

第 6 回



千葉県非破壊検査研究会 研究発表会

日時 平成 4 年 2 月 4 日 (火)

14:00 ~ 17:00

会場 高度技能開発センター

目 次

超音波探傷用接触媒質に必要な条件	1
角形鋼管角部の超音波探傷試験	7
渦流探傷映像処理装置の開発	12
回転対称体部品の自動渦流探傷装置の開発	19
管路診断について	25
超音波における割れの深さ測定	33

超音波探傷用接触媒質に必要な条件

林 傳三／日合アセチレン(株) 技術部 発表者／上坂和雄

① はじめに

最近の超音波探傷技術の発展は、その適用対象、応用分野を広げているが、これとともに信頼性、再現性についてますます要求が高まっている。しかしながら、基本的な要件である探触子と被検体との間のカップリングの確実性と迅速性が、感度のみならず再現性や探傷スピードに重大な影響をもつと考えられるが、この問題は現実には検査員の技能として、その能力と作業方法の中に包含され、ゆえに、探傷条件、環境、方法によっては再現性に少なからぬ影響を与え、また自動探傷の場合はカップリング問題の本質が露呈すると考える。確実、迅速、安定については接触媒質のもつ物性が重要な役割をもっており、この改善は、人的要員を補い、探傷データのバラツキの防止や探傷性能の向上に寄与すると考える。以下実験研究や文献資料を総合して、接触媒質として物性上必要条件についての解釈を述べ、具体的に理想的な接触媒質について紹介する。

② 超音波探傷の信頼性、再現性

2.1 超音波探傷環境の傾向

実際の現場作業では、

- ①探傷面は一定の粗さではなく、その上凹凸、起伏、湾曲その他種々の性状を有している。
- ②探傷方位も垂直、天井等全方位にわたる。
- ③接触媒質の塗布や除去の容易さ、探触子の滑りやすさ、手や探傷機器の汚れ防止が問題とされる。
- ④エコーの立上りの速さ、安定、走査中動的接触効率の良いこと。
- ⑤自動化、特にギャップ法に対し、高感度と接触媒質層が自動的に安定保持されること。
- ⑥探傷現場の幅広い環境（温湿度）に対して安定走査すること。

等、きわめて多岐にわたり、従来の実験室的、静的配慮からさらに、動的、現場的配慮が要求される傾向にある。

2.2 信頼性、再現性に影響する要因

最近、これらについて述べられた報告文に共通してい

ることは、再現性のある探傷方法そのものの他に、NDEについての今日的なコード、標準の確立、作業員の教育訓練、技能、材料や機器の製造についての知識、更に、ISIでは、その装置独特の知識等、人的要因を大きく取り上げている。極端にいえば、人的管理につきる。

「ISIにおける再現性評価」を分散分析によって解明した結果が報告されている¹⁾中で、バラツキの要因として、対象物、検査員、検査装置、欠陥種類、周波数、探傷方向をとり、それぞれの寄与率を求めた結果、どの要因にも入らないものが31~78%と大きな値となり、これは表面の粗さなどの影響で、結局「誤差」と考える性質のものとの結論づけているが、このことは、カップリング問題が要因として内蔵していることを示唆していると考ええる。

また「自動探傷システムの信頼性と再現性」について述べられた報告²⁾には、その必要条件として、

- ・探傷装置の正確で再現性のある動作
- ・電氣的ノイズの削減
- ・適切な操作（サンプリング、調整、標準等）
- ・接触媒質の再現性ある供給と維持

があげられ、究極的には、カップリング状態に支配されると強調している。特に、薄膜状均一な広がりをもつ水溶性ゲルが好ましいとしている。

一方、実際の探傷操作上から、再現性に関係すると思われる要因を列挙してみると、

- ・実際探触子で走査する技能には接触媒質をなじませ、接触の安定を図る部分が半分を占める。
- ・作業方位によっては、接触媒質が確実に保持されない。
- ・作業環境の変化や経時による接触媒質の物性変化。

等が考えられるが、このように、基本的に重要なカップリング問題が人的要因に含まれており、現実には検査員の技能でカバーされているものの、被検体の状態、環境、技能等によっては、かなりのバラツキが生ずる可能性を秘めている。いずれにしても、接触媒質そのものが、信頼性、再現性に大いに関与していることは間違いなく、どのように影響しているか、またしたがって、接触媒質にどのような条件が望まれているかについて以下述べる。

③ 接触媒質に要求される物性

3.1 接触媒質に望まれる条件

一般に、再現性の問題を含めて、接触媒質には次のような多くの条件が望まれる。

(1) 音響伝達損失の防止

検査表面が粗い場合、超音波の伝達が悪くなり、往復接触効率が低下する。実際の探傷面は、場所によって粗さも違い、したがって、単に感度調整のみでは修正操作量が一定とならず、探傷の信頼性に大きな問題が生ずる。よって粗さに影響を受け難いものが必要である。

(2) 良好な接触性（なじみ）

探傷面に油膜があったり、また接触媒質そのものが物性上の理由で、はじく現象が起こることがある。これは表面張力に関することで、この点の考慮が必要である。

(3) 迅速なエコーの立上がりと安定

瞬時に最高のエコー高さが得られ、この高さが安定して変わらないことが好ましく、これは媒体である接触媒質の物性に関係するところが大きい。

(4) 検査全方位で接触媒質の完全な保持

垂直あるいは天井面等の場合でも、接触媒質の完全な薄膜が形成され、たれのないことが必要である。

(5) 接触媒質の塗布及び後処理の容易

塗り難い、たれ流し、過剰塗布は探傷性上、作業性上、探傷機器保全上問題であり、拭き取りも容易であることが必要である。

(6) 被検体の腐食劣化の防止

探傷後、拭き取った後でも、ごく微量の残存物により、長い間に被検体に悪影響を残すことがあってはならない。

(7) 屋外の環境の変化に対して物性の安定

地域、また作業環境の事情から -20°C ～ 70°C 位に（寒冷地、直射日光下）変化するが、この幅広い変化に対して物性が安定していることが望ましい。

(8) 探触子の滑りの良いこと

被検体の表面が平滑な場合、逆に粗さの大きいとき、いずれの場合でも走査時に、抵抗が少なく、また同時に探触子の摩耗も少ないことが好ましい。

(9) 良好な動的接触性

静止状態での接触性のみならず、走査中、動的状態でも良い接触効率をもつこと。つまり、動的状態でも探傷能力が落ちてはならない。

3.2 現在の接触媒質の対応性

現在 JIS では粗さの大きい場合（ $30\sim 80\mu\text{m}$ ）は、音響インピーダンスの大きい75%グリセリン、あるいはこれと同等のものの使用を規定している。

IIW では、表面粗さ及びその範囲によって、表1に示

表1 IIWによる接触媒質選定表

表面粗さ(μm)	グレード	名称
0.1~2.5	SAE 10	モーターオイル
1~5	SAE 20	モーターオイル
2~15	グリセリン	
2.5~20	SAE 30	モーターオイル
6~17	SAE 40	モーターオイル
17を超える	グリース	

すように、主として油の粘性の異なるものを使用をすすめている。つまり粘性を重視し、塗膜の形成の確実、安定性に重点をおいている。また標準試験片と感度対比は同じ接触媒質を使うことをすすめており、探傷結果の再現性に配慮をしていることがうかがえる。

通常、使用されているものについての特徴を次に述べる。

(1) グリセリン

グリセリンは感度はきわめて良いが、100%のものは吸湿、温度による粘度変化が大きく、はじき、さびなどの問題が多い。洗剤の添加でなじみは改善される。

(2) 水

水は容易に多量に使用できる点、エコーの安定性では良好であるが、感度、塗膜の保持、その他問題がある。

(3) CMC

CMCは適正な粘性をもっているため、塗膜保持、及び走査性の点で優れ、現場作業性がよい。またコストも割に小さく、実用的であるが、感度、環境変化に対する安定性には問題がある。

(4) 油類

油類は簡単に入手でき、塗膜保持もまずまずで、防錆効果があり、環境変化にも比較的追従でき、汎用性があるが、エコーの安定、感度、後処理の問題がある。

(5) 水溶性ゲル状物質

水溶性ゲル状のものは、欧米のもので一部、実験的に使用されているが、感度については、グリセリンに劣るも、なじみ、エコーの安定、防錆、後処理等については優れている。しかしながら、高価であり、現場的ではない。

以上簡単に現在の使用されているものの特徴を述べたが、いずれにしても、先述の条件をすべて満足できるものではない。それでは、この条件を満足させる接触媒質のもつ物性とはどのようなものか、次に述べる。

3.3 接触媒質の物性上の対応条件

(1) 音響伝達損失の防止

探傷面の粗さが大きいときは、音響インピーダンスが大きいことが必要である。音響インピーダンスの大きさの順に、

グリセリン100% > 同75% >> 水 > 油
となっている。

これは現行 JIS の根拠になっているいくつかの研究結果^{4,5,6)}によって明らかであり、セラミックスに対しても同

表2 各種接触媒質と音響インピーダンス感度対比

接触媒質	音響インピーダンス	グリセリン(100%)に対する感度差
グリセリン(100%)	2.31 10 ⁶ kg/m, s	0
同上 (75%)	2.17	-0.5
75%グリセリンペースト	2.20	0
20%グリセリンペースト	1.65	-2.0
CMC(5%水溶液)	1.49	-5.5
水	1.50	-5.5

グリセリンペースト：グリセリンに少量の界面活性剤とチクソトロピー性を与える増粘剤を添加したもの
表面粗さ：50μmRz, 使用探触子：5Z20N, 温度：20℃

様に音響インピーダンスの重要性が報告されている？

界面活性は超音波の侵入条件を改善する。

表2でわかるように、グリセリンペーストは、音響インピーダンスの値の割に感度に差がない。75%のものは100%グリセリンと感度はまったく同じで、20%のものでも、僅か2 dBの低下しかない。このことは、水、CMCと対比しても明らかに分かる。これは添加されている界面活性剤によって、音響伝達を良くしていることを示している。

(2) 良好な接触性(なじみ)

これはすでに液体洗剤の添加で、なじみをよくしている経験で明らかで、界面活性は接触性をよくする。

(3) 迅速なエコーの立上りと安定

この条件に対して、物性上有効な要因は次の通りである。

- ①界面活性が大きく寄与する。
- ②探傷面が平滑なときは、粘度の影響が大で低い方がよい。

これらについて、いくつかの実験結果を紹介する。

走査時におけるエコーの立上りと安定について実験研究された報告⁹⁾によると、最大エコー高さを得るまでの走査回数とその後の安定性を調べた結果、次のような結果となった。

- ・水・グリセリンペーストは、最初から最大エコーが得られ、しかもその後も、走査回数の増加とともに、この高さが維持されている。
- ・グリセリンは、走査3回で最大となり、8回を超えると、漸時高さが下る。したがって、安定域は5回位しかない。
- ・油類(ひまし油、モータ油)グリセリンよりさらに不安定な傾向を示す。

以上の結果は、ミルスケール面(11μmRz)の平滑面での結果であるが、ショットブラスト面(50μmRz)の粗面では、接触媒質に無関係に安定した結果が得られている。このように、エコーの安定性からいうと、音響伝達損失の場合とまったく逆であり、粗さが大きい場合の方が安定し、小さいときの方が不安定になることを明らかに示している。現実の探傷面は、種々の粗さを有しているの、い

ずれの場合でも好ましいためには、上記①の要因に極めて重要である。また、グリセリンペーストの粘度を変えて(5万, 16万 cps)比較した結果、高粘度の方は3回目で最大エコー、その後安定、15回以降若干下り、全体として若干不安定になり、粘度は低い方が好ましくことが理解できる。

一方、界面活性及び粘性の影響を調べるためにグリセリン、及びこれにチクソトロピー増粘剤のみ添加したもの、及び増粘剤と界面活性剤の両方を添加したもの(グリセリンペースト)について、探触子、5Z20N AI 試験片上に、接触媒質0.3mmで探触子上に静かに、1.375grを荷重し、最大エコーが得られるまでの時間を測定して比較した結果、次のようなことがわかった。

- ①グリセリンペーストは、同一粘度で界面活性剤を含まないものに対し、1/3~1/10の立上り時間でより著しく界面活性の効果を示した(高粘度のものの方がこの効果大)。
- ②界面活性をもっているものについて比較すると、5万cpに対し16万cpのものは約2倍の時間を要し、粘度の低い方が好ましい。

③100%グリセリンは粘度がわずかに1,000cpでありながら、16万cpのグリセリンペーストに対して、7倍もの時間を要し、界面活性を与える効果は非常に大きい。

以上の結果を総合して、エコーの立上りが迅速で安定しているためには、界面活性が決定的効果を持ち、また粘度も大きく関係していることがわかる。

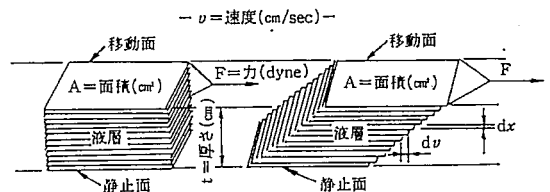
(4) 検査全方位で接触媒質の完全な保持

接触媒質の粘性はチクソトロピー性であること。接触媒質が垂直、天井面でも一定の薄膜を保ち、たれないということは、その粘性に関係することで、これは単に粘度が高ければ良いということではない。

ここで、粘性について簡単に説明する。図1のような液層にずりを与えたときのモデルを考える⁹⁾。

①ニュートン流体

水、油、グリセリン等は、ずり速度に無関係に粘度が一定しているもので、したがって速度に比例して応力も増加する。つまり、探触子やハケの移動が早い



$$\begin{aligned} \tau &= \text{ずり応力} = F/A \text{ (dyne/cm}^2\text{)} \\ \gamma &= \text{ずり速度} = v/x \text{ (sec}^{-1}\text{)} \\ \eta &= \text{粘度} = \text{ずり応力/ずり速度} \\ &= \tau/\gamma \text{ (dyne} \cdot \text{sec} \cdot \text{cm}^{-2}\text{) または (poise)} \end{aligned}$$

図1 液層にずりを与えたときのモデル

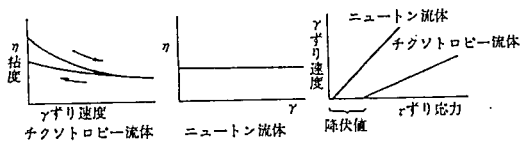


図2 各流体の特性

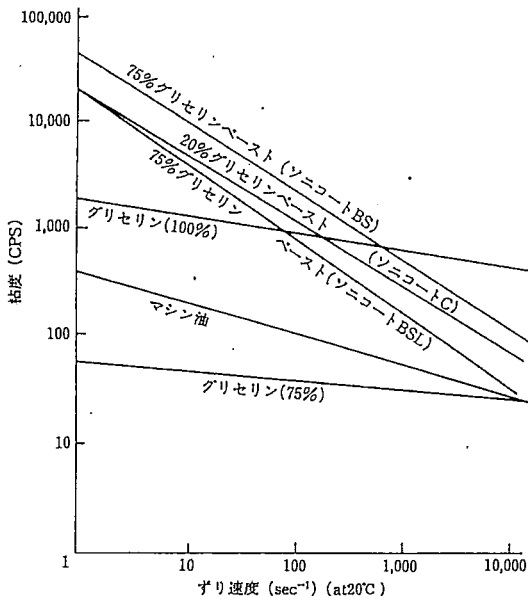


図3 各種接触媒質の粘度曲線

と、それだけ大きい抵抗を受ける。

②チクソトロピー流体

CMC, 塗料, マヨネーズは、ずり速度を大きくすると粘度が下り、応力もその割に増えない。しかもずり速度0でも構造粘性により応力が残る。つまり、塗布時は抵抗が少なく、静止状態では応力によって、重力に抗して薄膜を維持できる(図2を参照)。

したがって、前者はいくら粘度を上げて、抵抗が増えるだけで、時間はかかるが結局はたれてしまうことになる。

(5) 接触媒質の塗布及び後処理の容易

界面活性及びチクソトロピー性をもっていることが必要である。チクソトロピー性流体は、ずりにより粘度が下り、さらさらするので、塗布、除去ともに容易であることは明らかで、また界面活性洗浄効果のあることで容易に理解できる。

図3に粘度とずり速度の実例を示す。これによると、グリセリンはずり速度に対して、粘度変化が少ないが、グリセリンペーストは桁はずれに変化する。実際に、ハケ塗り程度のずり(10,000/sec)を与えたときは、逆にグリセリンの約1/10位の粘度で軽い感じであることが分かる。

(6) 被検体の腐蝕劣化の防止

原因となる不純物を含まないこと、防蝕上、界面活性

表3 グリセリンとグリセリンペーストの温度による粘度変化

接触媒質	75%グリセリンペースト		20%グリセリンペースト		グリセリン(100%)	
	0	50	0	50	0	50
温度 °C						
粘度 cps	80,000	25,000	95,000	42,000	5,000	200

