

I S S N 0386—5878

土木研究所資料第3102号

土 木 研 究 所 資 料

鋼構造物の超音波探傷による点検・整備

—鋼構造物への点検・整備における超音波探傷の適用性について—

平成4年3月

建設省土木研究所
機械施工部機械研究室

Copyright © (1992) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

鋼構造物の超音波探傷による点検・整備

—鋼構造物への点検・整備における超音波探傷の適用性について—

機械研究室 室長 杉山 篤
茂木 正晴

要 旨

現在使用されている非破壊検査手法は主に工場内での検査を対象としており、現場に対応した簡便かつ信頼性の高い検査手法が確立されていないのが現状である。

そのため現場での溶接部の継手部、鋳鋼品等における検査基準及び手法の確立がされておらず、また施設管理における診断に関しては、目視による手法が現状である。そこで、現場での鋼構造物の内部診断を簡便に行う手法として有効な超音波探傷による検査手法について、調査・実験し、適用における手法の確立を行った。

キーワード：点検・整備，鋼構造物，非破壊検査，超音波探傷，欠陥エコー

ま え が き

建設事業の推進により年々整備が進むダム・河川管理施設の中で機械設備は、重要な役割を担って設置されている。これらの設備の整備が進む一方、設備の老朽化による不具合の発生などが問題となっている。

現在、ゲート・ポンプ等の鋼構造物の点検・整備の実態としては目視による確認であるため、目視にて確認の出来ない箇所（金属内部及び裏側等）では、内部診断がされていない。また、鋼構造物の維持管理においても目視のみで、表面の欠陥の検出には有効であるが、金属内部及び裏側に欠陥が発生していた際、分解検査時、又は、故障時により不具合を生じた場合のみ検出されている。そのため、鋼構造物の維持管理に内部診断手法を取り入れることは重要かつ有効である。したがって、分解等せずに診断できる手法として非破壊検査を導入することが考えられた。

現在鋼構造物の非破壊検査手法は、製造時において工場内及び完成時に適用されており、その診断方法としては放射線透過試験、超音波探傷試験、浸透試験等が用いられている。それらを、現場での点検・整備に適用する場合、簡便かつ的確な診断方法の選定が必要となり、今回その方法としては超音波探傷試験を選定した。

そこで本研究は、既設の鋼構造物（対象とした鋼構造物としては、設置環境、設置条件及び材質等を考慮、最も適用の難しい铸鋼品とした。）に対して超音波探傷を行う際に探傷に影響を及ぼすと思われる因子及び影響度合を調査・実施し、その因子を補正する手法の提案及びマニュアル化を行った。

尚、この報告が、機械設備の点検・整備への参考となれば幸いである。

目 次

まえがき	
1. 概 要	1
1.1 目 的	1
1.2 概 要	1
2. 構 成	1
3. 放流設備の診断技術における調査・検討	1
3.1 非破壊検査手法の種類	1
3.2 診断手法の選定	2
3.3 探傷方法の決定	3
3.4 伝搬方法の決定	4
3.5 試 験	5
3.5.1 試験目的	5
3.5.2 使用機器	5
3.5.3 試験方法	6
3.6 試験結果	17
3.7 考 察	30
4. ま と め	46
あとがき	47
参考文献	48
添付資料	49
1 塗装膜厚計測記録	49
2 探傷感度及び距離振幅特性曲線	55
3 超音波探傷試験記録	61
超音波探傷による現地測定要領（案）	103

1. 概要

1. 1 目的

鋼構造物の製造時における検査手法として一般に超音波探傷、放射線透過試験等を用いて非破壊検査を行っているが、現在使用されている非破壊検査手法は主に工場内での検査を対象としており、現場での点検・整備に対応した簡便かつ信頼性の高い検査手法の確立がされていないのが現状である。

また、鋼構造物における診断箇所としては、鋳鋼品及び金属間の継手部（普通鋼材・ステンレスクラッド鋼等の溶接部）の内部診断が検査対象となっている。それらは、工場内で非破壊検査等によりチェックを受けている。しかし、現場での点検・整備での鋳鋼品及び溶接部の継手部等における検査基準・手法の確立がされておらず、目視等による手法が現状である。そこで次にあげられる事項を目的とし研究を行った。

- (1) 鋼構造物を簡便に内部診断する手法として有効な非破壊検査手法の抽出
- (2) 内部診断に障害となる因子の調査及びその因子を補正するための手法の提案

1. 2 概要

ゲート・ポンプ等の鋼構造物の点検・整備の実態は、主として目視による確認である。現在、目視にて確認の出来ない箇所（金属内部及び裏側等）については、点検・整備が行われていない。また、目視は表面の欠陥の検出には有効であるが、金属内部及び裏側に欠陥が発生していた際、その発見は、分解検査時、又は、故障時により不具合を生じた場合のみとなる。そのため、鋼構造物の維持管理に内部診断手法を取り入れることは重要かつ有効であることから、分解等せずに診断できる手法として非破壊検査を導入することが考えられる。

現在、鋼構造物の非破壊検査手法は、製造時において工場内及び完成時に適用されており、その診断方法としては放射線透過試験、超音波探傷試験、浸透試験等が用いられている。それらを、現場での点検・整備に適用する場合、安全、簡便かつ的確な診断方法が必要となる。

そこで本研究は、現場で点検・整備を行う場合に必要となる非破壊検査手法の選定を行い、既設の鋼構造物に対して非破壊検査を行う際の精度に影響を及ぼすと思われる因子及び影響度合を調査・実験し、その因子を補正する手法の提案及びマニュアル化を行った。なお、対象とした鋼構造物としては、設置環境、設置条件及び材質等を考慮し最も適用の難しい鋳鋼品とした。

2. 構成

本資料は、以下によって構成されている。

- (1) 非破壊試験の手法として超音波探傷を選定と現場での適用性
- (2) 適用性に関する試験データ
- (3) 超音波探傷による現地測定要領（案）

3. 放流設備の診断技術における調査・検討

3. 1 非破壊検査手法の種類

非破壊検査手法として内部診断可能なものの種類と特徴としては、次表に示すとおりである。（表－3. 1. 1）

表-3.1.1 非破壊検査手法の種類と特徴

非破壊検査手法	解 説	長 所	短 所
放射線透過法 (RT : Radiographic Testing)	線は行をγ法進陥線の行部X ² /c平内は、向ににい方の体で行きい。試の奥や常用射出通が放方検	直保非適ル状にるが、に一球出る形がある材料のなない状態が結き材料きのうのて陥性核で属腐でロよ陥れ欠損試験金用ブの欠優	欠はに的得さ対向のラン難のるさ大の傾れシは障害るし出のてる線し割二出る線がの料しあ射對する不換あ射れ検陥材對で放にあミので放鬆
磁粉探傷法 (MT : Magnetic Particle Testing)	強磁陷げ近、よの極でり体を欠曲付した分磁がり体が面生鉄様た験あ場表がでと模し試に磁束がこる粉流て近よりす磁極そす磁をい付よ在洩漏。用て電位置面に存漏にこなる着大中の連隙間をと粉付にのと不欠空も態磁が体場の部か状なう粉驗磁すどれ外たなう磁る。試い化ならぬあうよにき	しも欠検機影価口といば、撮像。安開く近れる粉てきは。になにあき磁しき品る。面い面で光對で耗あ表て表陥出虫に消で	指あの効洩、生傷磁脱要的で織は漏じを様採、を量難組でり牛様模、用注意の困や部よを模似理範適注陥が質化に束粉る疑効効のにる欠示る材質變磁磁磁し(前有粉磁す
超音波探傷法 (UT : Ultrasonic Testing)	超音波の波あるにえの波あり陥ら層音の欠捕表超り、をび、がり波及で広い送音部法のすにる内方角や体くる直し發てりすに出試しよ出向檢を射に檢方が波反とを行陥超音この陥進欠	非適にが悪す良に測あら陥る。にるさ限もぼ不出い置でが欠判値。材料き厚制最及接檢高位易なが安材料がのする上を溶のがの容し場無が金属が料の度響れど度陥が傷の有有用金金用材對な強影響感欠定る探その費	ていが。觀測に保いにがしき出る直線的線。のな材度比小檢あに量量射る果少粒精にりはで像少の放劣格が粗る。長ま陷難陥が陥はし傷性晶する。波あ欠困欠往欠定少探存粘對劣

3. 2. 診断手法の選定

本研究の対象となる鋼構造物の点検・整備に適用する最適な非破壊検査方法の選定について、基本的な考え方の条件としては次が考えられる。

- ①現場にて簡便に試験ができること。
- ②表面及び内部の欠陥が検出できること。
- ③欠陥の位置と大きさが推定し得ること。
- ④安価であること。
- ⑤安全性が高いこと。

このような条件を満たす試験方法は現在開発されていないが、表面及び内部欠陥が検出でき、可搬性に富み、操作が簡便で、安全性が高い等の要求を満たすことから、超音波探傷法が最も適合であると判断した。

3. 3. 探傷方法の決定

現在使用されている超音波探傷法には、大きく分類して図-3. 3. 1に示す3つの方法があり、それらの原理及び特徴を次に示す。

(1) 透過法

試験体の一面から超音波を入射し、他端面に到達する超音波の強さを比較する方法で、内部に傷などの欠陥が存在しているとその背後には超音波が伝わって来ない。すなわち音波の影から異常物の存在を推定する方法である。この方法は比較的簡便な方法であるため、初期には多く用いられていた。現在でもパルス法の使用できない薄物や透過度の悪い材料の検査には使用されていることもある。

(2) パルス法

レーダと同様の原理で超音波のパルスを物体の一面から入射させ、他端面及び中間の傷からの反射波の状況をブラウン管上にて観察する方法である。これは超音波探傷法の最も一般的な方法で、狭義の超音波探傷法はこの方法を示す。

(3) 共振法

試験体へ入射させる超音波の波形を変え、共振状態を検出器で観察する方法で、パルス法で検出の困難な薄い板の厚み測定、板中の傷（ラミネーション等）の検出に使用されている。一般には超音波厚み計と呼ばれている。

