塗布した状態とする。現場作業では接触媒質の除去が困難な場合が考えられるため、解図13のような一定の範囲に接触媒質を塗布する方法を勧める。



解図13 探傷時の探触子前方の接触媒質の塗布

9.6 すみ肉ビードの影響と感度補正

裏当て金にすみ肉ビードが存在する場合はこの影響を受け、エコー高さが表解3のように低下する。これは板厚によらずほぼ同様の値を示すため、感度補正值は一律とし+4dBとした。

9.7 表面粗さの影響

表面粗さがSH波に与える影響を解図14に示す。表面粗さに対し3dB程度のばらつきであったため、表面粗さによる感度補正は行わないとした。

9.8 判定レベル

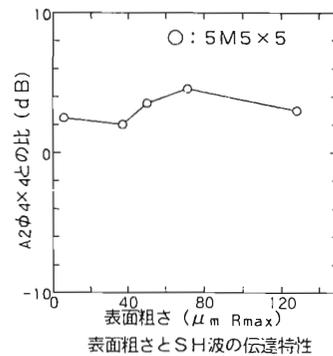
きず又は裏当て金と母材とその直交する部材とのすき間の先端位置とエコー高さの関係を解図15に示す。きず及びきずでないものの合致率が最も適切となるエコー高さレベルを求めると板厚区分 $9 \leq t < 20$ の場合 $\phi 4 \times 4 - 6\text{dB}$ 、 $20 \leq t$ の場合 $\phi 4 \times 4 - 12\text{dB}$ であり、これを判定レベルとした。

9.9 表面側入射SH波

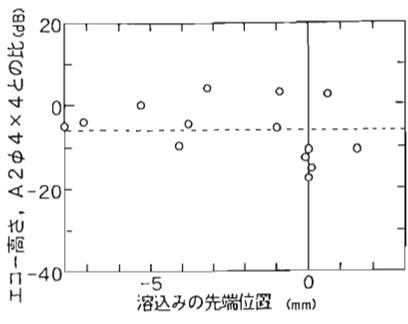
裏面側から行うSH判別法は閉断面を構成する部材には適用できない。このため表面側から探傷するSH斜角探傷も試みた。板厚6mm、12mm及び25mmについて確認実験を行い、6mm及び12mmについてはきず高さとのエコー高さの相関が得られたが、今回の改正では十分な検討が行えなかったため本文に記載しなかった。

表解3 すみ肉ビードの影響

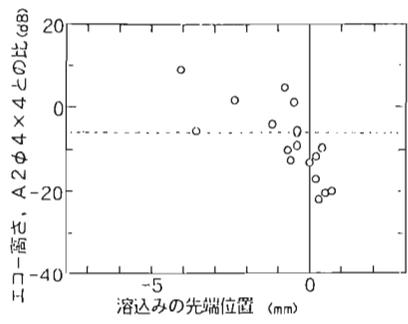
スリット高さ (mm)	5M5×5表面SH (dB)	
	12t	19t
0.2	-5.0	-2.0
0.5	-3.0	-5.0
0.7	-4.5	-4.0
1.0	-5.0	-4.5
1.5	-4.0	