表4 ずり速度 10,000sec⁻¹における粘度対比

接触媒質	75%グリセリンペースト		20%グリセリンペースト		グリセリン(100%)	
	20	70	20	70	20	70
温度 °C						
粘度 cps	30	30	70	70	400	40

75%グリセリンペースト粘度(20°C) 50,000 cps

と適正なPH値をもつことが必要である。グリセリンは完全に除去しないと錆が生ずる。また吸湿性のため、海風からClを取り込むおそれがある。また原子力関係の機器に対しては、微量のCl, S, Fも問題にされ、除去後の残存接触媒質についても配慮の要がある。

(7) 屋外環境変化に対して物性の安定

チクソトロピー性が好ましい(温度による粘度変化小)。表3はグリセリンとグリセリンペーストの温度による粘度変化の対比例である。また表4は、ずりを与えたときの温度と粘度の関係の例である。表3によると、チクソトロピー性流体が2~3倍の粘度差に対し、グリセリンは25倍と桁違いに開きがある。表4では、走査中を想定したとき、チクソトロピー流体はグリセリンより逆に、粘度が低いのみならず、温度による変化もないことがよくわかる。したがって、気温の変化にあまり影響されずに塗りやすく、また走査しやすいことが理解できる。

なお、グリセリンは吸湿性が強く、短時間に濃度が下り、音響物性も変わる。図4はその一例を示す。図で明らかのように、グリセリンは塗布後すぐ吸湿し、3時間で14%吸湿する。また75%グリセリン、及びグリセリンペーストとも、±1%程度と安定している。なおこれらは冬季に測定したものであり、高温多湿のときには、さらに変化が大きいと考えられる。

図5はグリセリンの濃度と凝固点の関係を示すが、こ

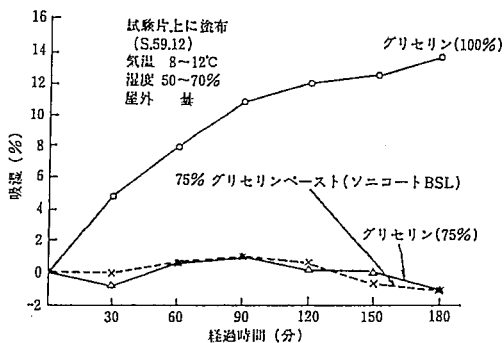


図4 グリセリンの吸湿曲線

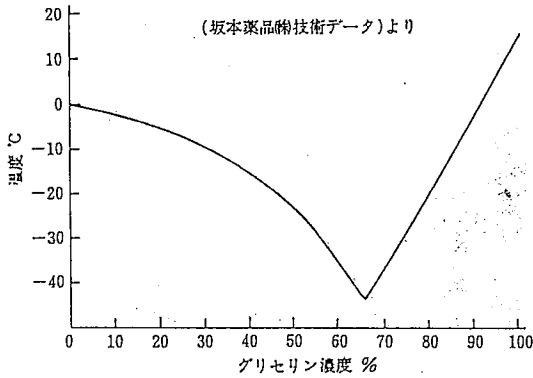


図5 グリセリンの凝固点曲線

れによると100%グリセリンは16℃であり、冬季は使えないことがある。また75%のものは-30℃であり、広い温度範囲に実用性がある。

(8) 探触子の滑りの良いこと

チクソトロピー性流体は滑りを良くする。探触子の探傷面上での滑り抵抗を調べるために、標準試験片(粗さ30μm)上に各種接触媒質を1mm厚さに塗り、25gr/cm²の荷重をかけたアクリル板を撻動させ、オートグラフにより、抵抗値を測定するモデル実験を行った結果を表5に示す。これによると、チクソトロピー性流体であるグリセリンペースト、CMCは、他に比べて明らかに抵抗が小さく、マシン油は意外に大きい。

(9) 良好な動的接触性

被検体が金属のときは、化学的に極性の高いものが有効である。エルモロフは接触媒質の研究¹⁰⁾の中で次のように述べている。要約すると「静的状態で完全に欠陥を発見し得ても、動的効率が悪いと、20%~30%の発見率になることがあり得る。これは金属面と探触子との間の接触媒質の厚さと連続性を決定する因子があり、この因子を決定するのが化学的極性である。媒質と金属面との間の相互作用の結果「極性原子団」の中からファンデルワルスの力によって分子フィルムを生じ、一次分子層となり、さらに吸収作用で新しい分子層が生ずる。これが超音波の侵入条件を改善する。さらに、このような媒質として、極性基を多く持ったグリセリンがきわめて優れており、常温から150℃の間できわめて高い動的接触効率をもっている」と述べている。

表5 各種接触媒質の滑り抵抗対比

接触媒質	75%(A) グリセリン ペースト	75%(B) グリセリン ペースト	100% グリセリン	5% グリセリン	75%溶液 CMC	マシン油
抵抗(g)	259	113	322	437	200	427

グリセリンペースト(A): 粘度50,000cps, 同(B)160,000cps at 20℃

④ 理想的接触媒質

以上、諸条件を総合して、最も理想的接触媒質は、音響インピーダンス、極性の点から実用性のあるものとしてはグリセリンとなり、環境的に安定した75%のものをベースとして、他の条件を満足させるために、界面活性とチクソトロピー粘性を与えることにより、一挙に改善が図られ、すべての条件に対してこたえ得るものとなり、これが先述来のグリセリンペーストそのものである。

ただし、界面活性剤やチクソトロピー性を与える増粘剤はきわめて種類が多く、グリセリンとの相溶性、防錆効果、PH、広い温度範囲にわたっても安定、しかも適正な粘度等、すべてを得るためには、かなりの制約があり、適当にどれでも混ぜれば良いというものではなく、種類、組合せ、混合組成は簡単ではない。

これらを考慮して商品化されたものが「ソニコート B&Cシリーズ」であり、今回の実験、研究に使用したグリセリンペーストである。主なものを簡単に紹介する。

(1) ソニコート BSL (75%グリセリンペースト)

音響伝達性はきわめて良く、粘度的に標準タイプ。自動、手探傷、両方に向いている。粘度5万cps20℃。

(2) ソニコート BS (同上)

BSLより粘度が高く、凹凸、湾曲、著しい粗面等、表面状態の悪いときの手探傷に向いている。粘度16万cps。

(3) ソニコート C (20%グリセリンペースト)

比較的感度がよく、走査性に優れ、価格的にも有利な汎用性タイプである。粘度6万cps。

上記は、代表的な銘柄であるが、必要に応じて粘性その他、物性に対応したものの作成も可能である。

⑤ 今後の課題

最近、ドライコンタクト、プラスチックゲル、または非接触型探傷器等、接触媒質問題に対応する方法もあるが、探傷性能あるいは現場作業性を考えたとき、今後も液状媒質は主流であろうし、それだけにその改善は有意であろう。

従来のように多量に接触媒質を塗布し、たれ流す状態の中で行うという考えを変え、もっとも有効な媒質を必要部位に、必要最低量、一定割合で確実に供給することに留意すべきで、これによって探傷性能の向上はもちろん、接触媒質は驚くほど少量となり、作業上も著しい改善となる。現在、探触子から直接、接触媒質を自動的に供給できるオートフィーダシステムを開発し、市場に提供しているが、写真1及び写真2はその一例である。さらに、媒質除去の自動クリーナの開発により、今後の自動化への貢献が課題である。

一方、材料の異方性検定、その他でSH波の活用が注目されているが、現在、決定的な接触媒質はない。また

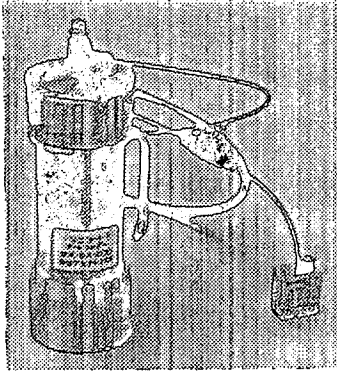


写真1 オートフィーダと自給式斜角探触子の組合せ例

OSI や溶接直後の探傷等、高温用のものの潜在的ニーズも高い。いずれも一部、試験的に提供しているが今回とは違った視点での検討の要があり、今後の重要な課題である。

⑥ おわりに

紙数の関係で、図、表を割愛したものが多く、不備な点は参考文献を参照願えれば幸いである。なお溶接技術センターの木村先生、大阪大学の仙田、広瀬両先生には種々ご指導を賜り、また非破壊検査㈱の西田、中田両氏、㈱ニチゾウテックの中林氏には実験研究にご協力賜ったことを感謝します。

参考文献

- 1) 増山敬 他：ISI における超音波探傷の再現性評価，日本原子力学会誌（技術報告）27 [8] (1985)
- 2) L.S.Beller et al. : Reliability and Reproducibility of Automated Ultrasonic Test System Autam Nondestr Test

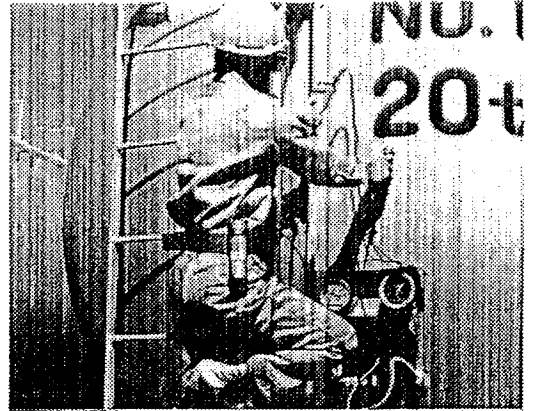


写真2 オートフィーダシステムによる厚さ測定例

(USA) (1986)

- 3) 国際溶接学会編：溶接部の超音波探触試験ハンドブック (1979)
- 4) 斎藤，藤盛：超音波斜角探傷の伝達損失に与える接触媒質と表面粗さの影響，潜水建設研究所報第32号 (S.56.4)
- 5) 藤盛：鋼溶接部の超音波斜角探傷試験に関する研究（その4）—探傷面のあらさの影響と接触媒質の効果に関する実験—，潜水建設研究所報第20号 (S.48.4)
- 6) 福原，木村：超音波斜角探傷の感度及ばず接触媒質の厚さと試験材の表面粗さの影響 NDI 資料2634
- 7) 小塚健：セラミックスの超音波探傷感度及ばず接触媒質の影響，名古屋工業技術試験所報告35 [6] (S.61.6)
- 8) 仙田，広瀬，西田，中田，山下，中林，浜道：探傷作業に及ばず接触媒質の種類及び探傷面の粗さの影響(1)—最大エコー高さとその安定性—NDI 資料21028 (S.59.7)
- 9) 共立出版：「塗料の流動と顔料分散」
- 10) ア，エムオボドフ，イ，エス，エルモロフ；広い温度範囲にわたる，超音波による厚さ測定と探傷のための接触媒質の研究及び開発，Defectoskopiya (SUN) [11] 1979
- 11) 「ソニコート特性及び技術データ」については，日合アセチレン㈱，ソニコートカタログ，同技術資料参照。

角形鋼管角部の超音波探傷試験

— 回送実験による探傷結果 —

(協) 千葉県鐵骨工業会 ○永井 勉 他9名
千葉県機械金属試験場 立川克美 *白井越朗

1. はじめに

中層建築構造の製作には角形鋼管が広く用いられているが、角部の超音波探傷については現行の日本建築学会規準（以下 学会規準）でも規格化されておらず、「東京都鉄骨加工工場審査規準に基づく溶接部検査実施細目」付属書1に欠陥指示長さの幾何学的算出法が述べられているだけで、検査対象から除外されている。そのために、製作工程において角部を溶接始端及び終端部として溶接作業が施工されているのが実状である。

(協) 千葉県鐵骨工業会では、千葉県機械金属試験場の指導を受け、当工業会に所属する超音波探傷技術者の技術の維持及び向上を目的とした溶接試験体等の超音波探傷回送実験をすでに4回実施しているが、今回は工業会の多くの企業で用いられている角形鋼管の角部に生じる溶込不良の検出を一般に用いられている探触子（5Z10×10A70）により評価することを目的に、角部での欠陥指示長さの測定方法について回送実験を行ったので、その結果を報告する。

2. 実験の概要

2. 1 回送実験参加者

実験に参加した技術者を表1に示す。参加者は（協）千葉県鐵骨工業会に所属する企業のJSNDIおよび全国鉄構工業連合会の超音波探傷技術の有資格者とした。

実験は回送実験方式とし、各参加者の元に試験体および標準試験片が送られる。実験期間は1週間程度で、実験後データは機械金属試験場に送付した。

なお、参加者が使用した探傷器および探触子は各社所有のもので、標準試験片STB-A1,A2は共通のものを用いた。

2. 2 試験体

実験に用いた試験体を表2に示す。ドリル穴試験体および欠陥指示長さ測定用試験片を図1に示す。欠陥は角形鋼管角部内側を切削加工により、溶込不良モデル欠陥を作製した。

図2の3次元測定機による欠陥高さの測定で、超音波横波長の1/2欠陥高さを越える範囲を欠陥長さ（以下 実測値）としたときの測定データを表3に示す。

表1 第5回鉄骨超音波回送実験参加者

氏名	所属
永井 勉	(株)キミツ鐵構建設
仙波一清	(株)キミツ鐵構建設
小野田莞爾	(株)富士商事
石渡 昇	(有)秋元鐵構建設
椎名英男	(株)若柴工業
富岡雄三	(株)若柴工業
前田幸生	(株)若柴工業
大賀信之	(株)クマガイ
藤ヶ崎 修	(有)粉口製作所
間宮誠治朗	平山鐵構建設(株)
立川克美	千葉県機械金属試験場

*現 (財)日本溶接技術センター

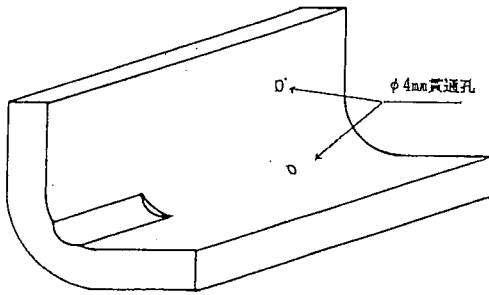


図1 試験体

表2 角形鋼管試験体寸法

板厚(mm)	外側半径(mm)	内側半径(mm)
12	29.7	18.7
16	38.0	18.8
19	49.6	29.9

表3 欠陥の高さと長さの実測値 (三次元測定機による測定)

試験片	12-1	12-2	12-3	12-4	16-1	16-2	16-3	16-4	19-1	19-2	19-3	19-4
欠陥高さの最大値 (mm)	1.0	2.0	1.0	2.0	1.2	2.1	1.0	2.1	1.1	2.2	1.2	2.0
欠陥長さの実測値 $1/2\lambda$ (mm)	6.6	6.6	12.6	13.9	6.7	6.7	11.5	13.5	6.0	6.8	13.5	13.8

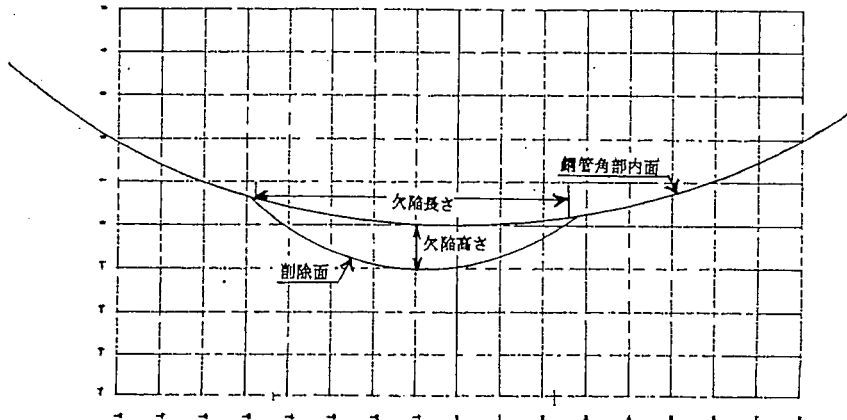


図2 3次元測定機による欠陥形状測定

2. 3 実験方法

探傷は図3に示す方向から行った。

試験体角部および平行部とSTB-A2φ4×4mmとの感度差を求めるために試験体にφ4mmの貫通孔を直射法により測定を行った。

使用した探触子は一般によく用いられている5Z10×10A70で特に接触面の加工は行っておらず、従って探触子と試験体との接触は線接触に近い状態となるので探触子の中央で試験体と接するように注意して探傷を行った。

接触媒質は標準試験片はマシン油を、試験体には濃度75%以上のグリセリン水溶液を用いた。

欠陥指示長さの測定の探傷感度は次の方法で行った。

- (1) STB-A2φ4×4mm H線
- (2) STB-A2φ4×4mm H線に曲面の感度差の補正を行う。

超音波探傷による欠陥指示長さは図4に示すように、欠陥指示長さの測定限界における試験体外周の探触子移動距離より次式で求めた。

$$L' = \frac{L \times (r - d)}{r}$$

- ここで、 L : 探触子移動距離 ($X_E - X_S$)
 L' : 欠陥指示長さの補正值
 r : 試験体の外側半径
 d : 欠陥位置 (深さ)