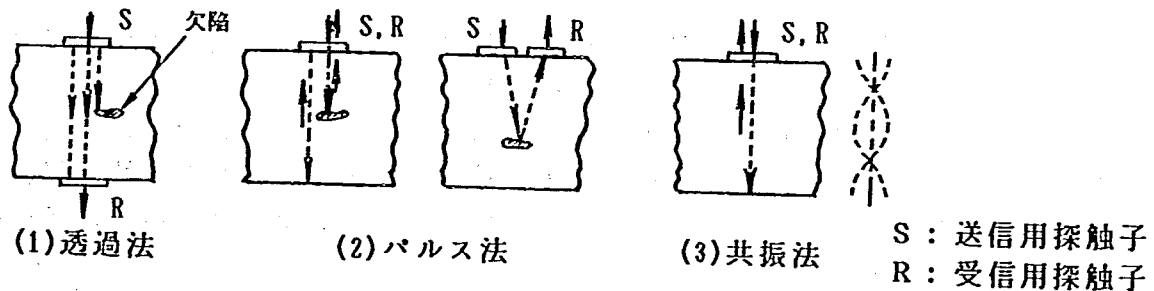


図-3. 3. 1 各種探傷方法

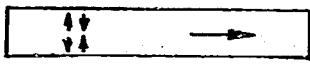
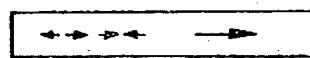
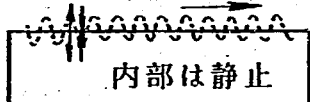
また、超音波探傷により試験体を検査する場合には、超音波を送る送信探触子と透過してきた超音波を受ける受信探触子がある。この場合、両者を1つで共用する一探触子法と送受信に分けて行う二探触子法とがある。両者ともそれぞれ特色があり、一探触子法では実際の作業に簡便であり、二探触子法は受信側の方に送信パルスが大きく入らないため、近距離の分解能がよく、送信受信の探傷面が異なった場合にも有利である。

これらの点を考慮し、本研究では、現場で鋼構造物の超音波探傷を行う場合には、検出感度の高いパルス法で、実際の作業に簡便な一探触子法による検討を行った。

3. 4. 伝搬方法の決定

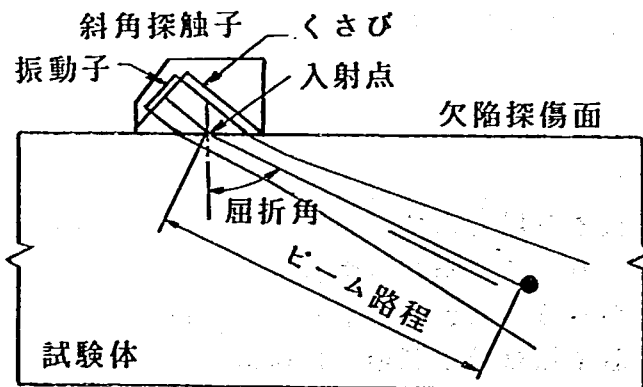
超音波探傷法に用いられている超音波の種類（波動様式）は、縦波、横波及び表面波であり、縦波と横波は試験体内部に、また、表面波は探傷面に沿って伝搬する。超音波の伝搬方向と波動様式によって探傷方法を分類すると表-3. 4. 1 のようになる。

表-3. 4. 1 伝搬方向による分類

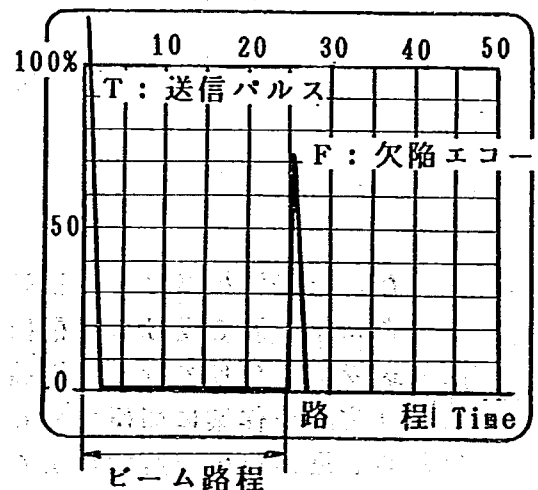
探 傷 方 法	波動様式	主 な 用 途	参 考 図
垂 直 探 傷 法	縦 波	鋳鍛造材、圧延材等の内部欠陥の検出厚さ測定	振動方向が伝搬方向に垂直である。  物質の運動 波の伝搬方向
斜 角 探 傷 法	横 波	溶接部、管材等の内部欠陥の検出	振動方向が伝搬方向と同じ方向である。  物質の運動 波の伝搬方向
表面波探傷法	表面波	表面欠陥の検出と寸法測定	物体の表面のみを伝搬する。 物質の運動 波の伝搬方向  内部は静止

上記より、本研究の対象となる鋼構造物については溶接部及び管材が対象となるため、斜角探傷法の現場での適用性について検討を行った。

斜角探傷法については、図-3. 4. 1 (1)のように、探傷面に対して斜め方向に超音波を伝わらせる方法である。斜角探触子では、振動子で発生した縦波の超音波パルスがくさび中を伝搬し、探傷面を通過するときに屈折して、試験体の中へは横波の超音波だけが伝わっていく構造になっている。



(1)斜角探傷



(2)探傷図形

図-3. 4. 1 斜角探傷法

図-3. 4. 1 (1)に示すように、超音波のパルスが中央部の欠陥に当たったとき欠陥エコー高さは最大となり、図-3. 4. 1 (2)のような探傷図形が現れる。

3.5 試験

3.4のような調査結果に基づき提案された超音波探傷を現場で採用する際に発生する因子の抽出を行い適用性における検討を行った。検討方法に関しては、現場で実際に使用されている鋼構造物に相当する遠心鋳造鋼管を用意し、試験体（疑似欠陥）と対比試験片（キャリブレーション用）の作製を行い各種実験による検討を行った。

3.5.1 使用機器

(1) 超音波探傷器

超音波探傷試験には、下記のポータブル型超音波探傷器を使用した。

U S L 3 2（製造番号25620/4932）

(2) 超音波探触子

超音波探傷試験には、下記に示す周波数5MHz、屈折角45度の超音波横波斜角探触子を採用した。

5Z10×10A45（N113）……軸方向探傷用にシュー加工した。

5Z10×10A45（N467）……周方向探傷用にシュー加工した。

(3) 接触媒質

超音波探傷試験には、グリセリン系を接触媒質として使用した。

3.5.2 試験体

ダム用ゲートに使用され、耐用年数の経過した油圧シリンダ（遠心鋳造鋼管製）から、下記の対比試験片及び探傷用試験体を切り出し、対比試験片には基準横穴を、探傷試験体には疑似欠陥をそれぞれ加工した。

(1) 対比試験片

図-3.5.1に示すように、超音波探傷試験を行う際に探傷感度を定めるための対比試験片を作製した。

R B - I ……軸方向探傷用対比試験片

長さ200mm、幅50mm

基準穴φ3mm、深さ位置T/4、T/2、3T/4

R B - II ……周方向探傷用対比試験片

長さ200mm、幅50mm

基準穴φ3mm、深さ位置T/4、T/2、3T/4

(2) 探傷用試験体

図-3.5.2に示すような超音波探傷用試験体を作製した。

B L O C K - I ……円周方向の亀裂を模擬した放電加工（EDM）ノッチを加工した。

深さ20mm×長さ60mm×幅1mm

深さ10mm×長さ30mm×幅1mm

深さ5mm×長さ15mm×幅1mm

BLOCK-II……軸方向の亀裂を模擬した放電加工(EDM)ノッチを加工した。

深さ20mm×長さ60mm×幅1mm

深さ10mm×長さ30mm×幅1mm

深さ5mm×長さ15mm×幅1mm

BLOCK-III……斜め方向の亀裂を模擬した放電加工(EDM)ノッチ及び板厚方向の孔状欠陥を模擬した縦穴(ドリル穴)を加工した。

深さ20mm×長さ60mm×幅1mm

深さ10mm×長さ30mm×幅1mm

深さ5mm×長さ15mm×幅1mm

直径2mm×深さ20mm

直径4mm×深さ20mm

直径6mm×深さ20mm

3.5.3 試験方法

(1) 探傷基準感度の設定

探傷用試験体の各欠陥を探傷するときの基準感度の調整は、下記の通りとした。

BLOCK-Iを探傷する場合：RB-Iの深さT/4の基準穴を直射法で検出し、その最大エコー高さを探傷器のCRT目盛り80%に合わせ、これを探傷感度とした。

BLOCK-IIを探傷する場合：RB-IIの深さT/4の基準穴を直射法で検出し、その最大エコー高さを探傷器のCRT目盛り80%に合わせ、これを探傷感度とした。

BLOCK-IIIを探傷する場合：RB-IIIの深さT/4の基準穴を直射法で検出し、その最大エコー高さを探傷器のCRT目盛り80%に合わせ、これを探傷感度とした。

(2) 探傷方法

試験体の刻印側からの探傷方向をマイナス(-)側、刻印と反対側からの探傷方向をプラス(+)側として、EDMノッチの探傷は、欠陥の両側から行った。探傷ピッチは図-3.5.3示すように、長さ60mm及び30mmの場合には10mmピッチで、長さ15mmの場合には5mmとして走査線を書き、それぞれの走査線上を探傷して得られた最大エコー高さをパーセント表示で記録し走査グラフを作成した。

また、縦穴欠陥の場合は3方向から探傷し、そのときの各々の最大エコー高さをパーセント表示で記録した。

なお、データの信頼性及び再現性を考慮して、探傷はそれぞれ5回ずつ行った。

(3) 試験条件

①欠陥エコーの減衰特性の調査

EDMノッチの深さ及び縦穴径とエコー高さとの関係を調査した。

②作動油の存在が欠陥エコーに及ぼす影響の調査

実機油圧シリンダには内部に作動油が充填されている。現場で超音波探傷試験を実施する場合、欠陥内部に作動油が侵入した状態で欠陥エコーを検知することになる。そこで、この作動油が欠陥検出に与える影響について調査した。

作動油は油圧シリンダに用いられてるものとし、探傷試験は作動油が無い場合及び探傷面と反対側の面を作動油につけて欠陥内部に作動油が混入している場合の2ケースについて行った。