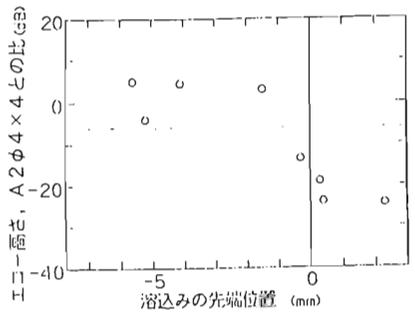
解図14 表面粗さの影響



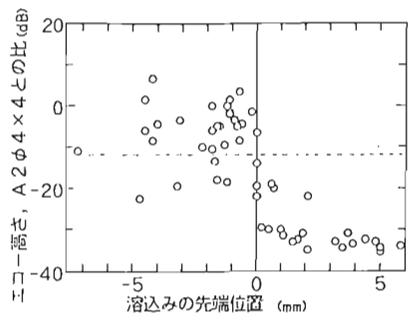
解図 15 (A) きず高さ と エコー高さ
板厚 9mm



解図 15 (B) きず高さ と エコー高さ
板厚 12mm



解図 15 (C) きず高さ と エコー高さ
板厚 19mm



解図 15 (D) きず高さ と エコー高さ
板厚 20mm 以上

参考文献

- 1) 202小委員会：裏当て金付完全溶込みT継手のルート部からのエコー判別方法に関する指針，非破壊検査31巻第7号P475～482
- 2) 日本非破壊検査協会：鉄骨溶接部の超音波探傷試験実施マニュアル（1983）P96，図4.109
- 3) 202小委員会：鋼溶接部の端部エコー法による欠陥高さ測定法に関する指針，非破壊検査34巻第1号P22～28
- 4) 松村民久：端部エコー法，210・202小委員会WG端部エコーハンドブック，P118～124
- 5) 高橋雅和，星野充宏：表面及びその近傍を伝搬する波に関する実験的検討（Ⅱ），NDI資料21431
- 6) 高橋雅和，星野充宏：表面SH波探触子の一実験について，超音波による非破壊評価シンポジウム，P9～16
- 7) 横野泰和他：表面SH波の特性と表面傷の検出に関する検討，平成5年度春季大会講演概要集，P101～102
- 8) 木村勝美：SH波探触子の音場プログラム，NDI212小委員会資料No.212-95（1994）

特 別 講 演

演題 「千葉と超音波との50年」

千葉県非破壊検査研究会会長（千葉工業大学 教授）

丹 羽 登

千葉と超音波との50年

千葉工業大学 丹羽 登

概要

- I] 千葉で社会に出た74歳が語る長くつまらない個人的思い出
- 1) 陸軍のパルスレーダー用超音波遅延素子の研究として、1944年（昭和19年）に始まった超音波計測との長い因縁
 - 2) 非破壊検査との出会い
 - 3) 宇宙観測
 - 4) 非破壊検査社会奉仕係
- II] エレクトロニクス関係者から見た千葉県の特異性

1. 千葉との出会い

1942年（昭和17年）からは、東京帝国大学工学部入学者は、本郷にある第一工学部と西千葉に新設の第二工学部とに振り分けられることになった。これが筆者の千葉との長い係わりの始まりであった。

2. 超音波との出会い

その頃日本でも実用化されかかっていたパルスレーダーは動作が不安定で調整も困難を極めており、調整・較正・アンテナ指向特性測定用として疑似エコー発生装置が要望されていた。それは