なお、欠陥指示長さの測定限界はL線カット法、および欠陥のピークエコー高さの-10dB、-12dBの各方法により行った。

3. 結果および考察

試験体角部のφ4mm貫通孔とSTB-A2φ4×4mmとの感度差の測定結果¹⁾を図5に示す。

実験参加者の中には日常探傷を行っていないため、データのバラツキの大きいものもある。この結果、表4に示すように角形鋼管角部のφ4mm貫通孔とSTB-A2φ4×4mmとの感度差は12mmtで-10.5dB、16mmtで-11.5dB、19mmtで-14.5dBの結果が得られたので、こ

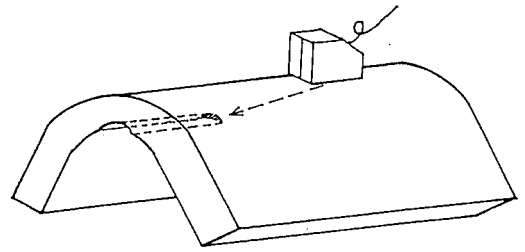


図3 角部の探傷

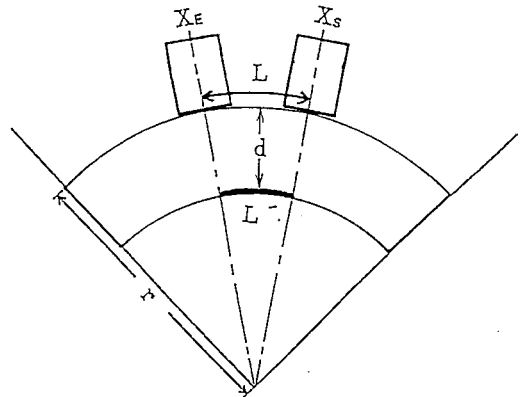


図4 欠陥指示長さの算出法

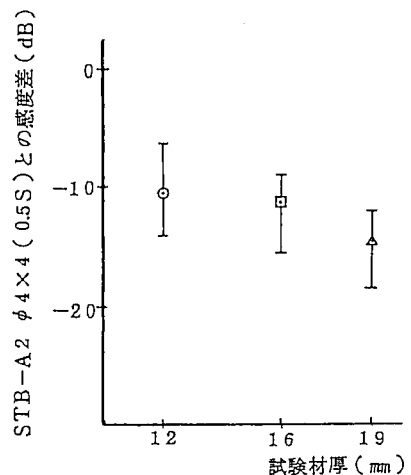


図5 φ4貫通孔のエコー高さ

表4 A2φ4×4mmとの感度差

板厚(mm)	外側半径(mm)	角部との感度差(dB)	平行部との感度差(dB)
12	29.7	-10.5	-1.0
16	38.0	-11.5	-1.5
19	49.6	-14.5	-3.0

の差を感度補正量とした。

なお、この試験体の平行部に加工したφ4mm貫通孔との感度差も表4に示した。

学会規準に従い、STB-A2φ4×4mmH線の感度と表4により感度補正をした探傷による欠陥指示長さ測定結果について、L線カット法により、欠陥長さを1/2λとした時の結果を図6に、欠陥最大エコー高さの-10dBおよび-12dBを欠陥の境界値とした指示長さの測定法の結果を図7に示す。

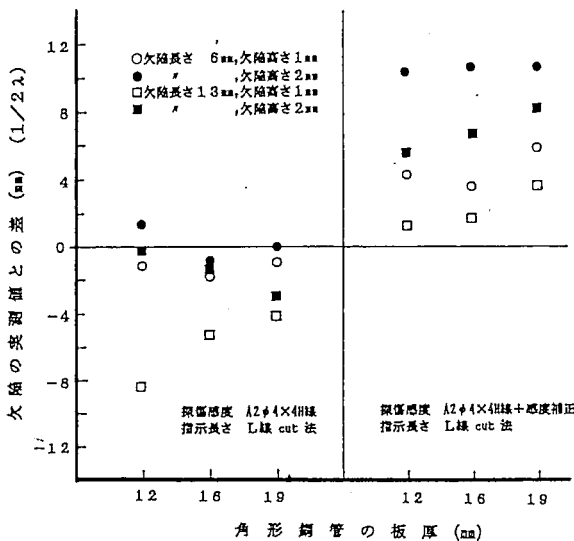


図6 欠陥指示長さの測定 (L線カット法)

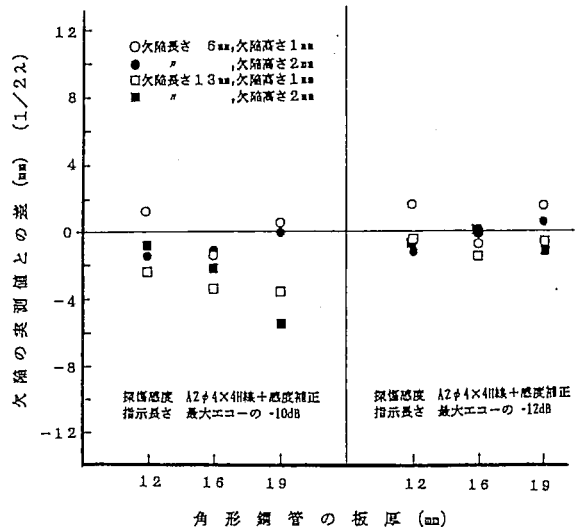


図7 欠陥指示長さの測定 (-dB法)

STB-A2φ4×4mmH線感度でL線カット法による欠陥指示長さは、欠陥高さが2mmのものは比較的実測値に近い評価ができたが、欠陥高さ1mmではかなり過小評価し、特に板厚12mmでは半数の5名は学会規準で規定する欠陥指示長さの境界値5mm以下かまたは欠陥エコー高さがL線を越さなかった。

つぎに感度補正を行ってL線カット法により指示長さを測定すると、各試験体とも過大評価されていることが分かる。ここでは欠陥高さの高いものにその傾向が著しく、欠陥高さ2mm長さ6mmの試験体に特に顕著である。この結果から、探触子と探傷面は線接触に近いことから入射される超音波エネルギーが低下し学会規準によるL線カット法では欠陥を見落とす可能性の高いことを示している。しかし、表4よる感度補正を行っても次式²⁾で表される振動子の超音波指向角が振動子面積の見掛け上の減少により、

大きくなるために超音波が広がり欠陥高さが高いほど欠陥を過大評価する結果となる。

$$\psi \approx 25.5 \frac{C_s}{D_{E2} f}$$

ここで、 ψ : 指向角
 C_s : 音速
 D_{E2} : 振動子の幅
 f : 周波数

欠陥最大エコー高さの -10dB を越える範囲を欠陥指示長さとする方法では、長い欠陥を過小評価する傾向にある。しかし、 -12dB 法ではほぼ実測値に近い評価を行える結果が得られた。

4. まとめ

角形鋼管角部の超音波斜角探傷による欠陥指示長さの測定について、県内鉄骨加工業者の超音波探傷技術者を対象に回送実験を行ったところ次のような結果が得られた。

1. 建築学会規準による探傷感度STB-A2 $\phi 4 \times 4\text{mm}$ H線で、L線カット法による欠陥指示長さの測定で、欠陥高さ 1mm 程度では、極端に過小評価されるかまたは、まったく欠陥として評価されない場合がある。
2. 試験体の $\phi 4\text{mm}$ 貫通孔とSTB-A2 $\phi 4 \times 4\text{mm}$ との感度差から得られた感度補正量を加えてL線カット法により探傷を行うと、欠陥高さの高いものほど過大評価する。
3. 感度補正を行い、欠陥最大エコーの -12dB を越える範囲を欠陥指示長さとして測定すると、欠陥長さ実測値の $\pm 2\text{mm}$ の誤差範囲で測定することが出来た。
4. 小数ではあるが、日頃探傷作業に従事する機会が少ないことからピークエコーを正確に捉えられない事例もあった。

以上のことから、角形鋼管溶接部の直射による超音波斜角探傷について、試験体の曲率に応じた感度補正值を求め、検出した欠陥の最大エコーの -12dB 以上のエコーが得られる探触子移動範囲を欠陥指示長さとして測定し、この数値に幾何学的な補正計算を加えることにより欠陥を評価することができ、工場自主検査として鋼管角部の超音波探傷が可能となった。

文献

- 1) 立川克美, 白井越朗: 平成元年度研究報告 (千葉県機械金属試験場, 1989) 71
- 2) 日本非破壊検査協会: 超音波探傷試験Ⅲ

渦流探傷映像処理装置の開発

(DEVELOPMENT OF EDDY CURRENT IMAGING SYSTEM)

日本クラウトクレマー（株） 白岩 俊男
○ 村井 純一
平賀 久喜

概要

6軸制御の渦流探傷映像処理装置を開発した。この装置は探傷走査中にリアルタイムで平面表示することが可能で、さらに位置データと共に探傷データをハードディスクに記憶させる。探傷終了後データを呼出し、任意の範囲の拡大表示、精密探傷、X-Y、Y-z表示等の各種の処理を行い欠陥の評価を行うことが出来る。

1. はじめに

当社では超音波探傷映像処理装置を開発し販売している。今回は渦流探傷の映像処理装置を開発したのでその概要について紹介する。この装置は当社アプリケーションセンターに常設し、各種形状の試験体の欠陥検出性能確認に利用している。

2. 装置の構成

今回開発した渦流探傷映像処理装置は 図1及び写真1に示すように渦流探傷器、走査機構部、コントローラ、データ処理CPU、カラーモニタ、カラーハードコピーより構成される。また必要に応じて試験体とプローブコイルのリフトオフを一定に保つためにプローブホルダを使用する。

探傷中は走査に合わせてリアルタイムで平面表示し、探傷データはハードディスクに記憶させる。探傷終了後各種の映像処理を行いカラーモニタに表示させ、さらにカラーハードコピーに記録される。

3. 装置仕様

3.1 走査機構部

- | | | |
|----------|----|--|
| (1) 軸数 | 6軸 | : X, Y, Z, R (ターンテーブル)
$\theta 1, \theta 2$ (7°-7°回り) |
| (2) 軸分解能 | | : X, Y, Z, 0.01mm
R 0.02° |
| (3) 速度 | | : X, Y, Z, max 100mm/s
R max 30rpm |

3. 2 コントローラ

- (1) モード : 自動/手動
- (2) 走査モード 平面 : X-Y、X-Z、Y-Z
 曲面 : R-X、R-Z

3. 3 データ処理部

- (1) CPU : 32bit 40MHzハードディスク付き
- (2) カラーモニタ : 14"
- (3) カラーハードコピー : A4 274625色表示

3. 4 渦流探傷器

: X-Yアナログ出力付き渦流探傷器

3. 5 映像処理

(1) 平面表示

平面表示は機構部の走査中はリアルタイム表示を行い、探傷終了後は各種の映像処理を行う。

- ・表示形式 絶対値表示 : YまたはX信号を絶対値で表示
 AC表示 : YまたはX信号を正負表示

(2) カラー表示形式

- ・8階調表示 : 信号高さを8階調のカラーで表示
- ・2色256階調表示 : 信号高さを2色間256階調で表示
- ・RYG表示 : 信号高さを赤、黄、青間256階調で表示