③塗膜の存在が欠陥エコーに及ぼす影響の調査

実機油圧シリンダには外面に塗装が施されている。現場で超音波探傷試験を行う場合、塗膜と鋼管表面との境界で反射波が現れて欠陥検出を妨害したり、塗膜が剝離していれば超音波が鋼管内に伝搬されないことが懸念される。また、塗膜の厚さによってエコー高さが変化することもあると考えられる。

そこで、塗膜の状態が欠陥検出に与える影響について調べた。

塗膜条件は、塗膜無し、膜厚約150 μm 及び膜厚約500 μm の塗膜がある場合並びに膜厚150 μm が剝離している場合の4ケースとして探傷試験を行った。

塗料はフタル酸系とし、建設省の塗装要領に準拠したものを使用した。

塗装工程は、下記の通りとした。

1次プライマ	長曝形ウオッシュプライマ
第1層(下塗) 1回	鉛系錆止塗料 1種
第2層(下塗) 1回	鉛系錆止塗料 1種
第3層(中塗) 1回	合成樹脂調合ペイント中塗用 2種
第4層(上塗) 1回	合成樹脂調合ペイント上塗用 2種
以上までの工程で、膜厚約150 μm とした。	
第5層(中塗) 1回	合成樹脂調合ペイント中塗用 2種
第6層(上塗) 1回	合成樹脂調合ペイント上塗用 2種

以上までの工程で膜厚約500 μm とした。

塗装工程ごとの塗装厚さを膜厚計(EMEC MODEL AD-605W)を使用して計測した。その結果を添付資料P 51～54に示す。

④試験温度が欠陥エコーに及ぼす影響の調査

実機油圧シリンダが超音波探傷する場合、外気の温度で試験体の温度が変化することが考えられる。ここでは、室温（16℃）及び室温より10℃以上低い温度（4℃）で探傷した場合における欠陥エコー高さの変化を調べた。

（4）試験手順

種々の試験条件を効率よく行うために、探傷試験は表－3.5.3に示すような7ケースに分けた手順で行った。また、表中の各ケースにおける試験開始直前の状態を写真－3.5.4から写真－3.5.11に示す。

表－3.5.3 試験手順

順序	試験番号	塗膜条件	作動油	試験温度	備 考
1	ケース1	なし	なし	16℃	写真－3.5.4
2	ケース2	なし	有り	16℃	写真－3.5.5
3	ケース3	なし	有り	4℃	写真－3.5.6
4	ケース4	剝離	なし	16℃	写真－3.5.7
5	ケース5	150μ	なし	16℃	写真－3.5.8, 9
6	ケース6	150μ	有り	16℃	写真－3.5.10
7	ケース7	500μ	有り	16℃	写真－3.5.11