- 1) レーダーからのメインパルスに同期して同じ周波数のエコーを出す装置。
- 2) エコーの遅れ時間が既知ならばレーダーの距離目盛の較正にも使える。

その頃友好国ドイツから図1のような較正装置（俗称レーボックス）が伝えられていた。遅延素子内の多重反射波を使えば、電気的に作った距離目盛よりも精度は良い。

高木昇教授の研究室で卒業研究として始まったのがこの水晶遅延素子を作ることであった。

作業としては：

- ① 溶融石英棒を切断して両端を平行・平滑に磨く。
- ② 水晶振動子を石英棒の

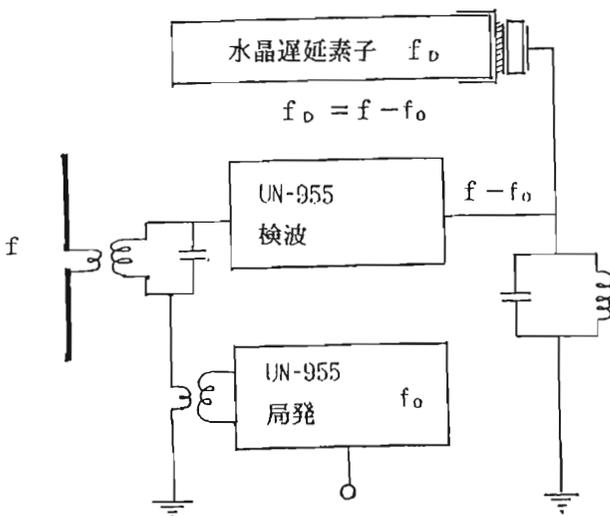


図1 パルスレーダー較正装置

直径に合わせて削り、かつ共振特性を見ながら両面を仕上げる。

③ 振動子の両面、石英棒の一端に電極をメッキする。

④ 振動子を石英棒に接着する。

様子の判らぬことばかりであったが、始めてCRT上に小さな B_1 、 B_2 が見えた時は感激した。

3. 高射砲陣地巡り

幸いにも卒業後大学に残ることになり、水晶遅延素子作りは勤労働員学生に移せたので、筆者は図1の装置全体を担当した。回路の設計・ケースの板金・加工・配線まで全部自分でやった。研究室が陸軍多摩技術研究所（電波兵器）の分室となってからは、何台もの製作を要求されたので、それは研究室全員の仕事となった。（ $f = 200 \sim 600\text{MHz}$, $f_0 \approx 10 \sim 21\text{MHz}$ ）真空管の不足、特性の不揃いに悩まされた。熔融石英棒の代用としてガラス棒も使ってみたが減衰が大きすぎた。棒中に気泡があると F_a 、 F_b が出た。（日本で最初の超音波探傷ではなかったかと考えている。）

本土空襲が始まった頃から、この較正装置を持ってレーダー基地（千葉・銚子など関東地区）へ行く仕事が始まった。それは高射砲陣地に近いことが多く、怖い目にもあいかけた。研究室が山梨県日川へ疎開し、千葉との掛け持ちで多忙をきわめた。（東京空襲の朝は、まだ燃えている街を飯田橋から市川まで歩いた。）

昭和20年7月からは航空機搭載レーダーの調整に富山飛行場へも行くようになり、終戦はそこで迎えた。

4. 超音波探傷器

上記の経験からパルス反射法の技術は取得していたので、敗戦後の超音波探傷器の試作は比較的早かった¹⁾。Firestoneの原論文や英国側のDesh, Sprouleの論文などを溶接学会（日本橋あたりにあった）や日比谷の米軍図書館へ日参して読みまくった。試作機をかついで工場を回っていた。

また、比較的薄い板の厚さやタンクの腐食を測りたいために、共振型超音波厚さ計を作り²⁾、発電所や化学工場巡りを繰り返していた。

5. JSNDIの創設

木原博教授がJSNDIの創設を企画されたとき、前年に発足していた学振超音波探傷法協議会との連携のため山内二郎教授（同協議会主査、後にJSNDI第2分科会主査）や高木昇教授と接触され、その連絡役を務めた。このことからJSNDI発足時から理事を仰せつかり、その後の同協会との長い付き合いが始まった。

6. 航空研究所へ移籍

生産技術研究所でUTを続けていたところ、ロケット研究が始まり、その応援を求められて、打ち上げ業務にかなりの時間を割いていた。固体ロケットのケース（鋼管）のUTも試みた。

敗戦時に航空関係の研究は禁止となり、東大航空研究所は廃止され、縮小して理工学研究所となっていた。航研を再開し電気部門を強化するとのことで、筆者は生研から移籍した。