(3) 拡大表示

: 平面表示を任意の大きさに拡大

(4) 精密探傷

: 平面表示上の任意の位置を精密探傷

(5) リサージュ表示

: 平面表示上の任意のラインのX-Y波形およびY-t波形を表示

(6) ワイヤフレーム

: 走査方向に沿った線画によりY-t画像を三次元的に表示

(7) 探傷器設定

: RS232C等の外部機器とのI/Oのある探傷器に対しCPUより設定、ファイル管理を行う。

(8) データセーブ

: 探傷データはフロッピディスクにセーブできる。

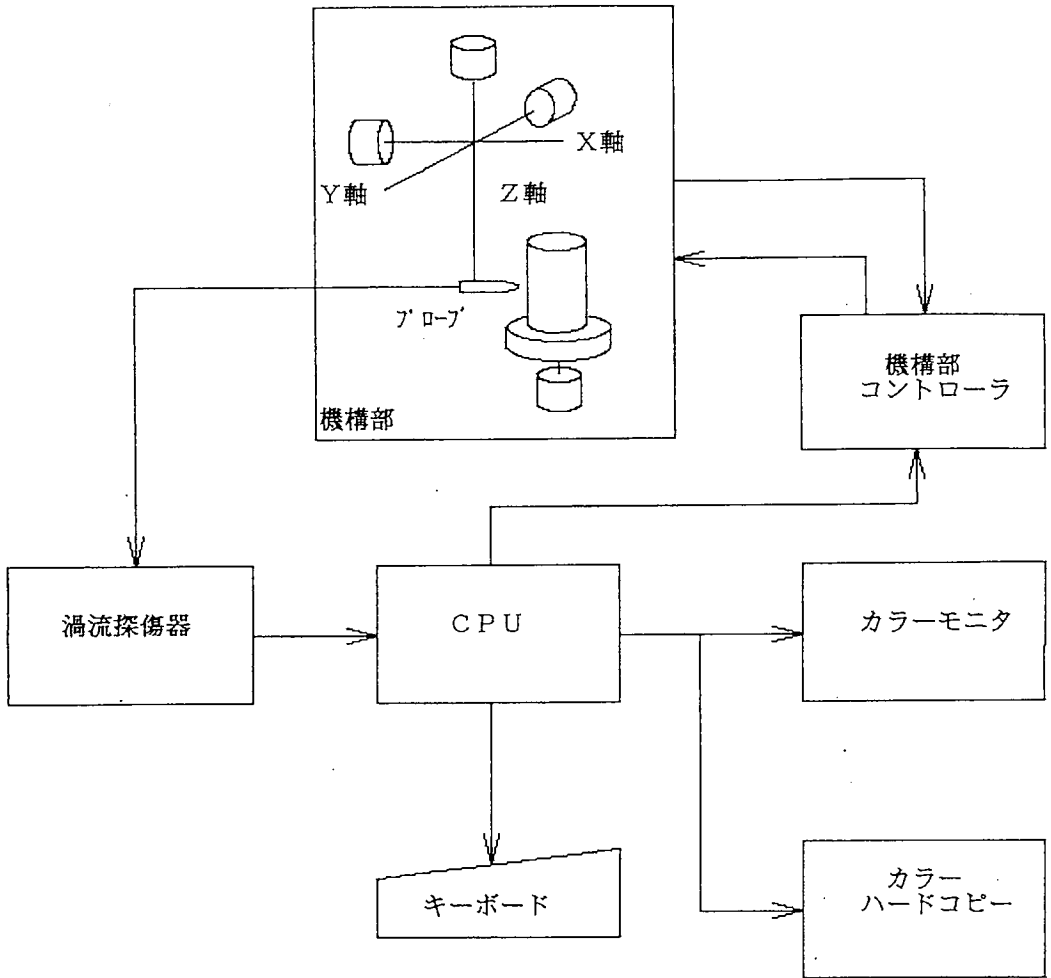


図1 渦流探傷映像処理装置ブロックダイヤグラム

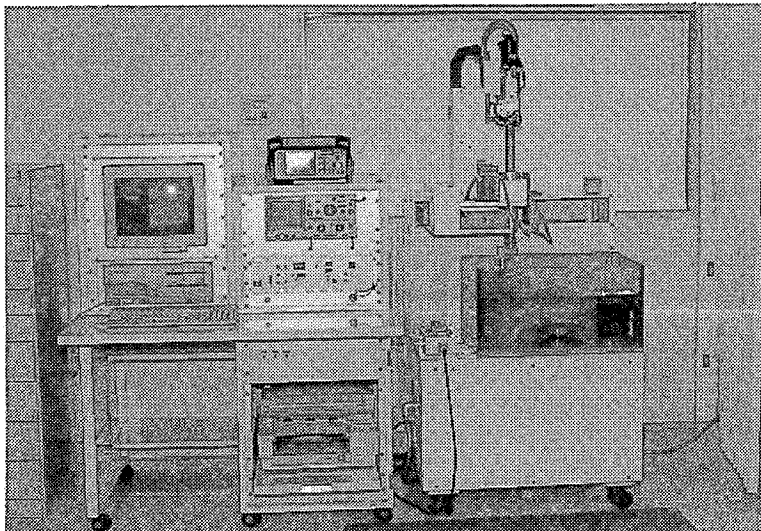


写真1 渦流探傷映像処理装置の全景

4. 探傷例

4. 1 アルミ板 0.1mmスリット傷

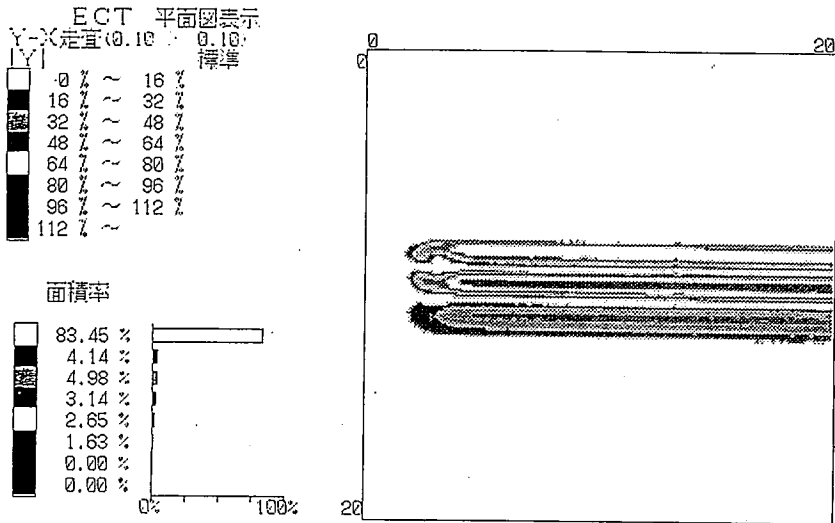


図 2. 8階調表示及び欠陥面積率表示

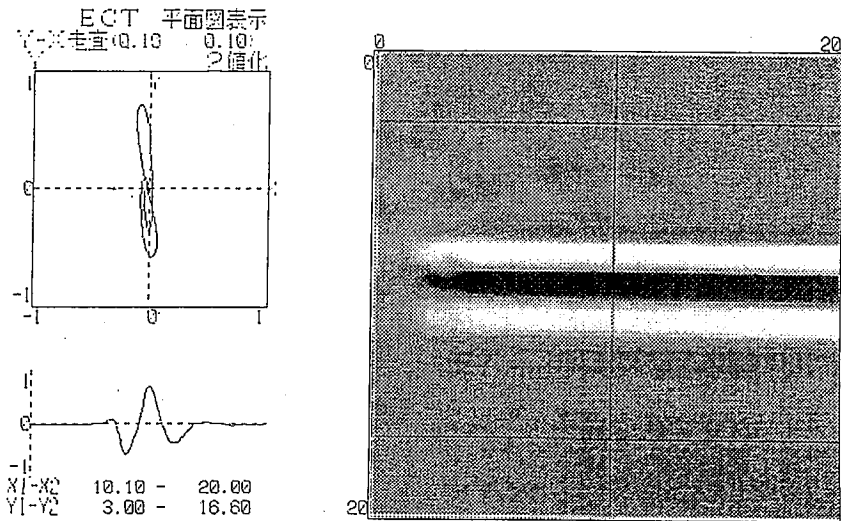


図 3. 白黒 2 5 6 階調表示及び Y-t 波形

同一の探傷データより各種の処理結果を得る事が出来る。図 2 では Y 信号の絶対値表示をカラー 8 階調表示し、図 3 の例では Y 信号の正負表示を白黒 2 5 6 階調表示し、さらにカーソル位置を X-Y 表示、Y-t 表示している。図では分かりにくい、灰色は 0 ボルトレベル、黒はプラスレベル、白はマイナスレベルとなっている。

4-2 渦流探傷 R Y B 表示の例

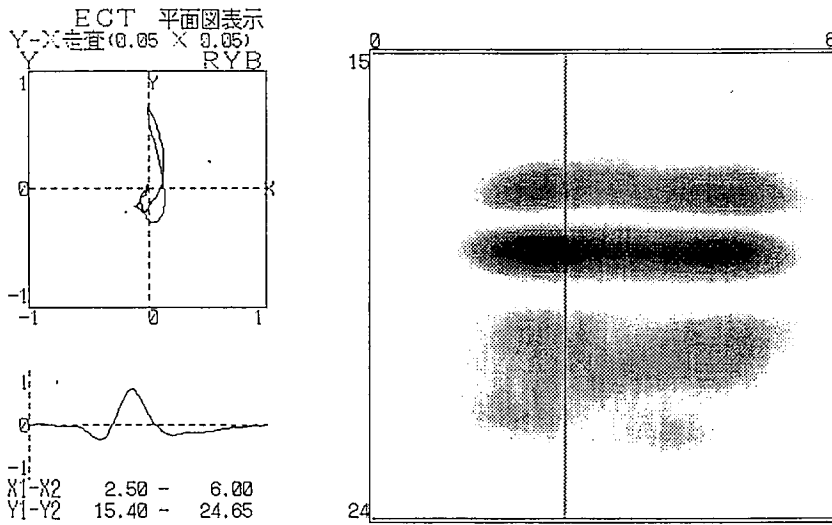


図4 0.1mm深さ、0.3mm幅、2mm長さノッチ傷

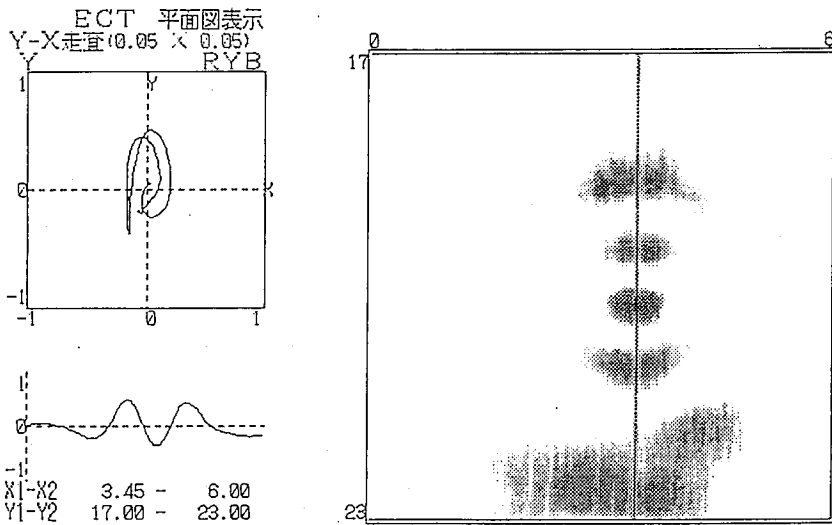


図5 φ2mmドリルホール

RYB表示は赤黄青の3色を256階調表示する。図では白い部分は黄色で0ボルトレベル、灰色または黒い部分が実際は赤または青でプラスまたはマイナスのレベルを表している。図5の例ではプローブの先端形状が画像に現れている。

4-3 渦流探傷ワイヤーフレーム表示の例 (人工欠陥φ2mmドリルホール)

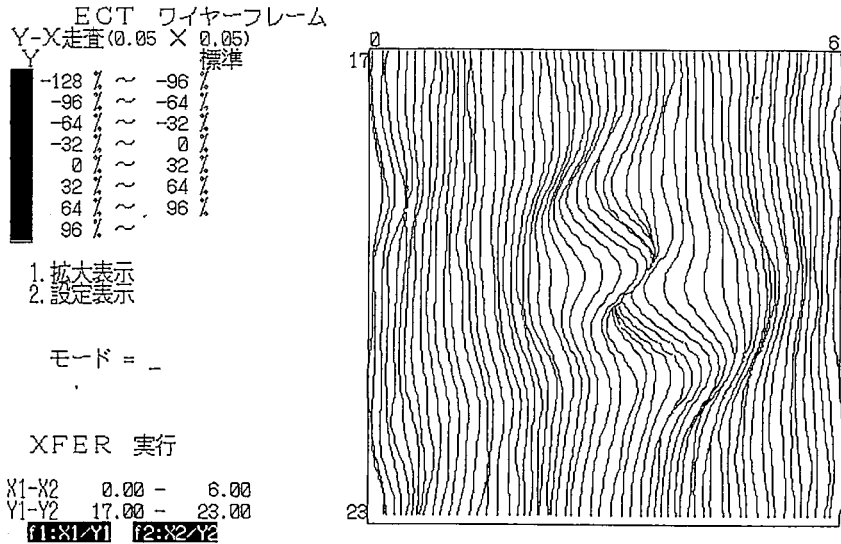


図6 プローブ角度45度

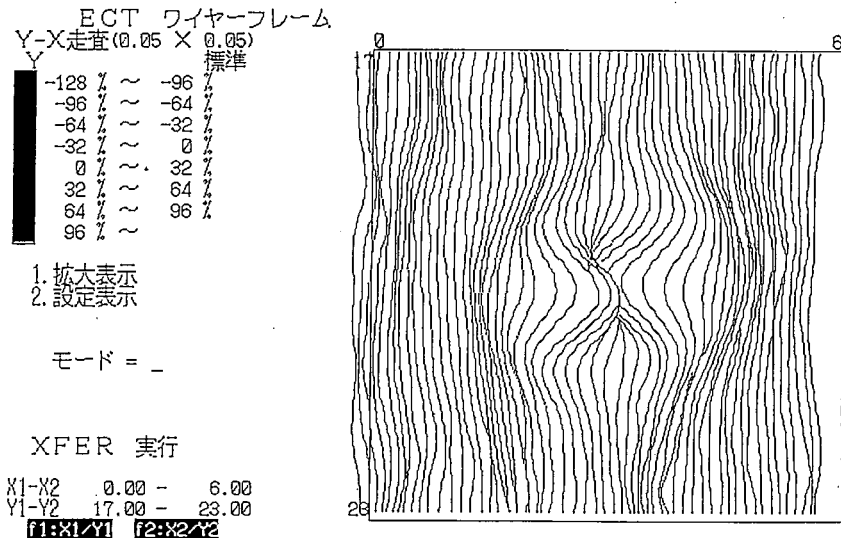


図7 プローブ角度90度

ワイヤーフレーム表示では欠陥に対する信号の変化を平面的な広がりを持ってみる事が出来る。図6、図7では同一欠陥を探傷しているがプローブの角度の違いが画像上に現れている。図では線は黒一色であるが色とレベルを設定すればワイヤーフレーム上で信号レベルを読みとる事ができる。

5. 考察

渦流探傷の X, Y 信号をハードディスクに記憶させ探傷終了後任意の位置の X-Y、Y-t 波形を取り出し表示させる事により、全体像を捕らえながらさらに欠陥部分の信号を詳細に表示する事が出来、これにより実験解析に役立つ各種の映像を得る事が出来た。4. 2 (2) の例にみるように超音波探傷のプロブデータと同様に渦流コイルの巻線の映像が得られるのでプロブ性能の評価に用いる事も可能である。

6. おわりに

超音波探傷の画像処理に用いる信号は、エコー高さとビーム路程のデータである。渦流探傷では信号振幅と、位相情報が得られこれを映像として同時に表示する事が必要であろう。今回開発した渦流探傷映像処理装置は、信号振幅をカラー表示及びワイヤフレーム表示したが、位相情報を含めた表示方法を模索中である。

回転対称体部品の自動渦流探傷装置の開発

日本クラフトレーマ(株)

白岩 俊男

川野 晋市

○村井 純一

平賀 久喜

石橋 宏三

概 要

自動車部品等の、回転対称体部品の表面に発生する割れを検出するための自動渦流探傷装置を開発した。コンベアで受け取った試験体をエアバージした後三爪回転チャックで掴み、300RPMで回転しながらプローブコイルを試験体形状に倣ってNC制御により二軸スキャンし、検査範囲を0.5mmピッチで非接触で探傷し、良品/不良品の判別を行ない、仕分けする。探傷前に毎回テストピースによるリフトオフ確認と、プローブコイルの診断を行なう。d=0.15 l=2.0mmの放電加工きずを検出できた。

1. はじめに

自動車部品等の回転対称体部品の表面に発生する割れを検出するための自動渦流探傷装置を開発した。仕様を下記に示す。

仕様

- 1) 検出能
深さ0.15mm 長さ2.0mmのきずを検出する
- 2) サイクルタイム
20秒
- 3) 渦流探傷器
アナログ出力付

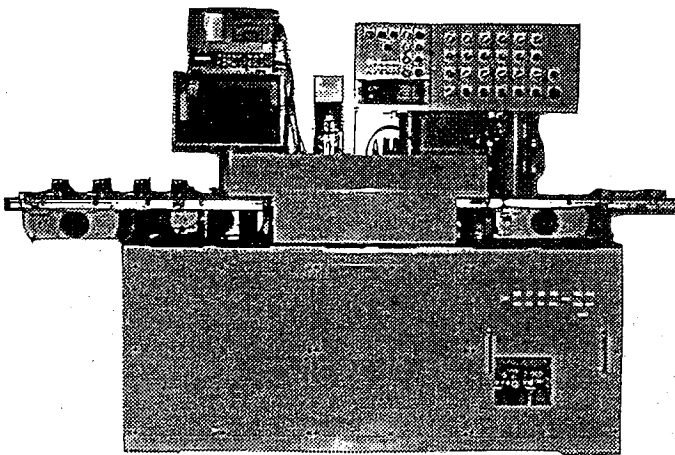


写真1 自動渦流探傷装置の全景

4) 機構部仕様

a) 機構部寸法

w : 2550mm D : 850mm H : 1700mm

b) プローブコイル走査方法

NCプログラムによる

c) 信号出力

フルワーク、NGフルワーク（4～5個）、機器異常の場合上位等の装置に対して信号を出力する

d) 警報

NGフルワーク、2回以上のNG連続発生の場合についてパトランプ及びブザーで警報を発生する

e) プローブコイル保護/自己診断機能

探傷前に、毎回テストピースによるリフトオフ確認と、プローブコイルの診断を行なう

f) 自動/手動の切り換え

各動作毎に自動/手動の切り換え可能

5) 出荷検査

放電加工きず入りテストピース及び健全材を、連続300回自動探傷し、判定誤動作が1回も無いことを確認する。

6) 電源

200V, 三相

7) エアー

3Kg

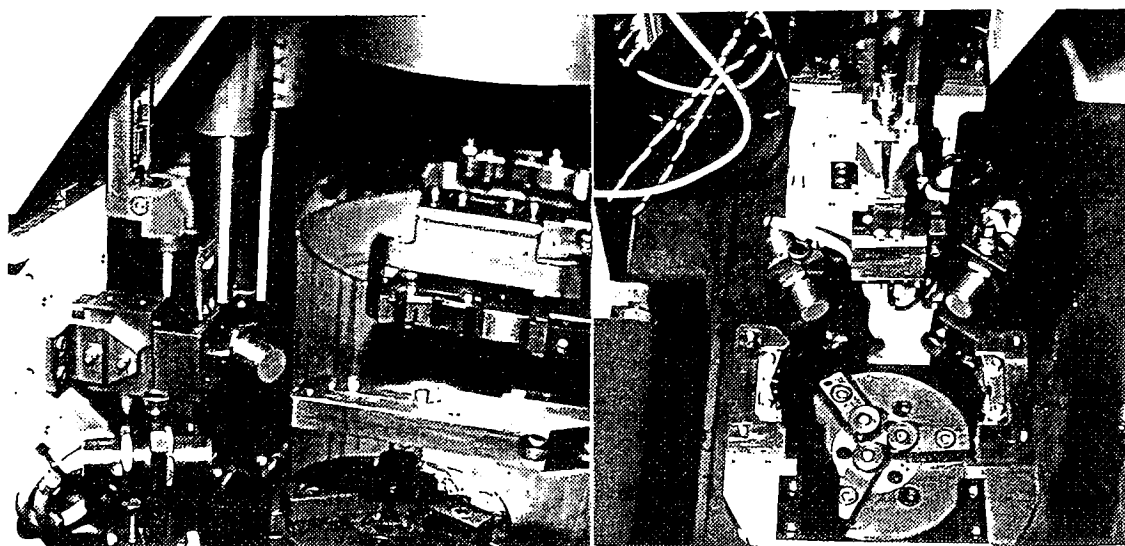


写真2 回転機構部及びプローブコイル

2. 探傷条件の確認実験

2.1 人工欠陥寸法

表1に示す寸法の放電加工きずを、試験体の各位置に作製した。

表1 人工欠陥寸法 (単位mm)

きず深さ	0.10	0.15	0.20	0.30
きず長さ	2.0	2.0	2.0	1.0

2.2 実験方法

2.1に示す人工きずを加工した試験体を自動探傷装置を用いて探傷し、最適周波数及びきず検出能を調べた。きず検出能は、ばらつきを調べるために、8個の試験片を10回繰り返し探傷し、健全材は7回探傷しデータを採取した。

2.3 実験結果

1) 最適周波数

試験周波数を100~350kHz変化させて、 $d=0.15\text{mm}$ きずを探傷し、信号振幅を調べた。信号振幅は、試験周波数が200kHzのときに最大となった。

2) ノイズときず信号の位相差

がた信号をX軸に調整した時の、がた信号ときず信号のX-Y表示を図1に示す。周波数を200kHzにした時、がた信号ときず信号の位相差は 40° であった。その時、電気ノイズの位相は、第3第4象限となり+Y軸レベルを評価すれば電気ノイズときず信号を弁別することが出来る。