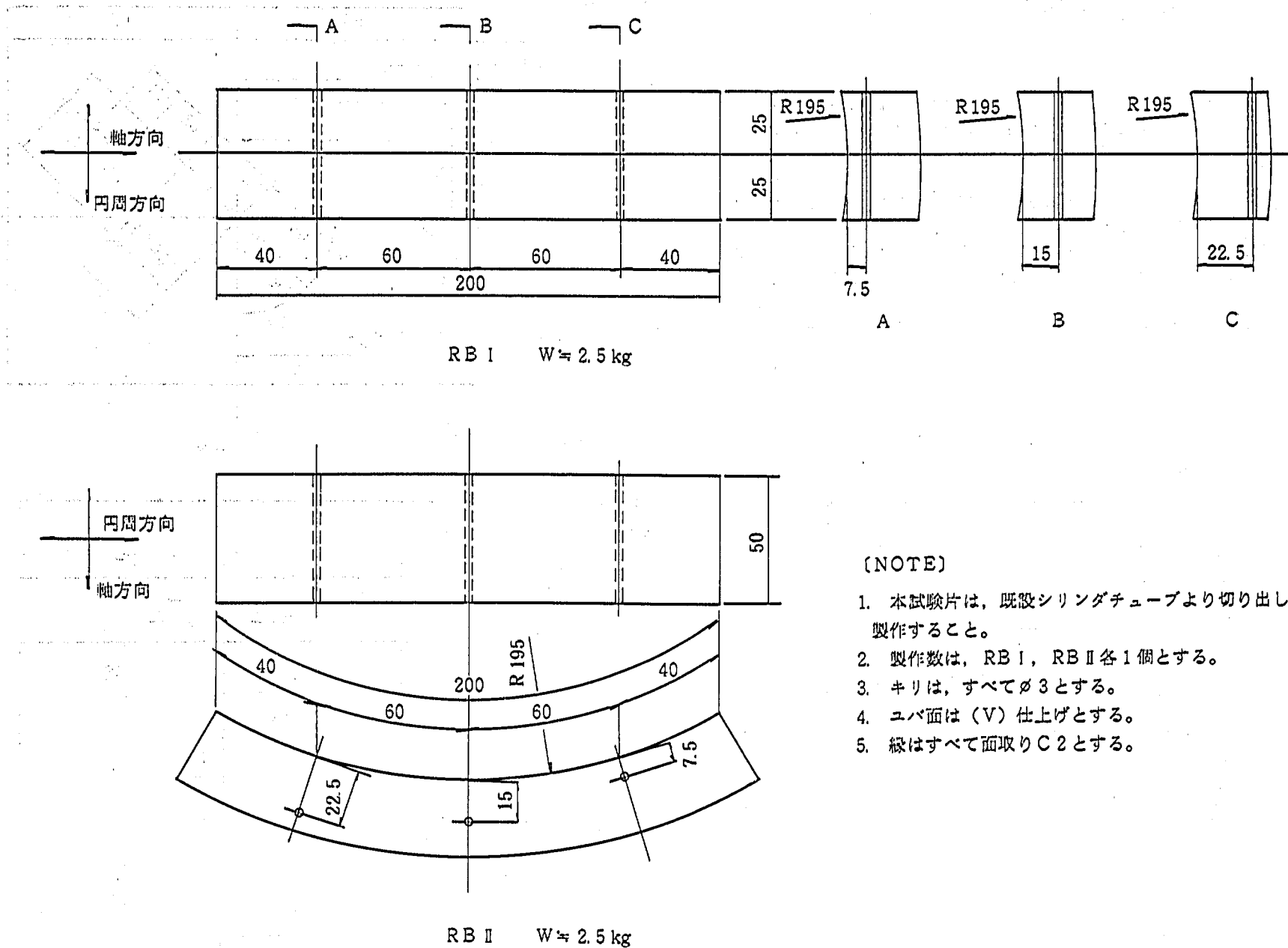


図-3.5.1 対比試験片製作図

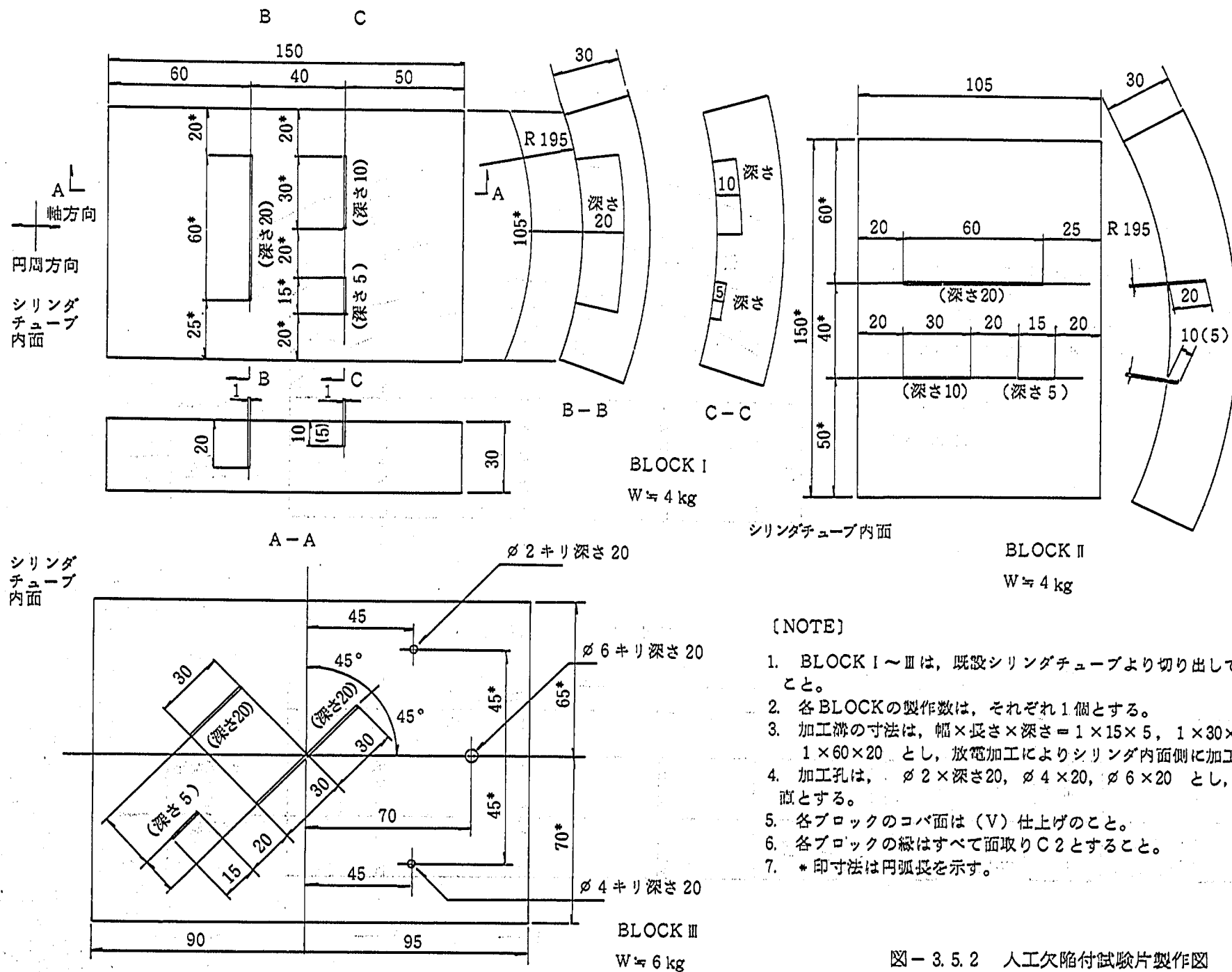


図-3.5.2 人工欠陥付試験片製作図

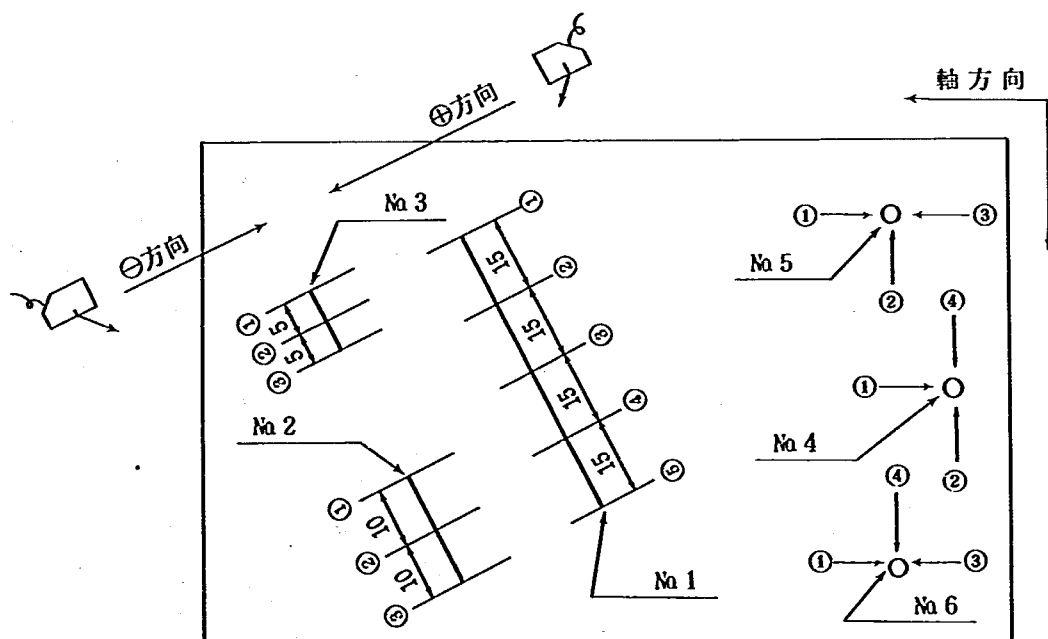
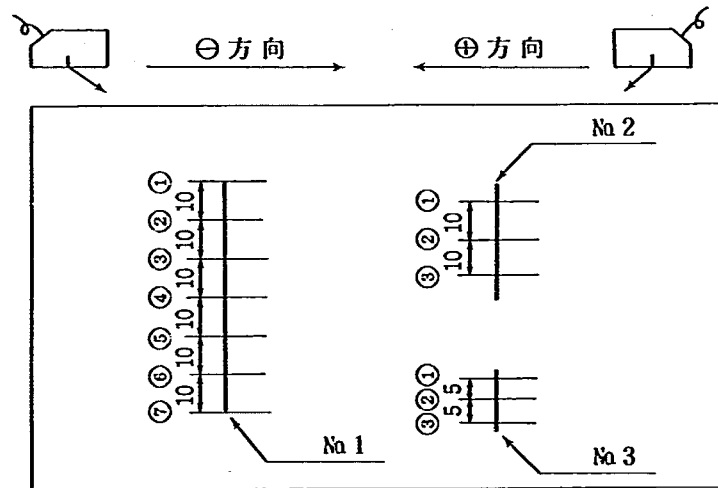
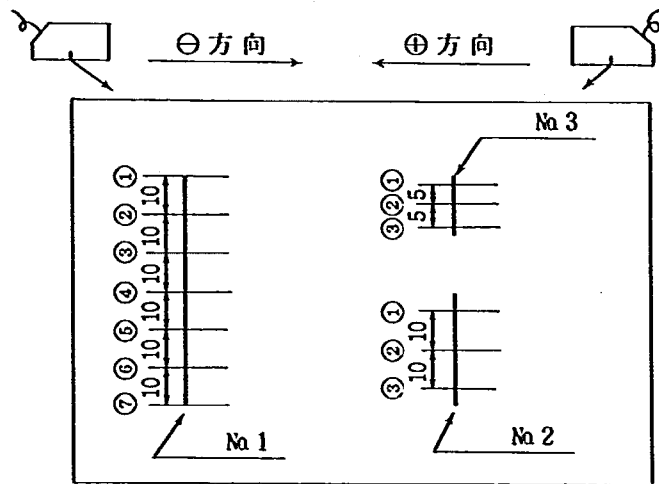