表1 50年とその周辺

社会	昭和	年月日	丹羽 登 丞
満州事変 柳条溝	6	1931. 9.18	
日華事変 蘆溝橋	12	1937. 7. 7	
第2次世界大戦(英樹嶺戦)	14	1939. 9. 1	
ASNT創立	16	1941.10.17	
太平洋戦争(真珠湾)	16	1941.12. 8	
	17	1942. 4. 1	東京帝国大学第二工学部 電気工学科 入学
ホーネットからのB25 東京・神戸など襲撃	17	1942. 4.18	
学徒出陣壮行会	18	1943.10.21	
	19	1944. 4	電波報国隊 レーダー作り 水晶遅延素子・レーダー較正装置
	19	1944. 9.30	卒業
B29 単機 東京偵察	19	1944.11. 1	研究室が陸軍多摩技術研究所の分室
B29 330 機 東京大空襲	19	1945. 3.10	高射砲陣地巡り
		1945.4~9月	研究室が山梨県日川へ疎開
敗戦	20	1945. 8.15	陸軍富山飛行場 超音波探傷器
学振超音波探傷法協議会	26	1951. 4.25	超音波厚み計
第二工学部→生産技術研究所	27	1952. 3.27	ロケット開発応援
非破壊検査法研究会創立	27	1952.10.25	研究会創設の準備
(社)日本非破壊検査協会へ	30	1955.11.18	
	32	1957. 8. 1	生産技研 →航空研究所 (西千葉) (駒場) レーダー用超音波シミュレーター 超音波気温測定・超音波計測 非破壊検査
航空研究所→宇宙航空研究所	39	1964. 4. 1	再びロケット衛星開発応援
		1966~	ロケットエンジンUT
		1967~	宇宙用TV方式, 画像計測
東大紛争		1970~	AE
		1980~	光ファイバー計測
		1982	東大定年, 千葉工業大学へ
			超音波音速温度係数, 医用超音波
		1992	千葉工大定年. 同非常勤教授

航空関係ということで、レーダー用超音波シミュレーター・超音波高度計など⁴⁾のほか、超音波気温測定^{5, 6)}を強力に進めていた。

7. 宇宙観測

航研が宇宙航空研究所と改組され、宇宙観測が主業務となってからは、打ち上げ援助とロケットエンジンのNDI⁷⁾に力を入れるようになった。ロケットチャンバー内面のライナーと推進剤との接着は時間経過とともに劣化することがあり、製造時だけでなく、発射場へ運んだ後も定期的に検査する必要がある。そのころ作った固体ロケットのUTシステムは、後日ロケット打ち上げ準備時の定常業務に繰り入れられるに到った。

日本の観測ロケットが実用化されかけたころ、日本も独自に宇宙観測用画像取得システムを持つ必要があるとのことで、筆者が担当することになった。アポロ計画の前段階として無人で月面を撮影していたNASAの探査機の報告などを読みまくった。日本向け（軽量、省電力）の低速走査電子シャッター付きTVシステムを開発し⁸⁾、後に宇宙観測衛星からオーロラを撮影する装置⁹⁾にまで発展した。

8. 画像計測

上記の電子シャッター付きTV方式は、残像の無い高速撮影が可能なので、トロリー線が摩耗して光っている面を電気検測車が高速で走りながら下から撮影し、その摩耗度を連続計測する装置として実用化された¹⁰⁾。

9. 非破壊検査社会奉仕係

東大での終りころはAE^{12, 13)}・TVを導入したモアレによる3次元画像計測¹¹⁾・光ファイバーによる計測¹⁴⁾など、自分では手を下さない研究ばかりで、大部分の時間・労力は表2のような社会奉仕業に向けられていた。

表2 非破壊検査関係役職

1) 日本非破壊検査協会

1954-1984 : 理事
 1969-1970 : 副会長
 1971 : 会長
 1972 : 監事
 1965-1966 : 第2分科会主査
 1958, 1969 : 編集委員長
 1974-1980 : 検定委員会委員長
 1981-1986 : 技量認定委員会委員長
 1967-1968, 1983-1989 : 国際活動委員会委員長
 1992.3~ : 名誉会員

2) 日本学術振興会 製鋼委員会

(1951.4.19) : 超音波探傷法協議会

3) 非破壊検査振興協会

1991.6~ : 非破壊検査適格事業者
 審査委員会委員長

4) 千葉県非破壊検査研究会

1985.3~ : 会長

5) American Society for

Nondestructive Testing

1980.1~ : ASNT Fellow

6) International Committee on NDT

1976.8-1988.3 : 日本代表委員
 (第8~11回)