3) きず検出能

8個の試験片を10回繰り返し探傷し、きず信号レベルのばらつきを調べた。繰り返しテストの1回目のチャートを図2に示す。きず寸法ときず振幅の関係を図3に示す。きず信号レベルのばらつきは、試験体のチャッキング精度によって決まり、きず深さが 0.10mm のとき信号は $0.27\sim 0.74\text{V}$ 、きず深さが 0.15mm のとき信号は $0.43\sim 1\text{V}$ 以上であった。このときノイズレベルは、 0.1V であった。従ってきず深さが 0.10mm のとき $S/N=2.7$ 、きず深さが 0.15mm のとき $S/N=4.3$ であった。

3. まとめ

本装置は、自動車部品を探傷する目的のタイプを現在10数台製造中である。次の3種類がある。

- (1) 焼きわれ探傷装置
- (2) 焼入れチェック及び焼きわれ探傷装置
- (3) 焼入れ深さ測定及び焼きわれ探傷装置

今後は、大形(casting・鍛造)部品の機械研磨仕上げ直後の超音波・渦流自動探傷装置を開発する予定である。

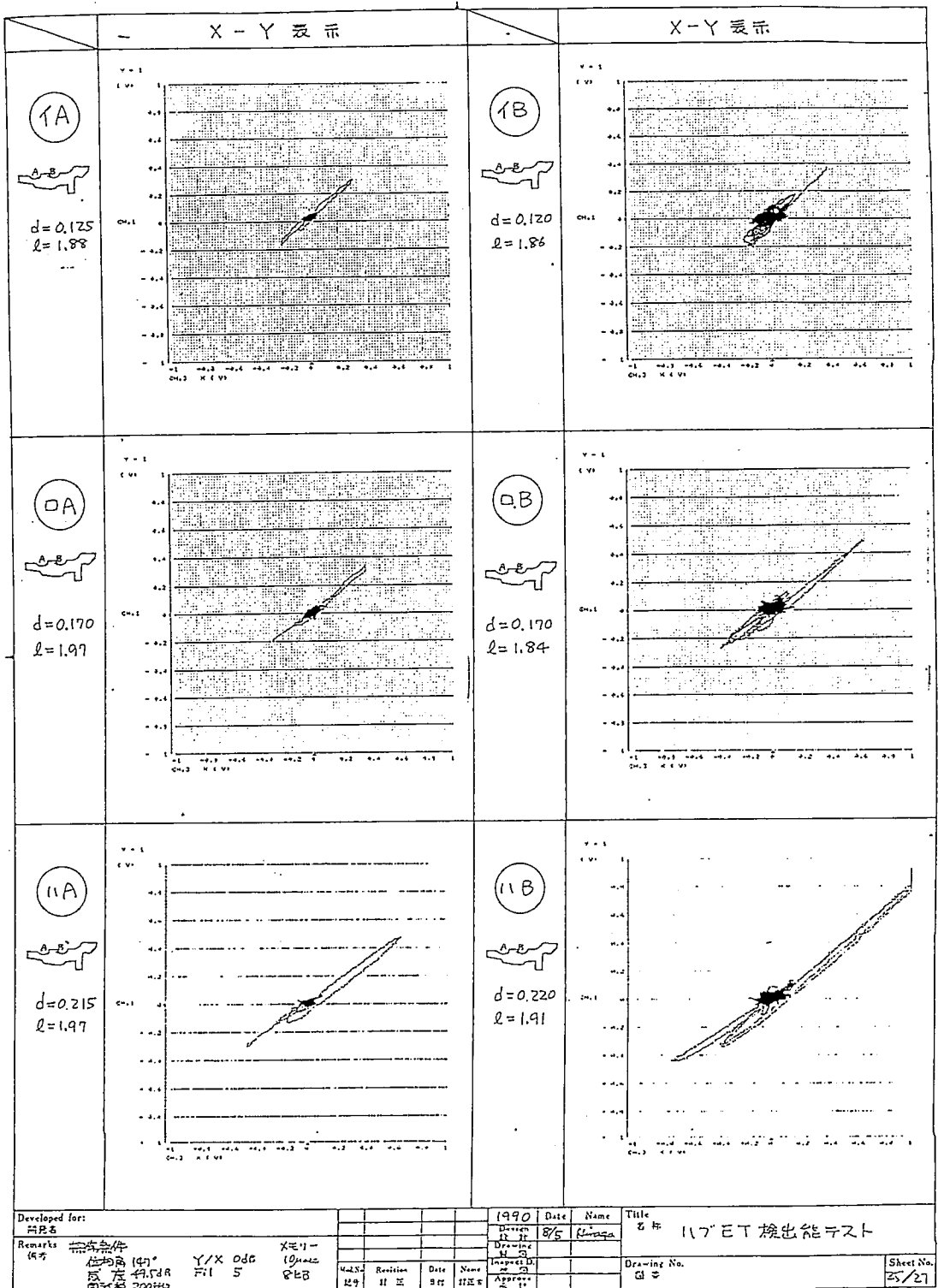


図 1 がた信号ときず信号の X-Y 表示

繰返しテスト (10回)

回数 ① 2.3.4.5.6.7.8.9.10回

テストピース A B



検査条件

70-7011L: 2.83(1.02-6900 (No.028))

探傷器: Defectoscop SD

周波数: 200kHz

位相角: 147°

感度: 40.0dB

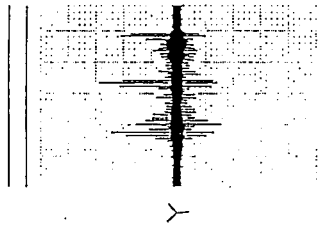
人工傷寸法

d=0.10 l=2.0

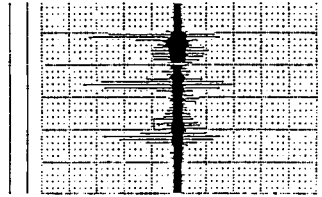
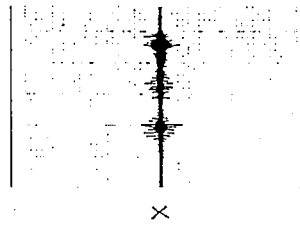
d=0.20 l=2.0

d=0.30 l=1.0

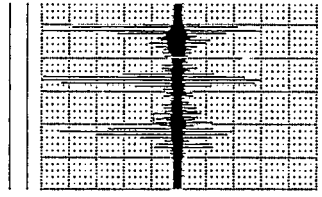
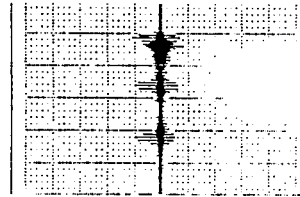
① 147°
40dB
200K
0
0
F:15



②



③



④

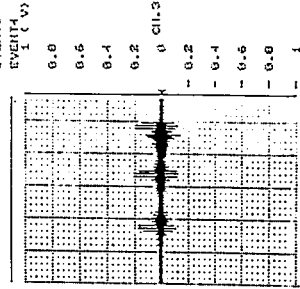
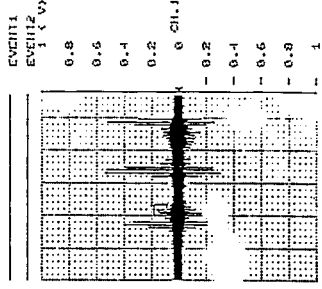
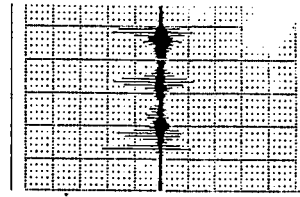
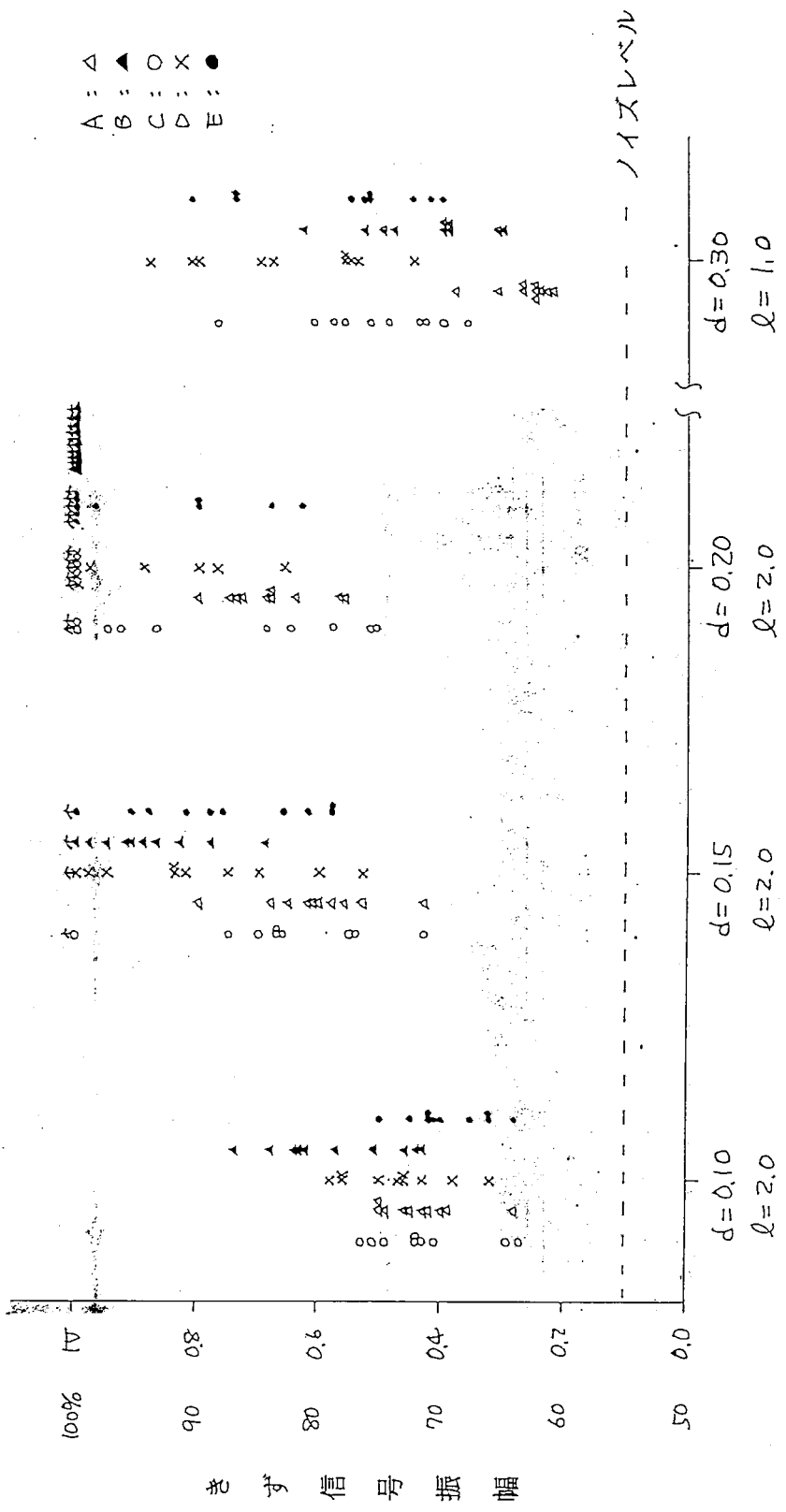


図2 繰返しテスト時のチャート記録



人工きず寸法
 図3 きず寸法ときず信号振幅の関係

管路診断について

(株)シーエックスアール 藤原 茂 ○ 稲垣 俊三
金原 了二 河部 俊英

1. まえがき

石油、化学、電力等の各種プラントにおいて、配管は主要な構成品として用いられている。このためプラントのメンテナンス、設備診断においても配管（管路）の健全性確認は極めて重要なものとなっている。

従来、配管の健全性確認としては、腐食検査法として、目視検査、超音波厚み計測等が主体となっている。しかし近年、埋設配管、保温付き配管、高所配管等への配管検査の対象が拡大していること、これらの検査に係る付帯工事を最少とし、迅速に健全性が確認できる検査法であること等の要求が高まっている。

そこで当社では、従来法の検査では対処が困難な分野に対して、ある程度の遠隔操作で検査が行え、かつ迅速な診断が可能な配管内部よりの検査法を開発してきた。また、保温材の上からでも測定可能な管内付着物／閉塞物検査法を開発してきた。

ここでは、当社で管路診断業務に用いている検査法のうち、その主なものの概要を紹介する。

2. 管内部よりの検査

2. 1 管内目視検査システム（モグラースステム）

プラントの主要構成品である配管については、従来より行われている外面検査の他に内面検査の必要性が多くなり、これまで種々のタイプの内面検査の走行装置が開発されている。しかしながら、エルボ、レデューサ、垂直管等を含む複雑な配管内を十分自在に自走できる装置は開発されていなかったことから、満足のいく内面検査が困難であるとされていた。

当社では、昭和59年に工業技術院電子技術総合研究所と共同で管内自走検査システムを開発し、多くのフィールドサービスを行うとともに改良を続け、その適用種類も増すとともに安定した検査装置として完成した。その主なものは3B～18Bの小中径管用のもので標準自走型と手押し型がある。目視検査システムには、高感度のITVテレビカメラを登載し、前方視、後方視、側方視、側方回転視等の視野を電動遠隔操作で切り替えるとともに、モニター画面上に走行距離、ローリング角度、カメラ指向角度等を表示する機能を有している。

2. 1. 1 標準自走型

装置の構造は、写真1に示す通り3個の車輪を持ち、エアシリンダまたはスプリングで常に管壁を突っ張る形となっている。

この構造により、管径変化に対応できるとともに、エルボやレデューサ部の通過が可能となる。さらに、管の偏芯、エルボ部通過等の影響による装置の管内ローリングを修正したり、ノズル、枝管等を避けて通過する必要がある場合は、ステアリング機構及び横滑り機構を付加した車輪により管内でスパイラル状に装置を回転させながら姿勢制御することができる。

主な特徴は以下の通りである。

- ① エルボ、レデューサ、T字管、垂直管を含む配管全てに対応できる。
- ② 溶接余盛、付着物等の障害物を乗り越え走行できる。
- ③ 姿勢制御機構によりノズル、枝管等を避けて走行できる。
- ④ レンズ首振り機構により直視、側視の安定した詳細観察ができる。
- ⑤ 走行距離、視向角、走行装置角度表示により観察対象物の位置の特定ができる。

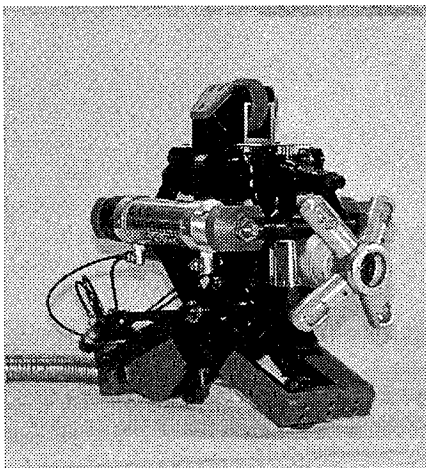


写真1 自走型外観

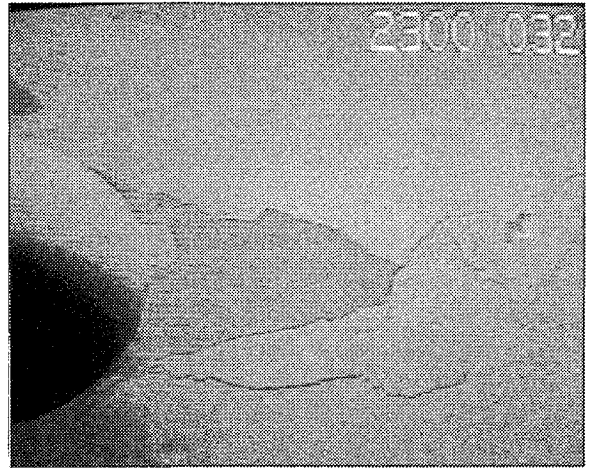


写真2 管内画像 (側視)

2. 1. 2 手押し型

装置は、120°毎に2個ずつの車輪またはソリを持ち、ファイバースコープにより手動で走行させる構造となっている。自重によって管内で姿勢を維持する形であることから、エルボ等の曲がり管の走行、垂直管の上昇走行等は困難であるが、直管の適用管径幅が大きく走行能率が高い。特に自走型が機構製作上困難である小径管に対しても適用可能である。

主な特徴は以下の通りである。

- ① レデューサ、垂直管（下降）等の直管に対応可能である。
- ② 構造が簡単で軽量、小型であり、適用範囲が広い。
- ③ 自走型が走行困難であるような大きな段差の溶接余盛、管内腐食、残留付着物等の障害物を乗り越えて走行できる。