図-3.5.3 探傷方向及び走査ピッチ

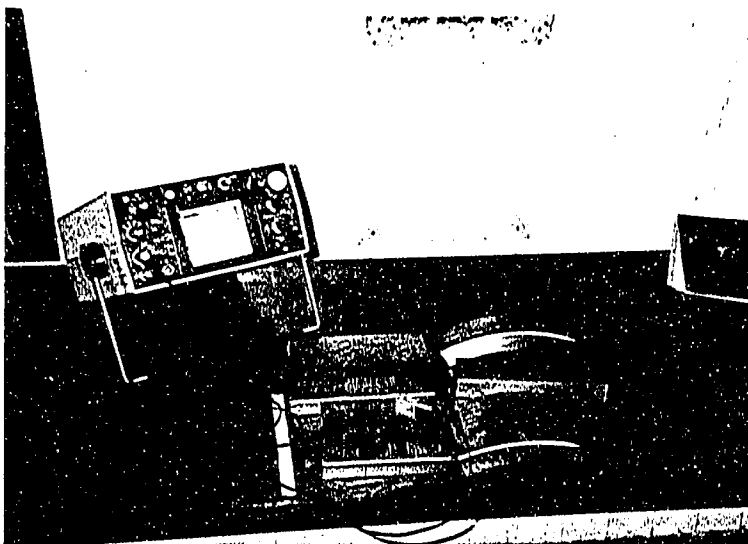


写真-3.5.4 ケース1 塗膜なし 作動油なし 温度16℃

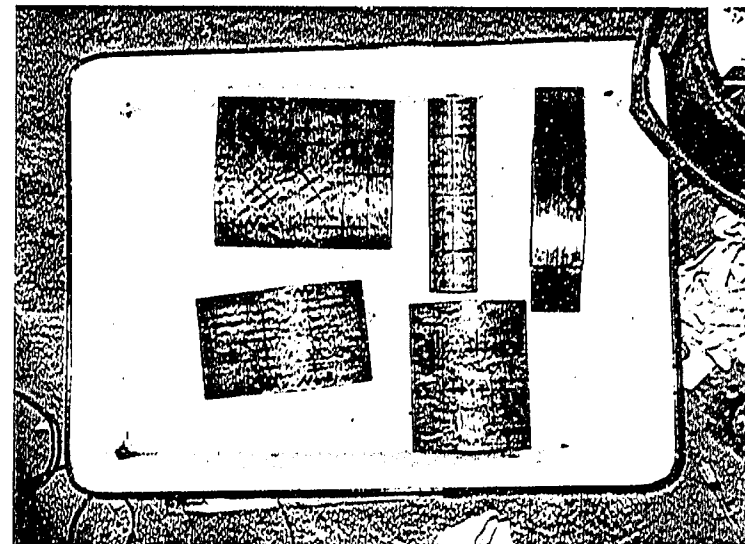


写真-3.5.5 ケース2 塗膜なし 作動油有り 温度16℃

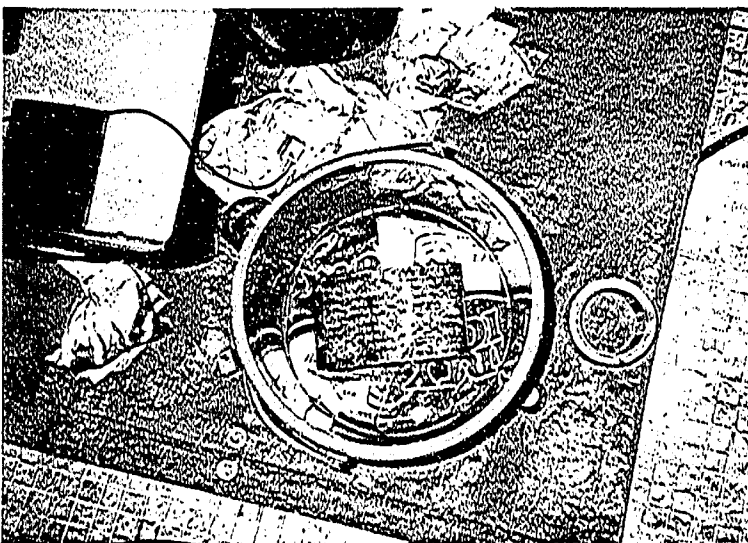


写真-3.5.6 ケース3 塗膜なし 作動油有り 温度4℃

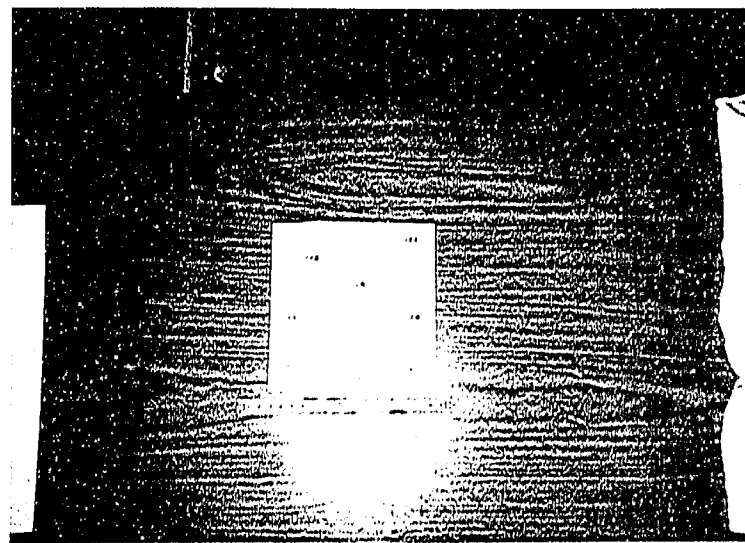


写真-3.5.7 ケース4 塗膜剥離 作動油なし 温度16℃

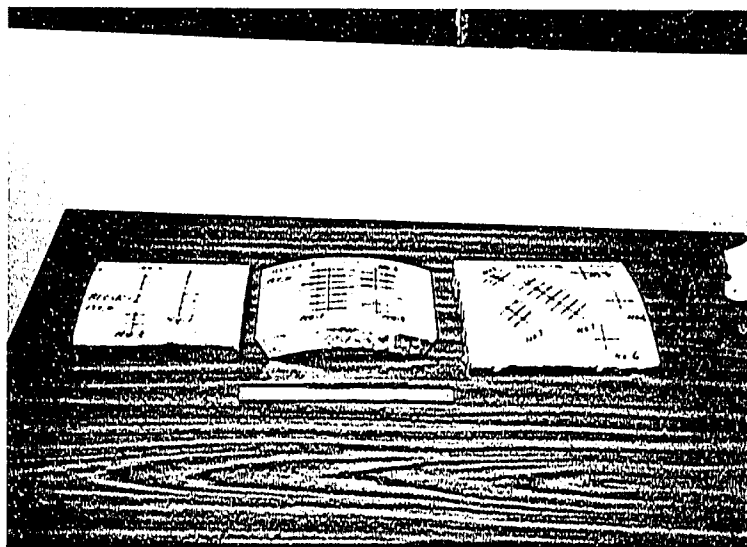


写真- 3. 5. 8 ケース 5 塗膜 150 μ m 作動油なし 温度16℃



写真- 3. 5. 9 ケース 5 塗膜 150 μ m 作動油なし 温度16℃

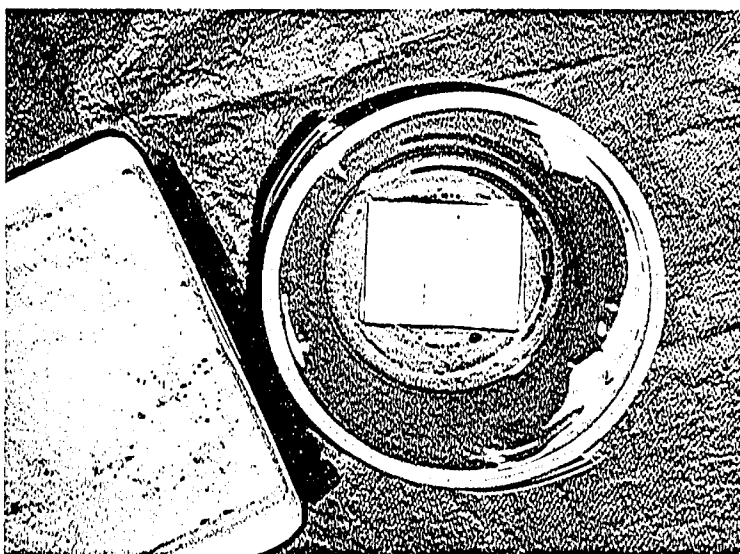


写真- 3. 5. 10 ケース 6 塗膜 150 μ m 作動油有り 温度16℃

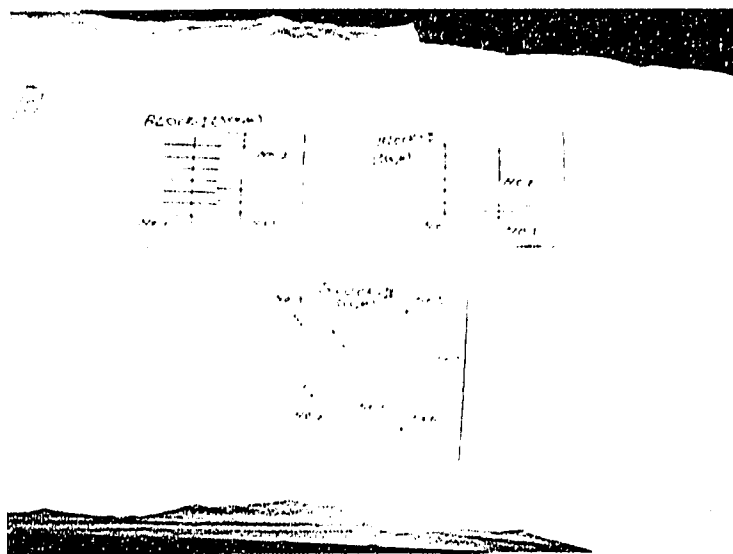


写真- 3. 5. 11 ケース 7 塗膜 500 μ m 作動油有り 温度16℃

3.6 試験結果

探傷感度は3.5.3(1)で記したように、対比試験片の深さ $T/4$ にある基準横穴の最大エコー高さを探傷器CRT目盛り80%に合わせた。このときの探傷器のゲインつまみは、RB-Iで44dB、RB-IIでは42dBであった。更に、その他の基準穴を用いて距離振幅特性曲線を作成した。その結果を添付資料P57及びP58のキャリブレーションシートに示す。この2本の距離振幅特性曲線の傾きから、試験体の減衰係数が推定でき、軸方向では約 0.27dB/mm 、周方向でも同様に約 0.26dB/mm であり、材料の減衰異方性はないといえる。

表-3.5.3に示した試験手順にしたがって、BLOCK-I、BLOCK-II及びBLOCK-IIIの各欠陥を超音波探傷試験を行い、得られた結果の探傷方向別の走査グラフを図-3.6.1から図-3.6.7に示す。これらの図に使用したエコー高さの値は、各点5回の測定結果から最大値と最小値を除いた残り3点の平均値を取っている。もとの5点のデータは超音波探傷記録として、各BLOCK探傷方向別に、添付資料P63~65に示す。

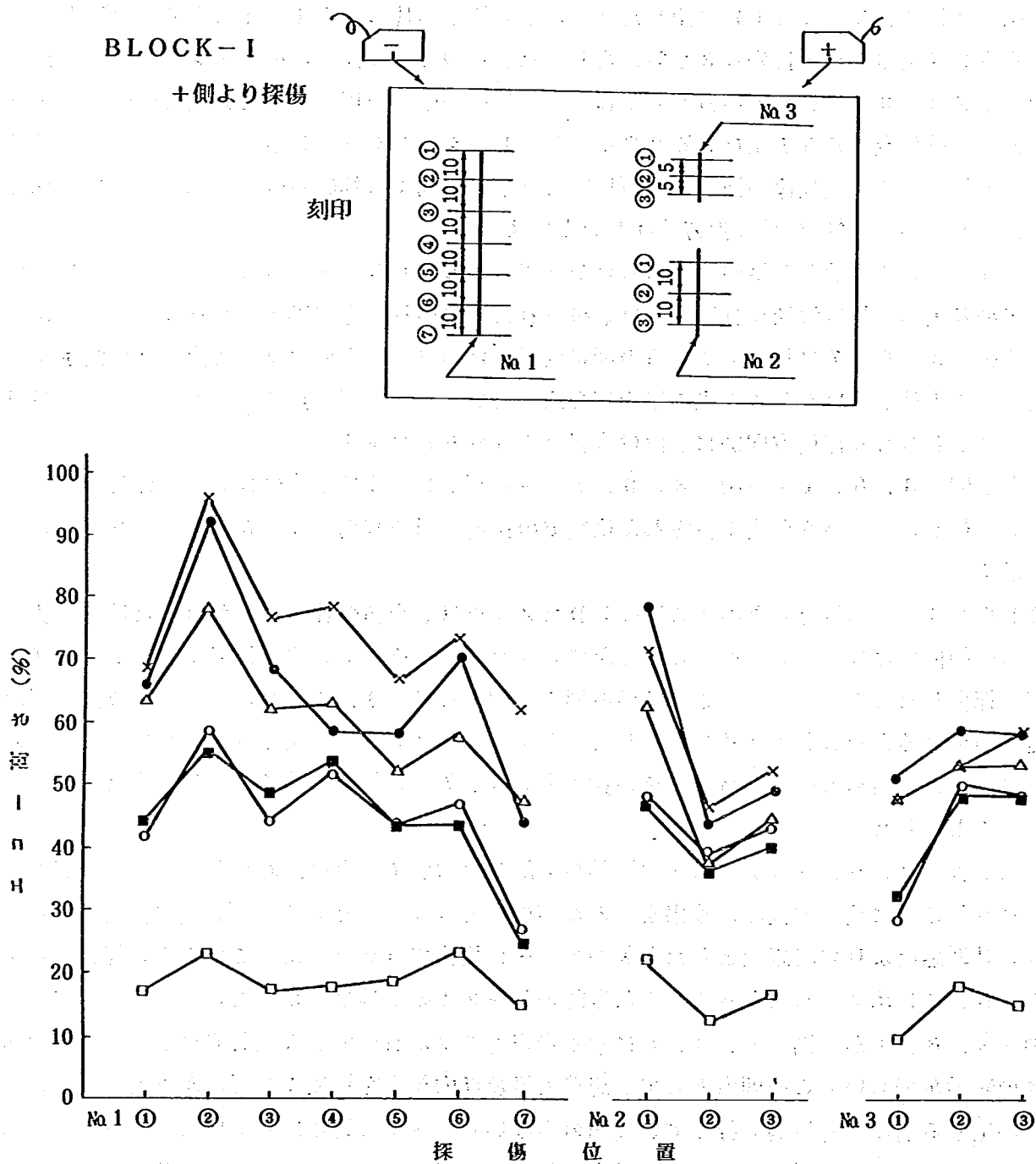
また、図-3.6.1から図-3.6.7の走査グラフのうち、塗膜 $150\mu\text{m}$ で作動油なしの場合において最もエコー高さが高く得られた位置での探傷波形を写真-3.6.1から写真-3.6.4に示す。

BLOCK-IIIに付与した斜め方向のEDMノッチは、当初の計画にしたがった軸方向及び周方向からの探傷では欠陥エコーを得ることができなかった。そこで、更に探傷感度を10倍(20dB)上げて探傷した(*)。このときの探傷波形の1例を写真-3.6.5に示す。この探傷図形には、鑄造欠陥によると思われるノイズが現れているが、欠陥エコーは検出されていない。このため、BLOCK-IIIの斜め方向EDMノッチの探傷方向は、欠陥に対し超音波が直角に当たる方向から探傷することとした。

また、表-3.5.3のケース4の塗膜が剝離した状態での探傷試験において、膜厚 $150\mu\text{m}$ の塗膜を試験体の上に乗せて欠陥の検出を試みたが検出できなかった。そこで、更に探傷感度を上げていき、基準感度より44dB以上としたが欠陥エコーは検出できなかった。このときの探傷波形を写真-3.6.6に示す。したがって、これ以降のケース4の試験は中止した。