7) IAEA/RCA NDT 教育計画

1981-1986 : WG 部会長

10. IAEA/RCA-NDT教育計画

アジア・太平洋諸国へのNDTの教育訓練をして欲しい、との要望が外務省原子力課から1980年末に JSNDIへ申し入れがあり、その内容に地域での統一認定制度が含まれていたため、当時認定委員長であった筆者が窓口に推された。シンガポールやジャカルタなどでの計画会議に大谷清史氏と参加し、また東京での JSNDIとしては初めての英語の講習会など忙しく対応した。途中から原研大岡氏の参加を得、協会内にも対応組織が作られ、第Ⅱ期を同氏へ引き継ぐ事ができた。

11. 定年のあと

東大定年のあとは、西千葉勤務中に非常勤講師をしていた千葉工業大学に移った。ここでは電気工学科に続く大学院修士課程の設立に関与し、「非破壊検査工学」という題名の講義（これは東大時代からの夢）を創設することができた。

12. 音速の温度係数

千葉工業大学では毎年多数の卒業研究生をかかえることになり、医用の超音波データ伝送（体内に埋め込んだ機器と体外とのデータの往復）と固体中の超音波音速の温度係数の測定を始めた。後者は超音波計測に関連して、かねてからやりたいと思っていたことで¹⁷⁾、幾つかの音速測定方式を併用して、固体の音速とその温度係数を測った¹⁵⁻¹⁶⁾。その結論は：

- ① 炭素鋼とかアルミとか材料名を示しても、音速はかなりひらいている。
- ② 金属は温度が1～2℃かわると音速の4桁目が変わる。
- ③ 高精度で音速を論じるときは測定温度を明示する必要がある。

13. 半生をかえりみて

ここまで書いてみると、書くためにはすじを通そうとするので、ここに書けた内容は、むしろ、まともな表通りの部分だけであることに気付く。大部分の時間・労力は裏の部分、良く言えば縁の下の奉仕、悪く言えば表1の右側にも表2にも出てこない小さな部分、雑用とも言える仕事に費やしていたようである。

色々なことに少しづつ手を出し、口を出してしまい、その出した先は相互に全く関連が無いという結果になってしまったのは残念。

14. 今後への期待

超音波と電波との中間に立って双方を眺めてみると、互いに似た発想・技術がそれぞれの分野で使われているにもかかわらず、互いに独立に発達しているのを見ることがある。相互に先方の技術を導入・活用すれば、その分野を、さらに効率良く発展させ得るのではないかと期待している。

追記 エレクトロニクス・通信関係者からみた千葉の特異性

図2に見られるように、東北-南西に延びた日本列島の中で、南東側-太平洋-へ突出している千葉県の特異性を生かした施設が点在する。

- 1) 千倉町 KDD千倉海底線中継所 太平洋からの光ファイバーケーブルの陸揚げ。
- 2) 勝浦市 宇宙開発事業団 衛星追跡所。種子島から打ち上げたロケット・衛星を沖縄局とともに追跡する。
- 3) 君津市 通信・放送衛星機構 衛星管制センター。通信衛星・放送衛星の管制・制御を続けている。
- 4) 鹿野山, 君津市/富津市 測地観測所。地形測量の基点。東京湾・相模湾をへだてた見通し直線距離の精密測定。
- 5) 銚子市 船舶向け無線通信の海岸局。
- 6) 船橋市 行田無線塔跡 帝国海軍(敗戦後は米軍)の艦船向け長波通信施設。