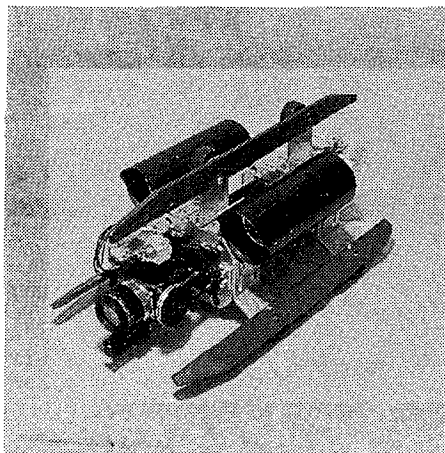


写真3 手押し型外観（中径用）

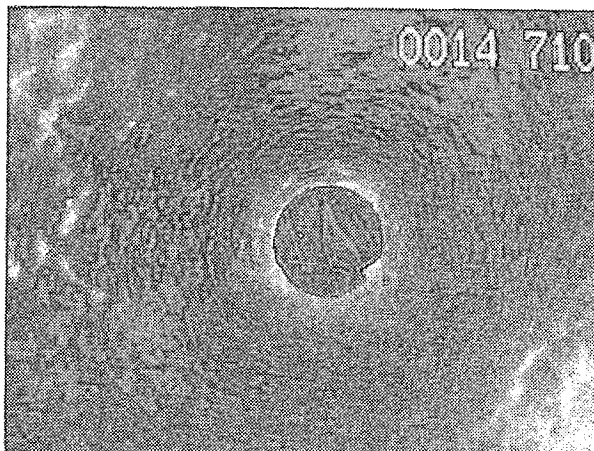


写真4 管内画像（直視）

2. 2 小径管内目視検査装置（モグラ-CCD-LG）

従来、小径管内を観察する手段としては、ファイバースコープやボアスコープ等が用いられているが、スコープヘッドの管内センタリング、観察方向の確認、指向角の広さ、長距離挿入性等に問題があり、特に、映像の鮮鋭度において精密検査の手段としては満足のいく状態ではないことが多い。

本装置は、超小型のCCD・TVカメラとグラスファイバー製ライトガイドによるクール照明を組合せ、内径50mm～80mmの小径管内に挿入できる遠隔制御型目視検査用TVカメラシステムである。現在、これらのシステムは、クエンチャーボイラー管、熱交換器伝熱管、バルブ等の内部の目視検査に供している。

主な特徴は以下の通りである。

- ① 撮影距離に応じて遠隔焦点合わせができるTVカメラを用いることにより、20mmの近接撮影が可能で、固定焦点のファイバースコープ等とは異なる極めて鮮明な画像が得られ、精密目視検査（0.1mm程度の傷識別を目標）に適している。
- ② 前方視専用カメラヘッドに水平写角111°の超広角レンズを、側方視専用カメラヘッドに準広角レンズと直角プリズムおよびカメラヘッド回転機構

を組み込んだ2種類のカメラヘッドを用いることにより、任意の箇所の目視検査ができる。

- ③ 大きい照度を必要とするカラーカメラの照明として、外部より照明光を導くライトガイド方式を採用することにより、カメラ回りの機構のコンパクト化と照明熱による影響の排除ができ長時間観察が可能である。
- ④ カメラヘッド挿入距離、回転角度の同時表示及び録画が可能である。

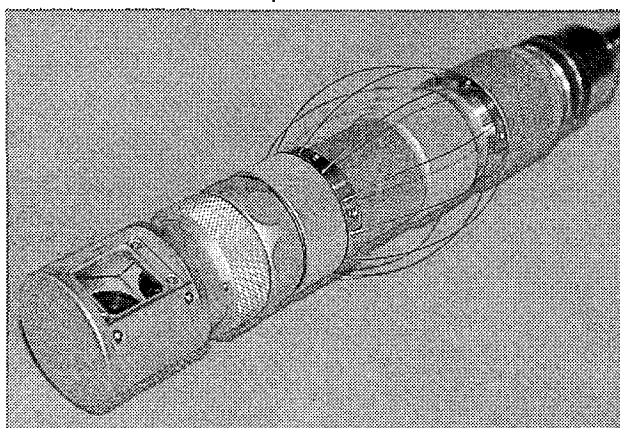


写真5 側視カメラヘッド

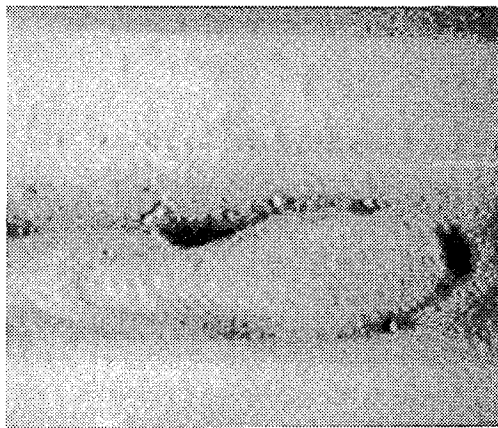


写真6 管内画像（側視）

2. 3 リモートフィールド渦流探傷システム

プラントの非磁性体熱交換器伝熱管の保守検査等に、位相解析法による渦流探傷試験法が広く利用されている。

しかしながら、磁性体管に対しては、材質のバラツキ、特に、透磁率のバラツキに起因する材質ノイズのため、欠陥の定量化はもとより、欠陥検出でさえも困難な場合が多い。透磁率の影響を除去するため、電磁石や永久磁石を利用した局部磁化法を併用する渦流探傷技術が開発されているが、十分な実用レベルにあるとはいえない状況である。このような現状の中で、近年、磁性管の探傷法として、リモートフィールド渦流法（RFEC）が研究、開発されており、当社においても独自の開発を進めている。当初、東京ガス（株）、大阪ガス（株）、東邦ガス（株）（ガス3社）より研究の一部を受け、ガス支管検査装置、センサ、ケーブル送戻装置等の探傷システム全般の開発を行って実用に供している。現在では、これらのノウハウを基にさらに鋳鉄管、中径管、極小径管の開発を継続している。

(1) RFECの原理

原理図に示すように、送信コイルと受信コイルを隔てて置くと、直接伝播波（ ϕ_1 ）に比べその減衰の度合いが小さい間接伝播波（ ϕ_0 ）が有効となって

くる（リモートフィールド）。管肉厚を通過することにより受ける位相、振幅の変化の内、(1)式に示すように位相は管肉厚に比例することが知られており、この位相変化を取り出すことにより管肉厚を評価することが可能となる。これに対し、振幅は(2)式に示すように管肉厚に対して指数関数的に減少する。これより、通常RFECにおいては、位相情報が利用される。

$$\text{位相差 } (\Delta\phi) \propto d \sqrt{\pi f \mu \sigma} \quad \dots\dots\dots (1)$$

(d: 管肉厚 μ : 透磁率 f: 周波数 σ : 導電率)

$$B = B_0 \cdot \exp(-d/\delta) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\delta = 1 / \sqrt{\pi f \mu \sigma}$$

(B_0 : 表面強度 δ : 浸透深さ)

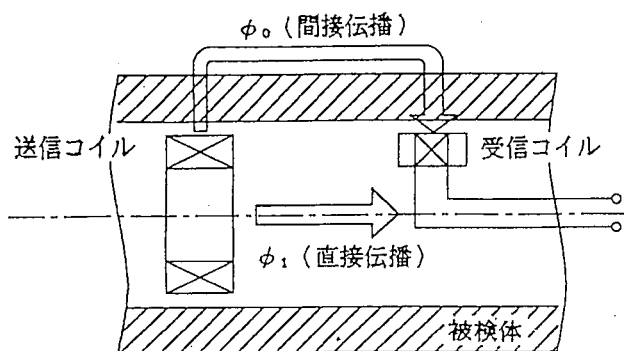


図1 RFEC原理図

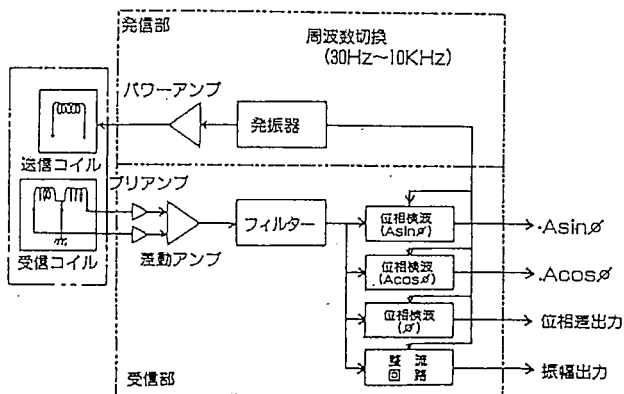


図2 RFECブロック図

(RFT-21)

(2) 磁性小径管用探傷装置（リモートフィールドテスター RFT-21）

これまでのRFEC技術を基に開発した磁性小径管用探傷装置で、従来の渦流探傷検査では困難とされてきた磁性体熱交換器伝熱管あるいは各種小径配管の検査・診断に利用できる。

主な特徴は以下の通りである。

- ① 各種の強磁性体伝熱管に対応できるよう可変の検査周波数を持つ。
- ② 受信コイルは、差動型、絶対値型のいずれにも対応し、これらの双方を一本のコイルに組み込んで、ピッチング等の局部欠陥とエロージョンのようななだらかな減肉を同時検出できるように2チャンネルの受信部を持つ。
- ③ 各チャンネル毎に4種類の出力信号を発生し、組合せにより種々のデータ処理を行える。

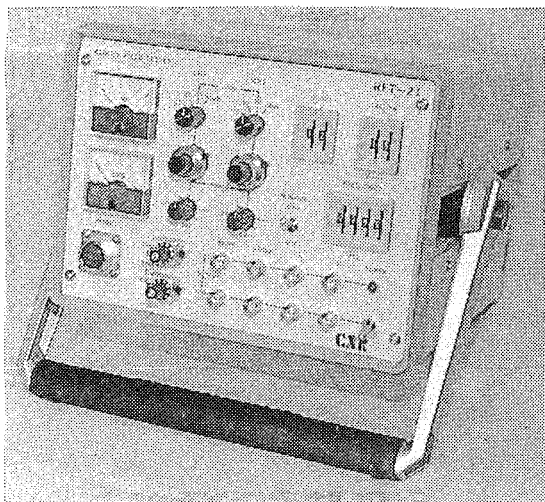


写真7 RFT-21外観

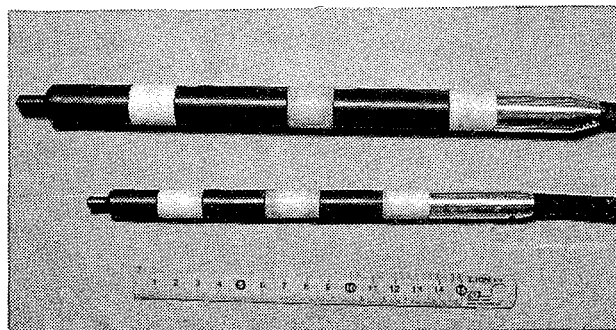


写真8 プローブ

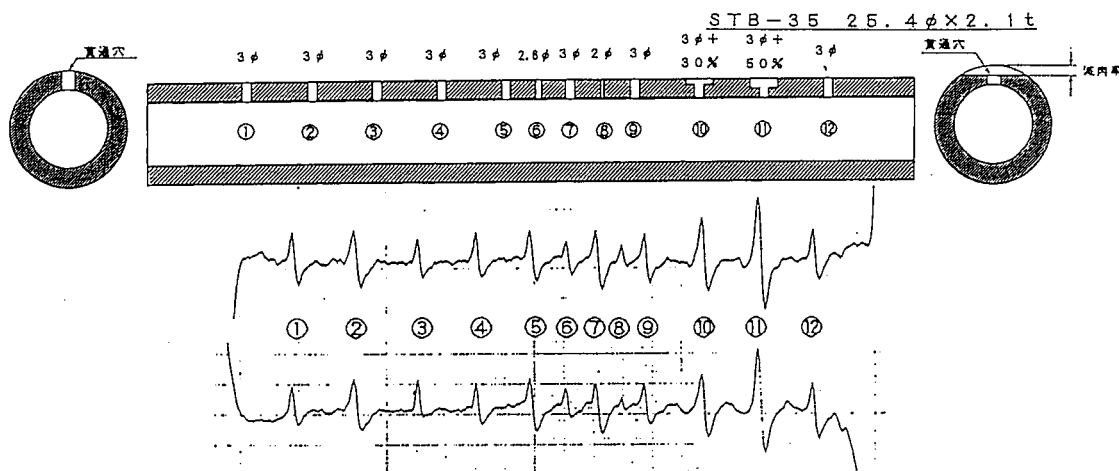


図3 人工欠陥検出例

3. 管外部よりの検査

3. 1 放射線利用による管内付着物測定装置 (JC-RIX II)

放射線の透過減衰作用を利用し、管内の付着物、堆積物、あるいは異物の検出を行うことができる。当社では、「21世紀マンション組合委託研究」の「給湯用配管検査技術の開発」により、放射線を利用した配管診断技術を研究開発してきたが、このうち最も実用的な管軸直交方向走査による付着物検出システムを実用商品化した。

主な特徴は以下の通りである。

- ① 管厚み、付着物の量にもよるが、法規制外の線源 (3.7メガベクレル以下のセシウム137 γ 線源) を用いた場合、350Aまでの配管が検査可能である。

- ② 法規制外の線源のため放射線管理に係わる作業場所、作業時間等の制限が無く、他の検査業務等との併用作業ができる。
- ③ 保温筒の上からでも検査は可能であり、取扱が容易である。

(1) 測定の原理

γ放射線源と放射線検出器の間に管を介在させ、管軸に対して直交する方向に放射線源と放射線検出器を順次移動走査して、透過放射線の線量強度を測定する。走査は付着物の無い健全な管と付着が予想される管（対象管）のそれぞれに対しておこない、その透過線量の違いから以下の式により付着物厚みを算出する。

$$I = I_0 \cdot \exp \{ - (\mu_1 X + \mu_2 Y) \} \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$I' = I_0 \cdot \exp (-\mu_1 X) \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$Y = \ln (I' / I) / \mu_2 \quad \dots \dots \dots (5)$$

I : 対象管走査強度 I' : 健全管走査強度 I₀ : 管無し強度
 X : 管厚み(cm) Y : 付着物厚み(cm)
 μ₁ : 管吸収係数(1/cm) μ₂ : 付着物吸収係数(1/cm)

線源と検出器の対を管軸に直交する方向に走査した場合、付着物の無い健全管のデータ波形は理論的に計算した減衰波形と若干異なり、放射線ビーム、走査速度、検出器の応答性等の各種要因を受けた変化波形である。そこで同じ変化要因をうけた対象管データをこの健全管データと対応させることでこれらの変動要因を簡易かつ迅速に除くことができ、精度の高い厚さ計算ができる。健全管データは、あらかじめ標準データとして記録しておく。

(2) データ補正処理

本測定法では、健全管と対象管の測定データを対応させ比較演算する方法を用いているため、これらの測定データを測定位置毎に精密に対応させる必要がある。対応させるには測定治具側の設定で行うことができるが、測定作業の容易化を図るため治具の設定は比較的ラフに行えるものとし、測定データ側で必要な補正処理を行うものとしている。

① 検出器出力の平滑

連続移動走査により走査位置0.1mm毎に1点(10点/1mm)取り込むデータは、線源強度等のバラツキによりノイズを含む波形のため、両データを平滑処理し現実に即した見やすい付着物断面図とする。平滑程度は、検出する付着物量の形状を保持する程度としている。

② 測定感度の同一化

測定感度を健全管および対象管とも同一とすることが本測定法では基本と

なる。実際には、対象管のみを現場で測定するため感度調整を治具（線源－検出器間距離）で行うのは能率が悪くなる。そこでここでは両者のデータの空間線量域のレベルの差を基に全体の感度レベル補正を行っている。

③ 走査位置の対応化

比較演算であるためデータ相互の測定位置が対応している必要がある。実際に測定で同一の治具設定を行うことは実用上不便なことが多く、特に保温筒付きの管を測定する場合、保温筒外から正確な管位置を特定することは困難である。これらの点から走査位置の対応化は不可欠な条件とある。補正は、管軸直交（直径）方向走査において現れる管端部の透過放射線の急激な減衰部を検出する方法によっている。