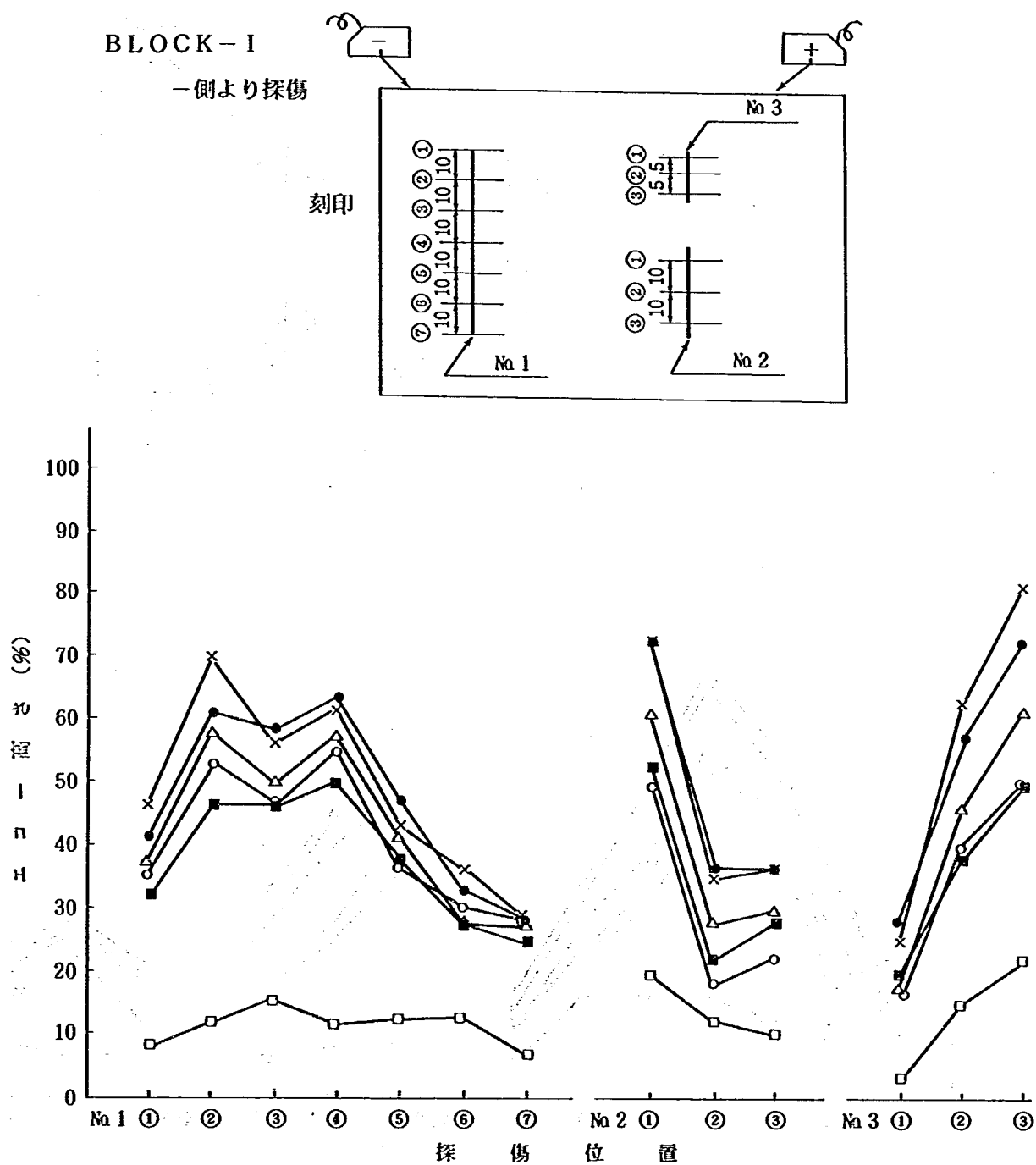
図-3.6.1から図-3.6.6に示す走査グラフにおいて、人工欠陥にもかかわらずエコー高さの変動が著しい。この理由として、鑄造欠陥及び内部介在物による影響が考えられるが、試験体を加工する前に垂直探傷を行って、欠陥の少ないところから切り出している。しかし、垂直探傷では欠陥エコーとして現れないような微小な欠陥が、斜角探傷の場合に探傷の障害となることは例えば鉄骨溶接部の開先面に現れる介在物などで見られることである。

*探傷感度(H倍)とdB(αdB)の関係は、 $H=10$ 又は $\alpha\text{dB}=20\log_{10}(H)$



凡例	記号	ケース	塗膜	作動油	温度	記号	ケース	塗膜	作動油	温度
	●	1	なし	なし	16℃	○	5	150μ	なし	16℃
	△	2	なし	有り	16℃	■	6	150μ	有り	16℃
	×	3	なし	有り	16℃	□	7	500μ	有り	16℃
	▲	4	欠陥検出できず							

図-3.6.1 周方向EDMノッチの超音波探傷試験結果
BLOCK-Iを+側から探傷したときの走査グラフ



凡例	記号	ケース	塗膜	作動油	温度	記号	ケース	塗膜	作動油	温度
	●	1	なし	なし	16℃	○	5	150μ	なし	16℃
	△	2	なし	有り	16℃	■	6	150μ	有り	16℃
	×	3	なし	有り	4℃	□	7	500μ	有り	16℃
	▲	4	欠陥検出できず							