図2 千葉県に特有な施設

参考文献 I 各テーマにつき代表的な報告（*印は千葉とも超音波とも無関係）

- 1) 高木, 丹羽: 超音波探傷器, 電気学会雑誌, 69,731,p290-294 (1949.9)
- 2) 高木, 丹羽: 超音波による非破壊検査, 非破壊検査, 1,1,p13-16 (1952.11)
- 3) 高木, 丹羽, 佐下橋: 直視型超音波厚み計とその応用, 電気学会雑誌, 74, 789,p661-667,(1954.6)
- 4) 丹羽: 空気中の超音波による計測と制御, 計測と制御, 3,7,p483-491,(1964.7)
- 5) 丹羽, 佐下橋, 宇野, 寺西, 綾部: 超音波共振法による気体温度の測定, 計測と制御, 6,7,p463-471,(1967.7)
- 6) 船田, 橋本, 丹羽, 佐下橋, 松井: ファイトトロンにおける気温変動スペクトル解析, 生物環境調節, 10,2,p63-72,(1972.9)
- 7) 丹羽, 佐下橋, 綾部, 莊林: 固体ロケットエンジン接着部の超音波検査, 非破壊検査, 18,2,p55-61,(1969.2)
- 8)*丹羽, 佐下橋, 吉田: 気球搭載用望遠鏡のファインダーとしての狭帯域テレビジョン装置, テレビジョン学会誌, 31,5,p378-384,(1977.5)
- 9)*金田, 丹羽, 高木, 宮木, 倉沢, 鈴木: 人工衛星からのオーロラ全体像の撮影, テレビジョン学会誌, 34,3,p221-227,(1980.3)
- 10)*堀木, 市川, 安松, 土屋, 丹羽: イメージディセクターによるトロリー線摩耗計測システムの設計, テレビジョン学会誌, 30,9,p745-750,(1976.9)
- 11)*浜崎, 丹羽: TV技術を利用したモアレトポグラフィ, 精密機械, 43,4,p489-492,(1977.4)
- 12) 羽田野, 田中, 堀内, 丹羽: アルミニウムの引張試験におけるStress Wave Emission, 日本金属学会誌, 39,7,p675-679,(1975.7)
- 13) 羽田野, 花島, 丹羽: “面心配置”によるアコースティックエミッション発生源の位置決定, 電子通信学会論文誌, J61-C,10,p644-650, (1978.10)
- 14)*保立, 大熊, 東口, 丹羽: 光ヘテロダイン方式ファイバジャイロ, 計測自動制御学会論文集, 19,4,p319-326,(1983.4)
- 15) 中島, 丹羽: 超音波探傷に関連する固体材料の超音波音速の温度係数の測定, 非破壊検査, 41,3,p128-134,(1992.3)
- 16) 丹羽: 固体中の超音波速度の温度係数, 超音波TECHNO,6,9,p54-61,(1994.9)
- 17) 丹羽: 固体の超音波計測, カイジヨー技報, 2,3,-印刷中-(1996.1)

参考文献 II 「非破壊検査」資料欄への報告（分科会・委員会の年次報告は省略）

- 18) 丹羽: 日本非破壊検査協会の20年, 非破壊検査, 21,12,p752-760, (1972)
- 19) 多数共著: 非破壊検査の進歩—NDI30年史, 日本非破壊検査協会発行, 1982
- 20) 丹羽: 日本非破壊検査協会の40年, 非破壊検査, 41,12,p699-708, (1992)
- 21) 丹羽: 技量認定の20年, 非破壊検査, 38,5,p373-378, (1989)
- 22) 丹羽: 米国非破壊試験協会本部訪問記, 非破壊検査, 30,4,p268-273,(1981.4)
- 23) 丹羽, 高木, 山口, 森: 米国非破壊試験協会創立50周年記念大会出席報告, 非破壊検査, 41,3,p115-121,(1992.3)
- 24) 丹羽: 非破壊検査との50年, 非破壊検査, 42,12,p651-652,(1993.12)
- 25) 大岡, 寺田, 大谷, 丹羽: IAEA/RCA-NDT教育計画報告, 非破壊検査, 37,11, p855-860,(1988.11) (他に1984.3/1987.2月号にも)
- 26) WCNDT出席報告, 非破壊検査, 第7回;1974.1 /第8回;1977.1/第9回; 1980.4 /第10回;1983.3/第11回;1986.3/第12回;1989.12月号