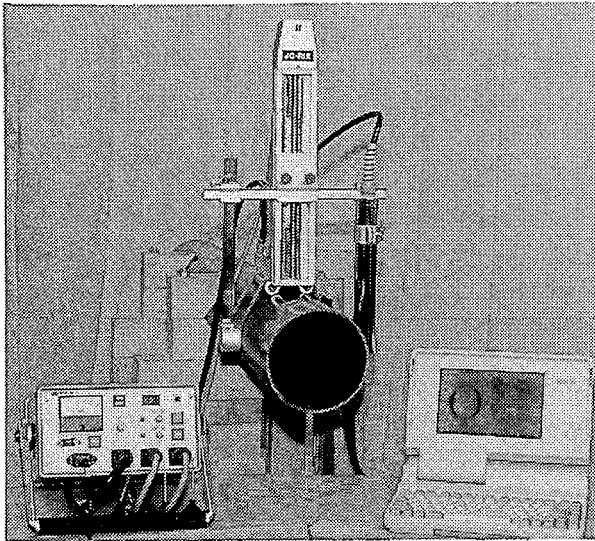


写真9 RIXシステム外観

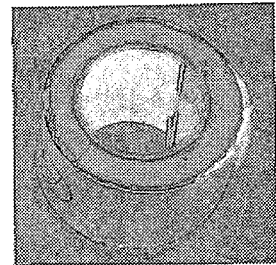


写真10 サンプル管

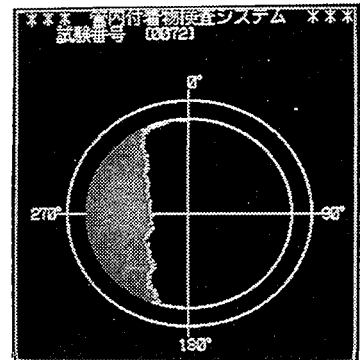


写真11 出力例

4. 総合的な管路診断

それぞれ単体の装置による各種の検査のフィールド実績は蓄積されているが、単一の検査方法のみでは全般的な診断には十分でないことから、当社ではこれらを相互に補い組み合わせて総合的な管路診断技術としている。

内面、外面腐食にはRFE C法、内面腐食には管内目視法、保温材付き配管を含む管外面からの付着物／閉塞物検査には放射線透過測定法をそれぞれ必要に応じて組み合わせ、フィールドサービスに供するとともに、管内目視検査システムにRFE Cセンサあるいは超音波探傷センサを登載し、複合検査が同時に行えるシステムも現在開発中である。

超音波による割れの深さ測定

測定方法の基礎実験及び探触子の選定

非破壊検査株式会社

表面に開口した割れの深さ測定方法として、集束形探触子を使用した端部エコー法を採用する機会が多い。しかし、端部エコー法は熟練した技術者を必要とし、さらに、割れの発生が最も多い溶接止端部では探触子の接近限界長さの関係から割れの深さを測定できない場合がある。

そこで、超小型探触子を使用した割れ深さ測定方法を考案し、簡便に開口した割れの深さを測定できる手法について検討したので報告する。

なお、現在は基礎実験が終了した段階であり、今後専用器を開発する予定である。

1. はじめに

石油・石油化学プラントなどでは磁粉探傷試験や浸透探傷試験を実施し、割れが検出された場合、その割れの深さを測定する機会が多い。従来、割れの深さを測定する方法は集束形探触子による端部エコー法を採用する機会が多い。

端部エコー法は以下の問題点がある。

1) 図1に示すように、割れは溶接止端部に発生する機会が多く、余盛による斜角探触子の接近限界長さの影響を受け、測定できない場合がある。

2) 端部エコーの識別が難しく熟練した技術者でないと測定できない。

そこで、簡便に割れの深さが測定できる方法として、超小型探触子による回折超音波による割れ深さ測定方法を考案し、周波数の選定などについて基礎的検討を行った。

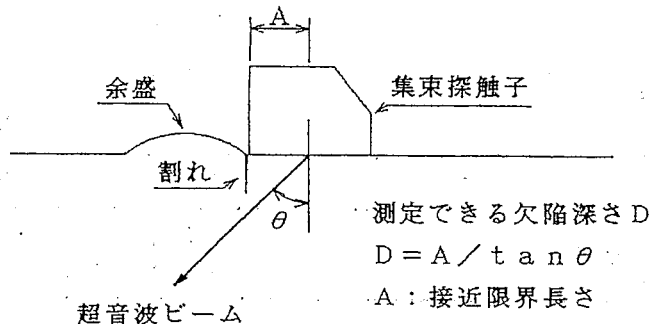


図1 端部エコー法の適用範囲

2. 基本原理

図2に示すように開口した割れの片側から超音波ビームを入射させる。振動子は直径が小さいため指向性は鈍い。割れの先端で超音波は割れの反対側へも回折し、その一部は割れの反対側に設置した受信探触子で受信できる。この回折波により割れの深さを測定する。

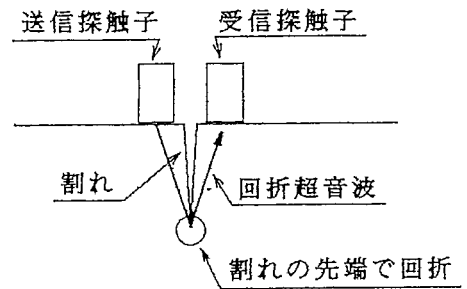


図2 割れ深さの測定原理

一般に超音波は波長が長いほど回折しやすいが、波長が長すぎると割れの界面が接触している場合には、その接触面からの透過波が検出され測定精度が低下する事が予想される。

3. 基礎実験

3.1 実験装置

実験に使用した装置及び試験片を表1に示す。

表1 実験に使用した装置及び試験片

超音波探傷器	USIP12	クラウトクレマー
	AD3211A	エーアンドディー
	FD-670	三菱電機
探触子	10C2N	検査技術研究所
	5C2N	検査技術研究所
	2C4N	検査技術研究所
スペクトルアナライザー	3585B	YHP
試験片	図3に示すワイヤカットによるスリット入り試験片 自然割れ試験片	

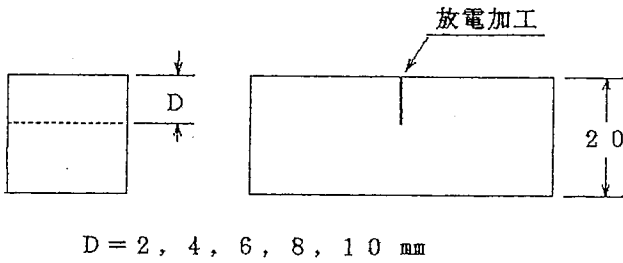


図3 スリット試験片の形状寸法

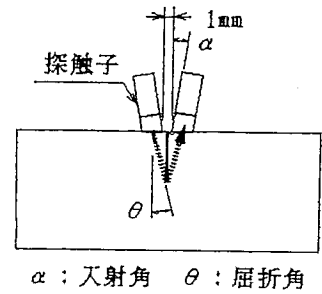


図4 実験方法

3.2 実験方法

図4のように、試験片のスリットを中心に探触子間隔を1mmにセットして、さらに探触子のアクリルシューを彫刻機を使用して加工し、入射角を種々変化させながら各試験片のスリット先端の回折波を検出した。入射角は表2のように選定した。

表2 各探触子の入射角と屈折角並びに交軸点の深さ

探触子	2 C 4 N			5 C 2 N					1 0 C 2 N		
	入射角(度)	0	8	11	0	5	8	10	15	0	8
入射角(度)	0	8	11	0	5	8	10	15	0	8	10
屈折角(度)	0	17.5	24.4	0	10.9	17.5	22.0	34.0	0	17.5	22.0
交軸点(mm)	∞	11.1	7.7	∞	10.4	6.3	5.0	3.0	∞	6.3	5.0

4. 実験結果

4.1 探傷図形

図5に2 C 4 N、図6に5 C 2 N、図7に1 0 C 2 Nの代表的な探傷図形を示す。また、図8に5 C 2 Nの自然割れに対して実施した探傷図形を示す。

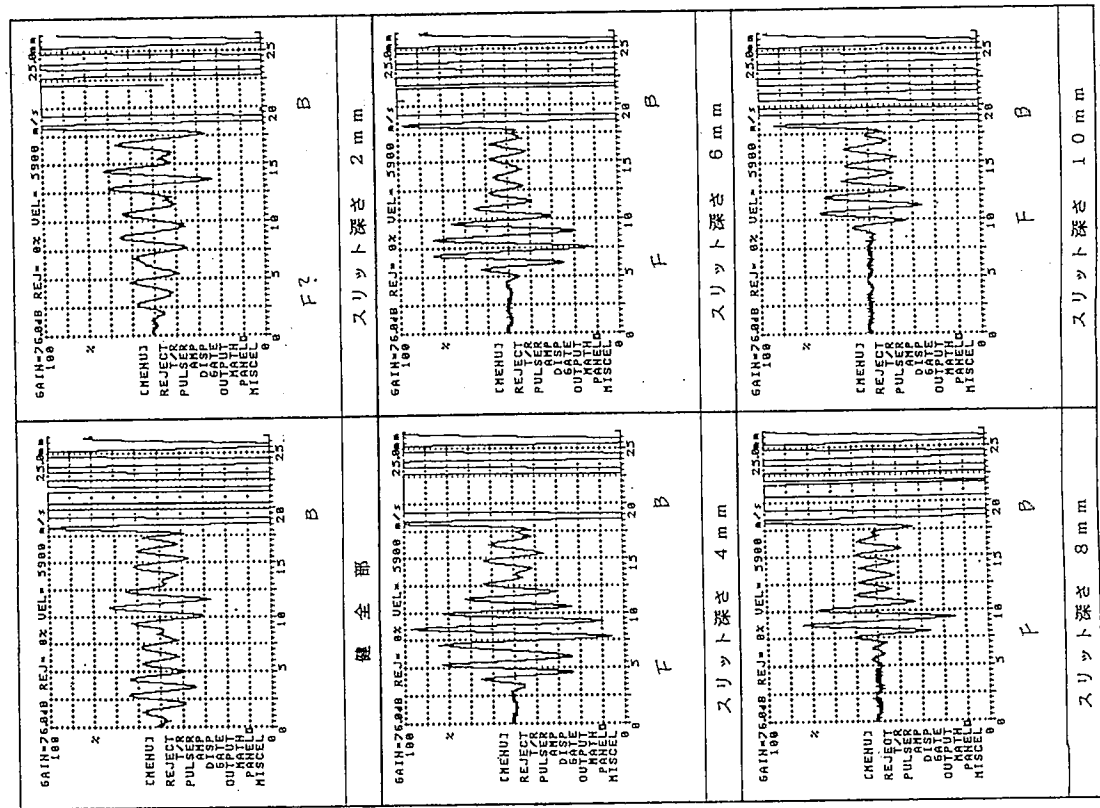


図5 探触子 2C4N 入射角 11° (AD3211A)

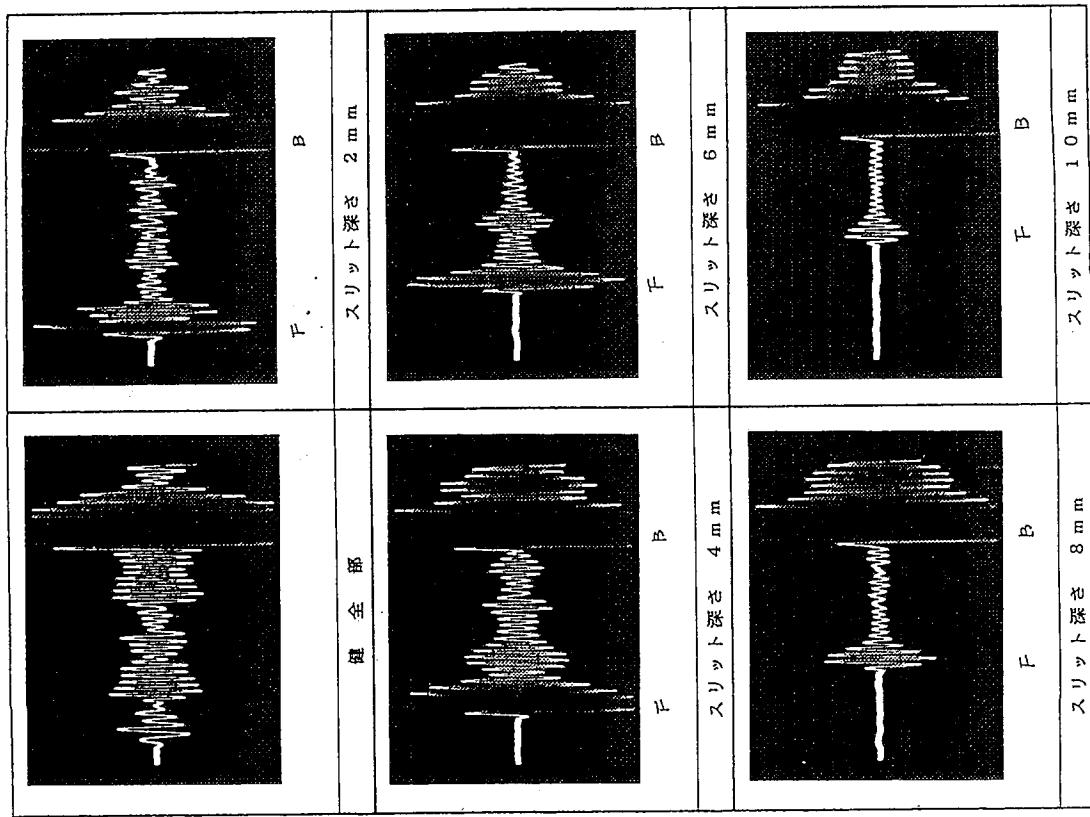


図6 探触子 5C2N 入射角 10° (USIP12)

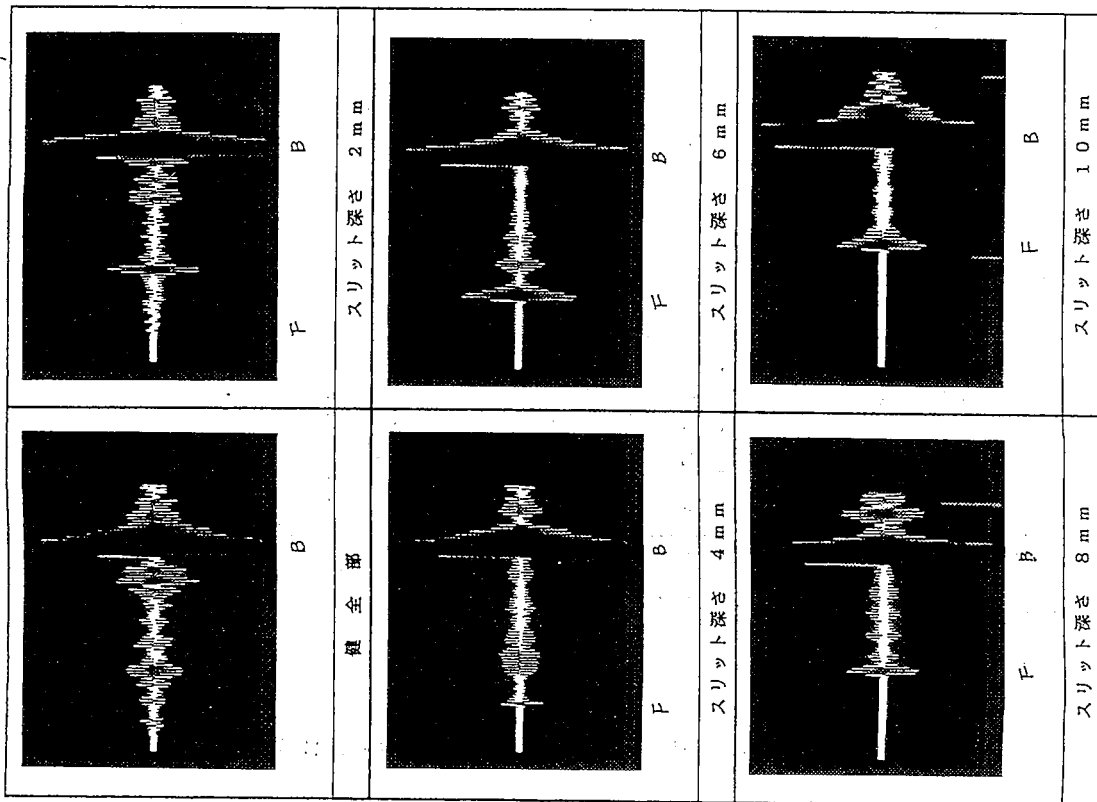


図7 探触子 10C2N 入射角 8° (USIP12)