図 3. 6. 2 周方向 EDM ノッチの超音波探傷試験結果

BLOCK-I を一側から探傷したときの走査グラフ

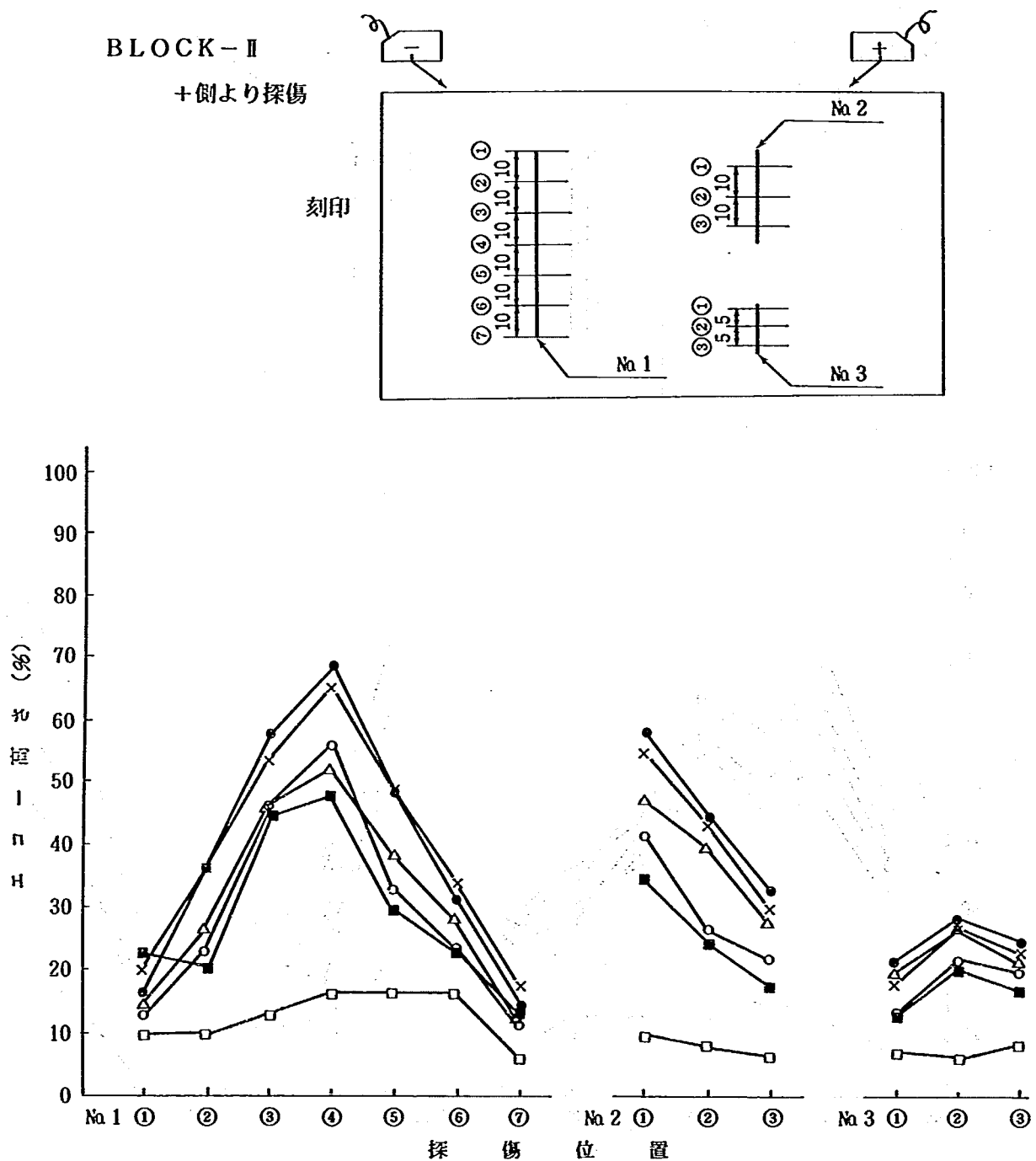
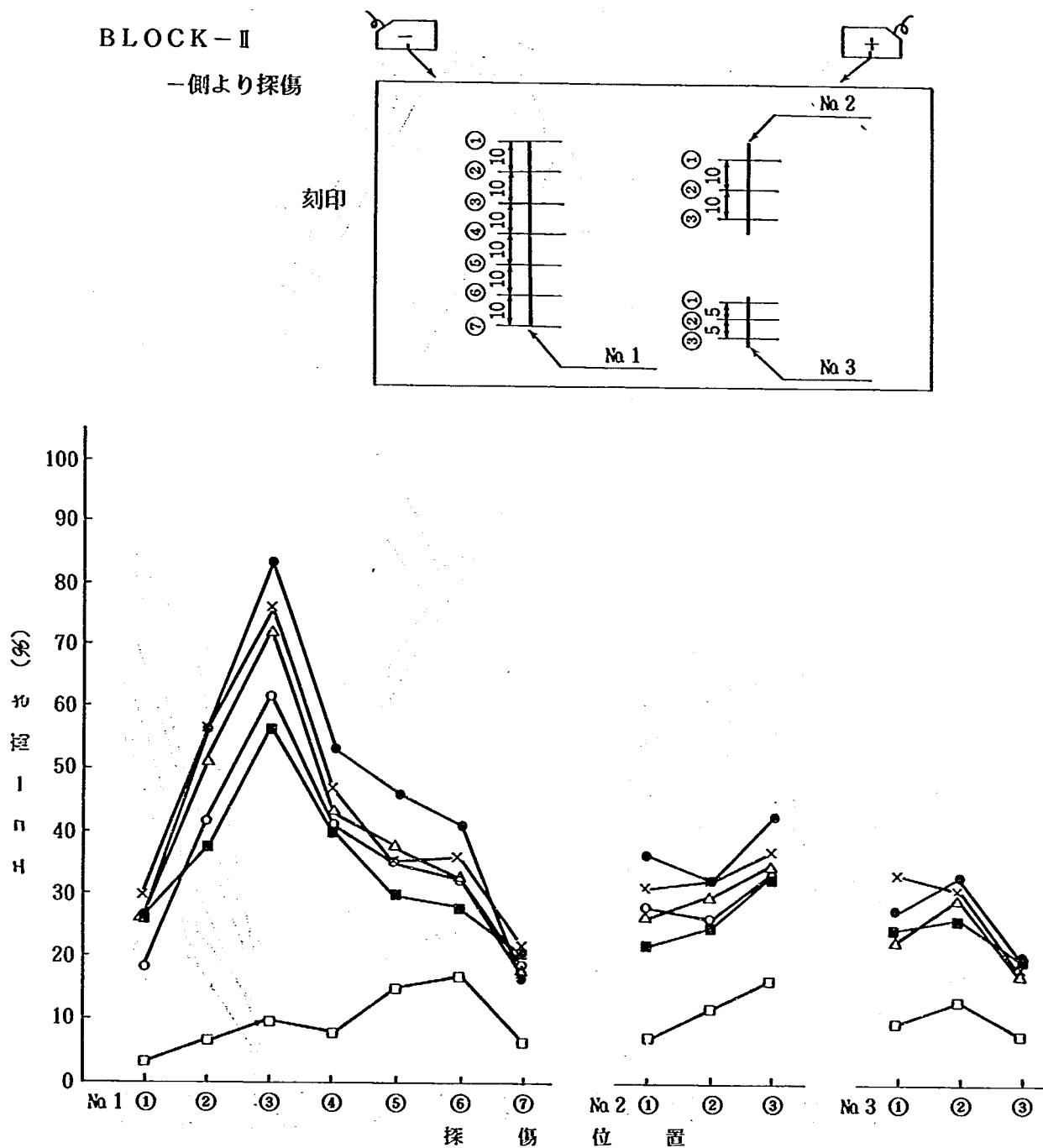
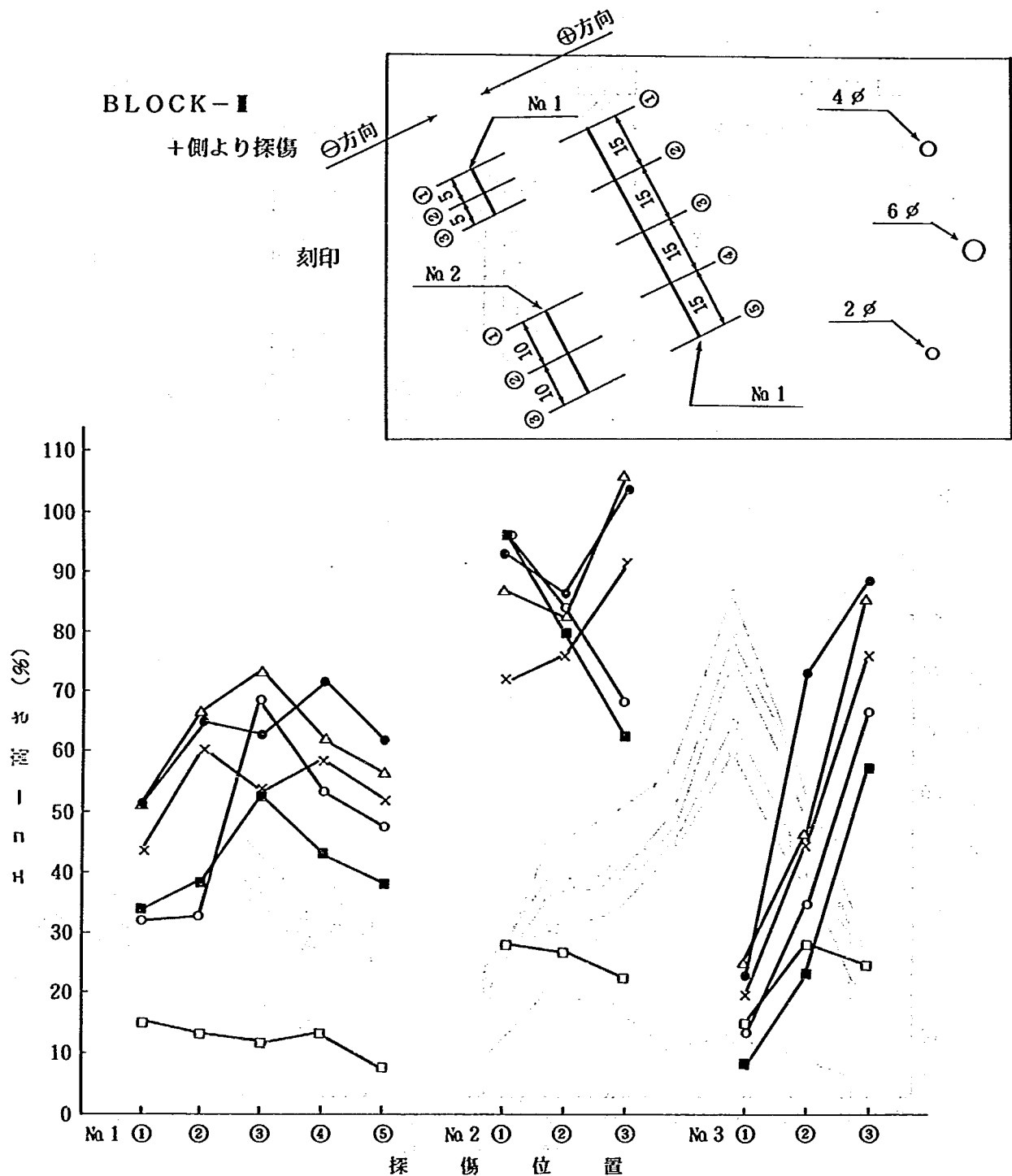


図-3.6.3 軸方向EDMノッチの超音波探傷試験結果
BLOCK-IIを+側から探傷したときの走査グラフ



凡例	記号	ケース	塗膜	作動油	温度	記号	ケース	塗膜	作動油	温度
	●	1	なし	なし	16℃	○	5	150μ	なし	16℃
	△	2	なし	有り	16℃	■	6	150μ	有り	16℃
	×	3	なし	有り	4℃	□	7	500μ	有り	16℃
	▲	4	欠陥検出できず							

図-3.6.4 軸方向EDMノッチの超音波探傷試験結果
BLOCK-IIを一側から探傷したときの走査グラフ

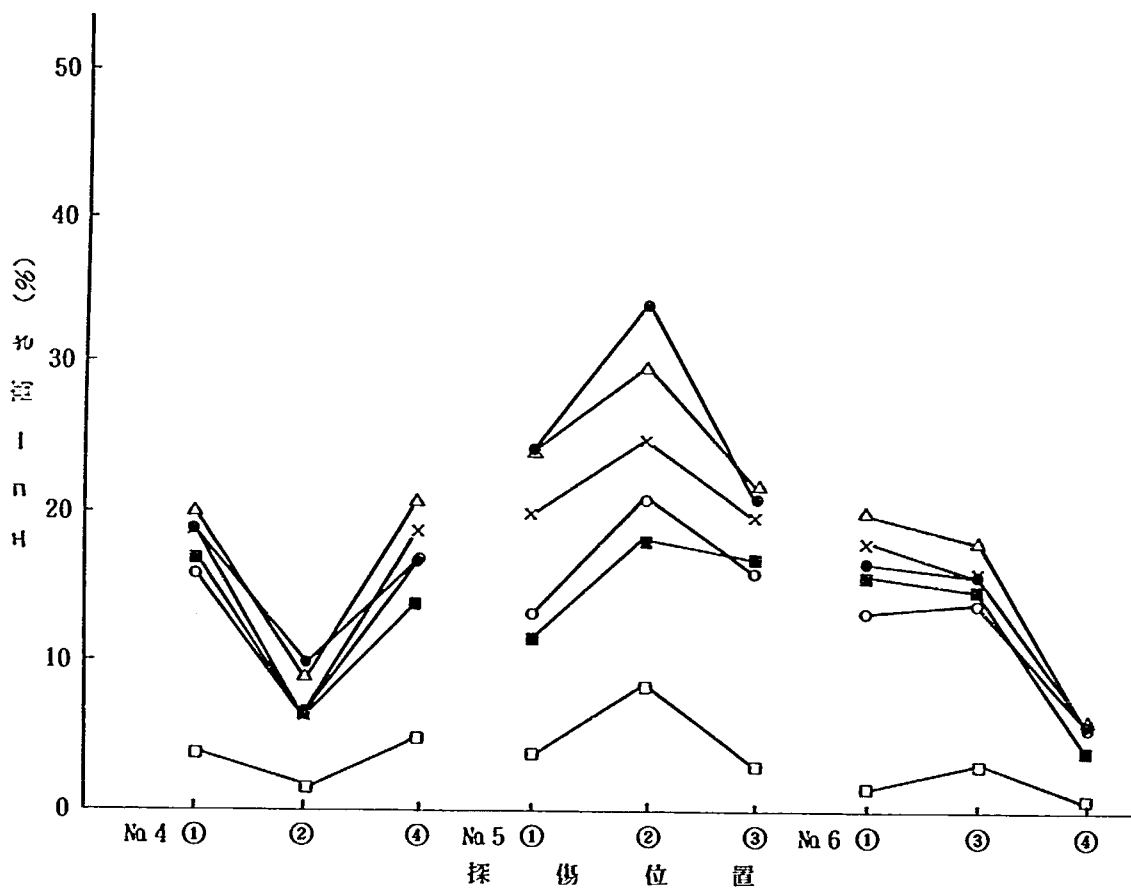
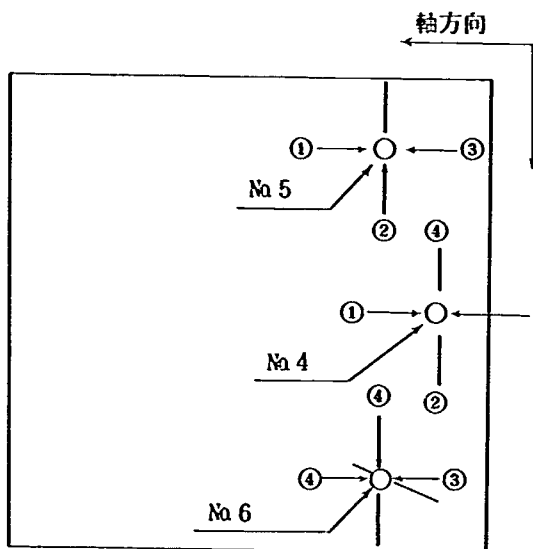