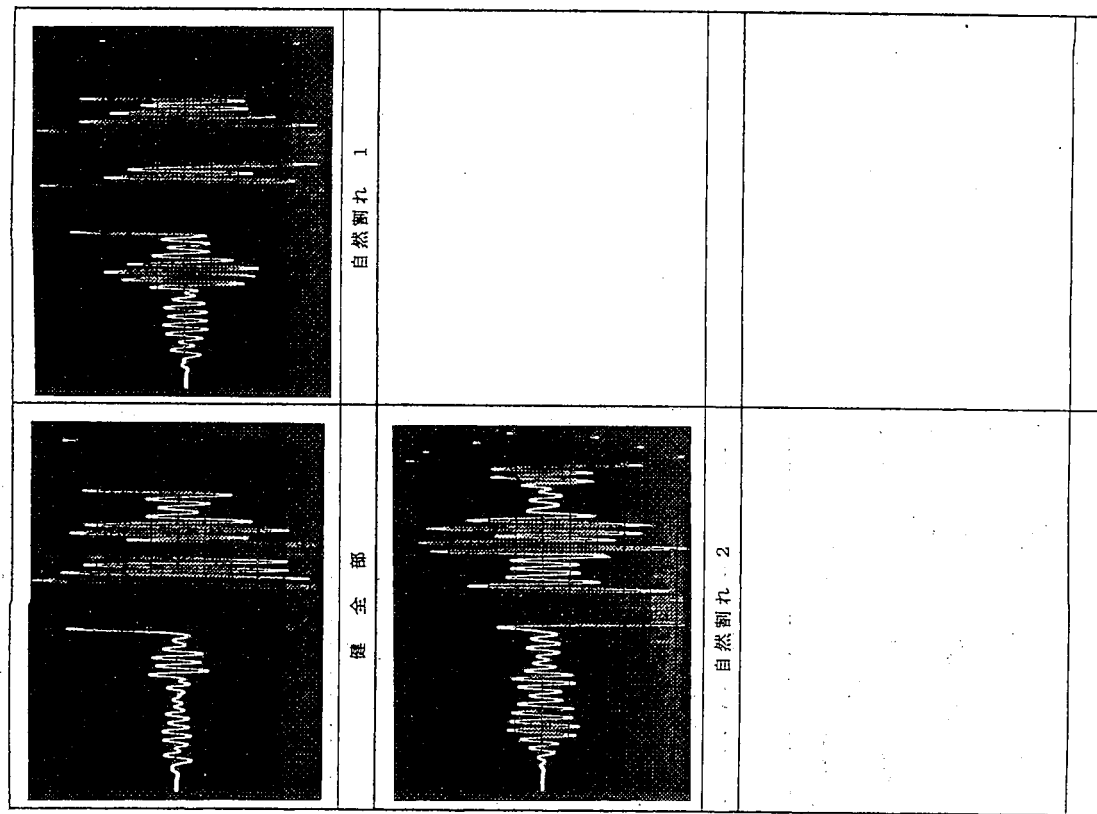


図8 探触子 5C2N 入射角 8° (USIP12)

4.2 エコー高さとSN比

図5～8より、回折波は一側の方が大きいことがわかる。したがって、回折波の
 一側の第1波の高さ及びそれ以前に現れるノイズの高さを測定した結果をまとめて
 図9～11に示す。

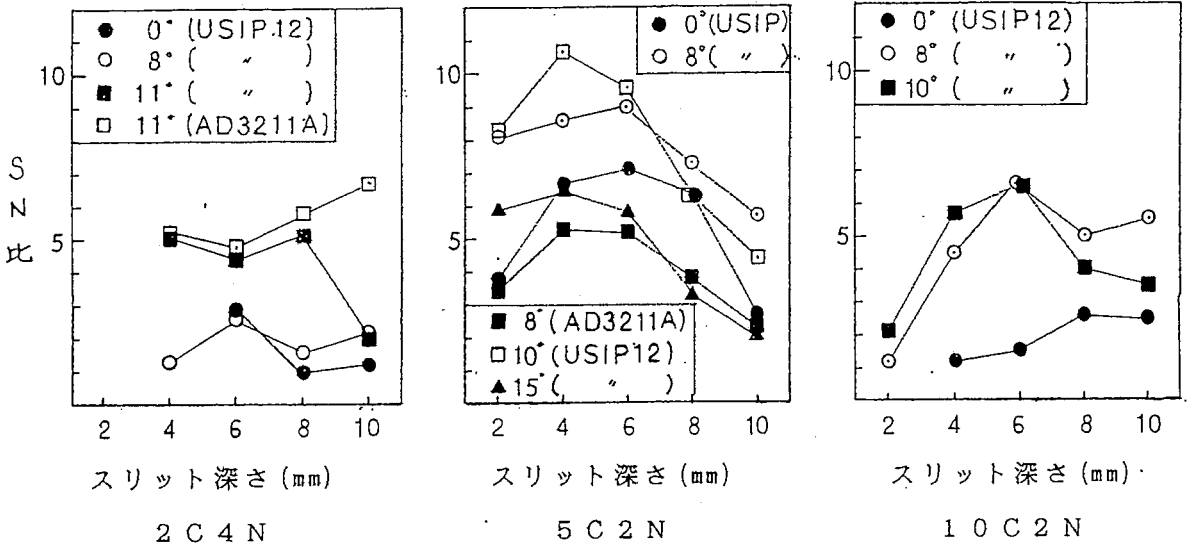


図9 各探触子のスリット深さと入射角並びにSN比

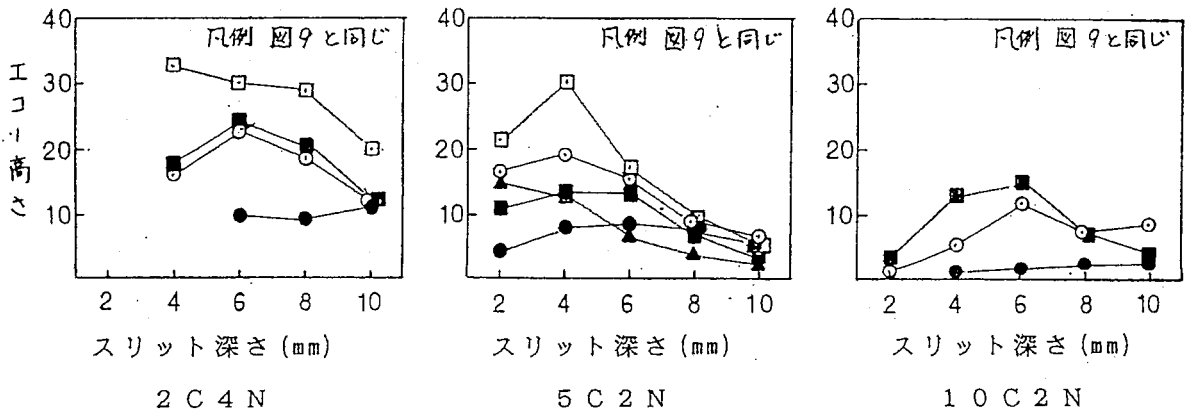


図10 各探触子のスリット深さと入射角並びにSN比

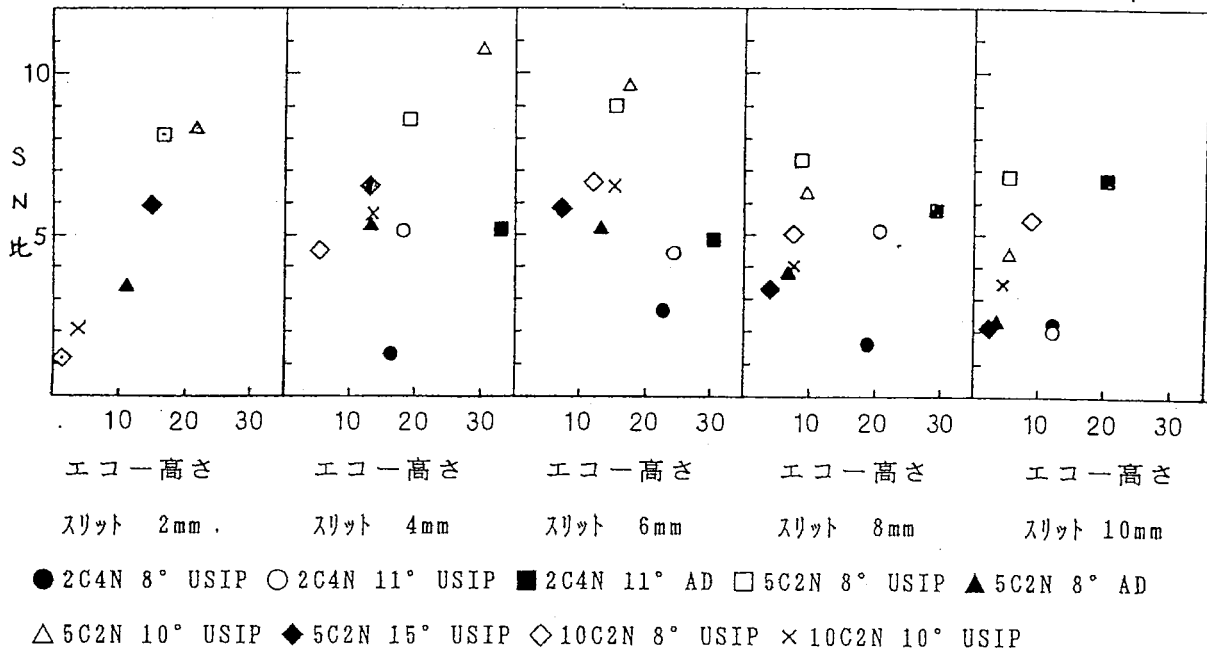


図 1.1 スリット深さ及び入射角と S N 比及びエコー高さ

4.3 周波数分析

図 9 ~ 1.1 より比較的 S N 比の良い表 3 に示す条件で周波数分析を行った。

2 C 4 N で厚さ 20mm の透過

表 3 周波数分析を行った探傷条件

パルスの分析結果を図 1.2 に、

健全部及び深さ 10mm のスリッ

ト回折波の分析結果を図 1.3

及び 1.4 に、また、5 C 2 N

で厚さ 20mm の透過パルスの分

析結果を図 1.5 に、健全部並

びに深さ 2、4、6 mm のスリ

ット回折波の分析結果を図 1.6 ~ 1.9 に示す。

自然割れの回折波の分析結果を図 2.0 ~ 2.1 に示す。

探触子	入射角	屈折角	交軸点の深さ
2 C 4 N	11°	24.4°	7.7 mm
5 C 2 N	10°	22.0°	5.0 mm

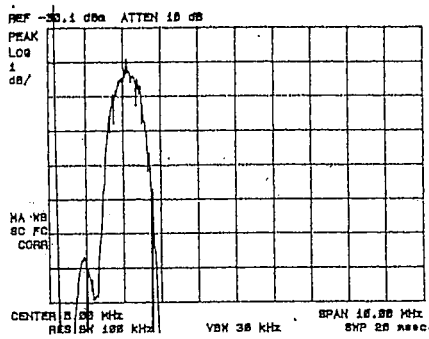


図12 2C4Nの透過パルス(厚さ20mm)の周波数分析結果

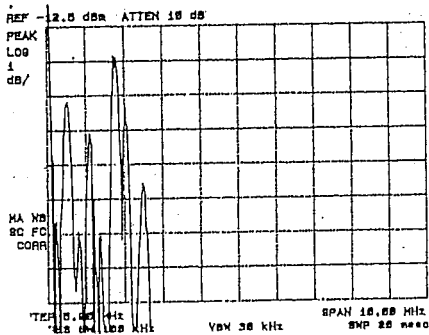


図13 2C4N深さ10mmスリット試験片健全部ノイズの周波数分析結果

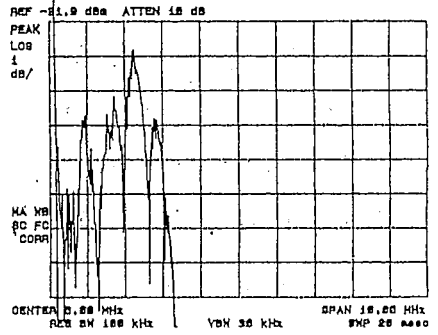


図14 2C4N深さ10mmスリット回折波の周波数分析結果

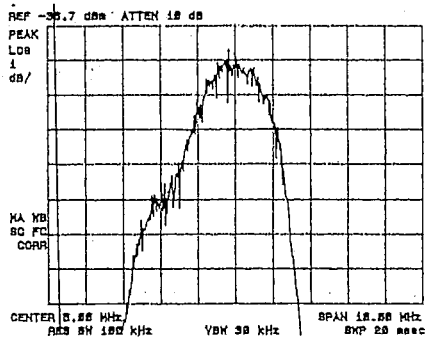


図15 5C2Nの透過パルス(厚さ20mm)の周波数分析結果

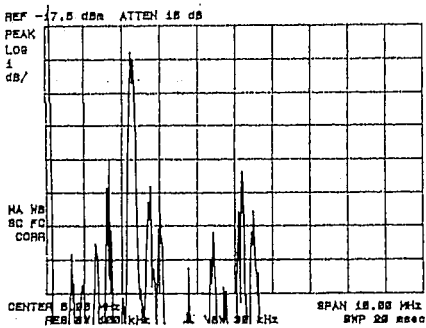


図16 5C2N深さ4mmスリット試験片健全部ノイズの周波数分析結果

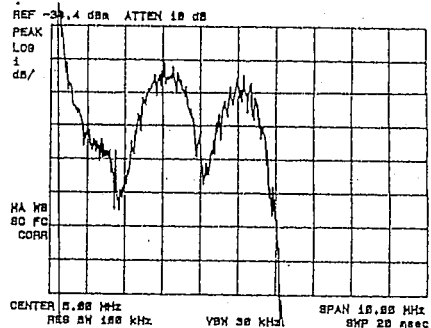


図17 5C2N深さ2mmスリット回折波の周波数分析結果

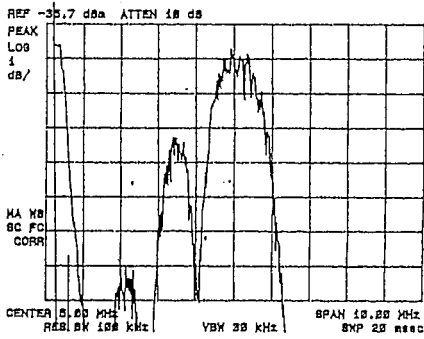


図 1 8 5 C 2 N 深さ4mmスリット回折波の周波数分析結果

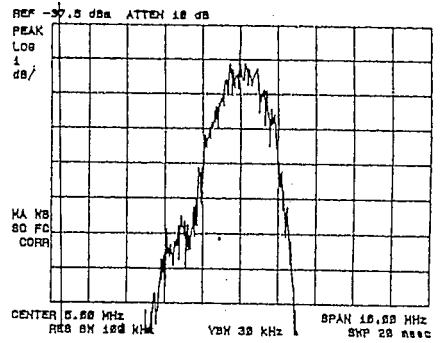


図 1 9 5 C 2 N 深さ6mmスリット回折波の周波数分析結果

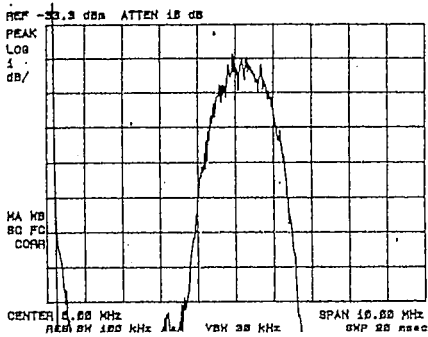


図 2 0 5 C 2 N 自然割れ試験片1割れ回折波の周波数分析結果

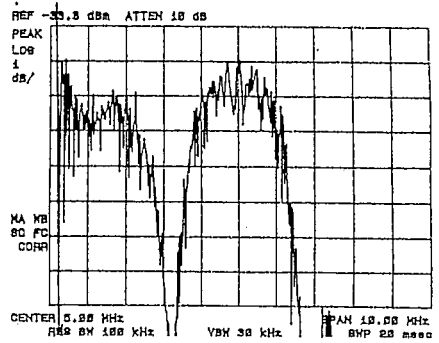


図 2 1 5 C 2 N 自然割れ試験片2割れ回折波の周波数分析結果

5. まとめ及び考察

実験の結果、以下のことがわかった。

- ① 浅いスリットを除き、スリット先端の回折波はノイズと区別できるレベルで検出できた。
- ② 振動子を傾けた状態、すなわち縦波斜角の方が垂直に超音波を入射させた状態より回折波のエコー高さも高く、かつS/N比も高くなることがわかった。
- ③ 図5～8より、回折波は+側の位相から振動しているが、第1波の振幅レベルやS/N比から考えると-側の位相で時間軸を読み取った方がよい。
- ④ 探傷器との組み合わせでエコー高さ、S/N比が異なることがわかった。これは探傷器の周波数特性及び探傷器と探触子のインピーダンスマッチングによるものと思われる。
- ⑤ 図5～8より比較的浅いスリットでは5MHzで入射角 10° が、比較的深いスリットでは2MHzで入射角 11° がエコー高さも高くS/N比もよい。
- ⑥ 2C4Nではスリット回折波とノイズとでは周波数分布に顕著な差は見られない。
- ⑦ 5C2Nでは浅いスリットの回折波では低い周波数成分が含まれているのに対し、深さ6mmの回折波では透過パルスに近い周波数分布となっている。
- ⑧ 5C2Nのノイズには5MHz付近にも周波数分布のピークが存在するが、0.5～4MHzに大きなピークが存在する。
- ⑨ 自然割れに対して同様の実験を行った結果、エコー高さは低いものの回折波が認められる。
- ⑩ 健全部においても結晶粒界からの反射と思われるノイズが認められ、これを除去する必要がある。
- ⑪ 結晶粒界からのノイズについては周波数成分が低いことから、フィルターである程度除去できると考えられる。

6. 今後の検討

以上の結果から、今後さらに浅い割れに対する適用の検討及びノイズ除去方法を検討し、割れ深さ測定専用器を開発していく予定である。