凡例	記号	ケース	塗膜	作動油	温度	記号	ケース	塗膜	作動油	温度
	●	1	なし	なし	16℃	○	5	150μ	なし	16℃
	△	2	なし	有り	16℃	■	6	150μ	有り	16℃
	×	3	なし	有り	-4℃	□	7	500μ	有り	16℃
	▲	4	欠陥検出できず							

図-3.6.5 斜め方向EDMノッチの超音波探傷試験結果
BLOCK-Ⅱを+側から探傷したときの走査グラフ

BLOCK-Ⅱ

刻印



凡例	記号	ケース	塗膜	作動油	温度	記号	ケース	塗膜	作動油	温度
	○	1	なし	なし	16℃	○	5	150 μ	なし	16℃
	△	2	なし	有り	16℃	□	6	150 μ	有り	16℃
	×	3	なし	有り	4℃	□	7	500 μ	有り	16℃
	△	4	欠陥検出できず							

図-3.6.7 縦穴の超音波探傷試験結果

BLOCK-I

塗装 150 μ m、室温 16℃、油なし

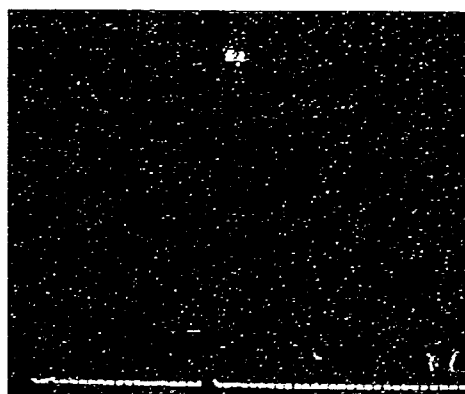
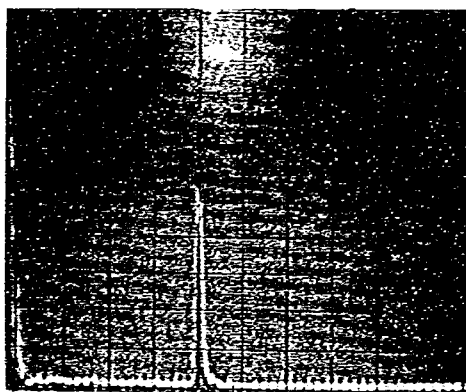
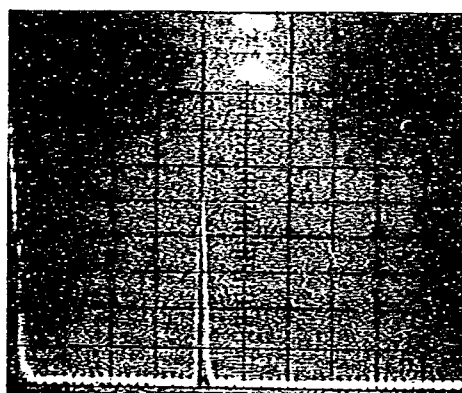
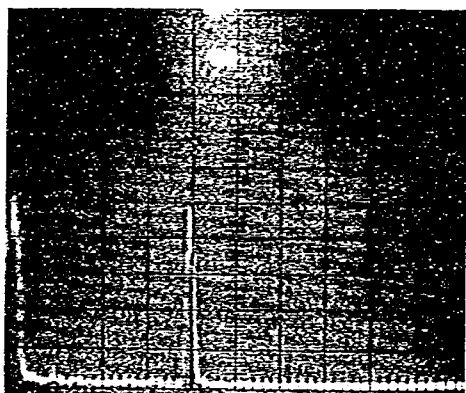
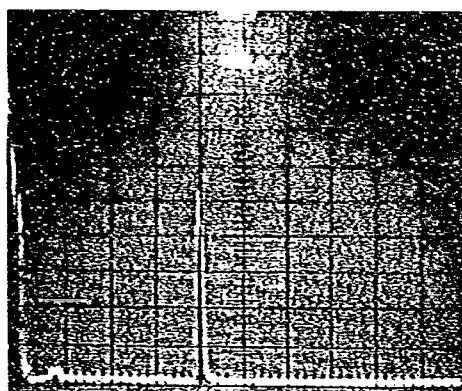
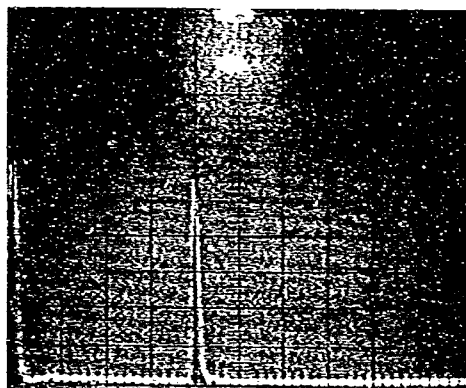


写真-3.6.1 BLOCK-IのEDMノッチを探傷したときの探傷波形例（写真の下に探傷方向、欠陥NO、探傷位置及びエコー高さを示す。）

BLOCK-Ⅱ

塗装 150 μ m、室温16℃、油なし

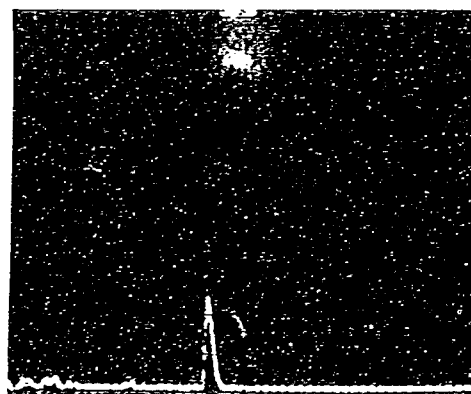
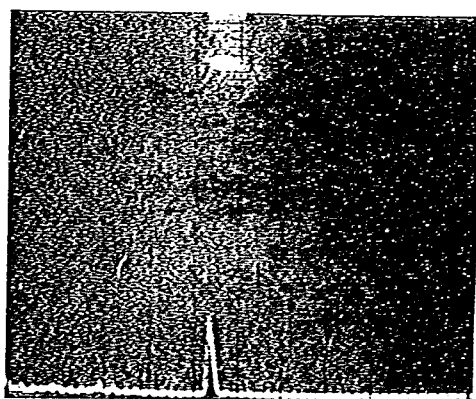
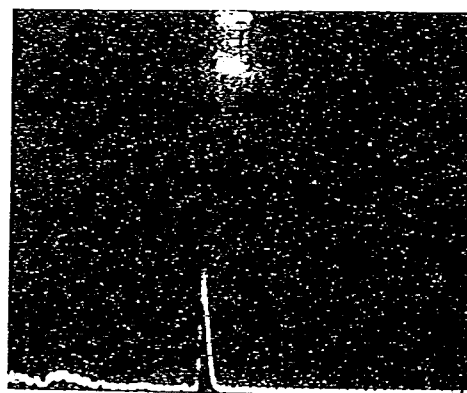
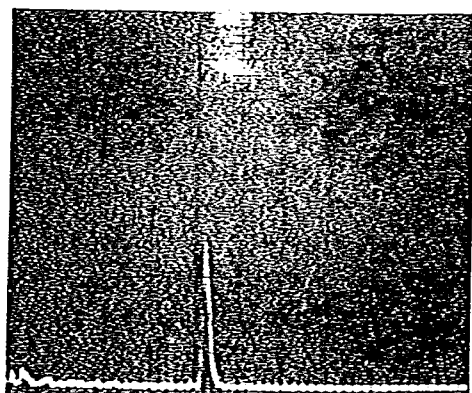
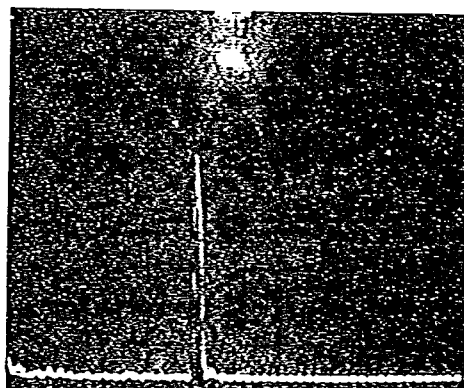
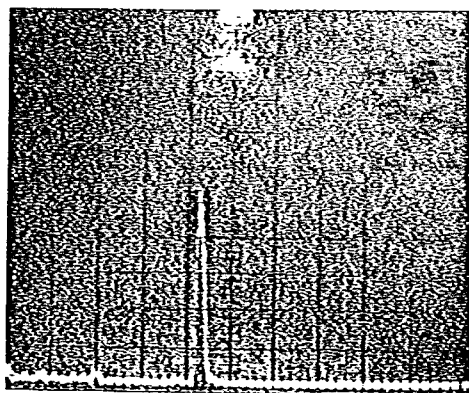


写真-3.6.2 BLOCK-ⅡのEDMノッチを探傷したときの探傷波形例

BLOCK-Ⅱ

塗装 150 μ m、室温16℃、油なし

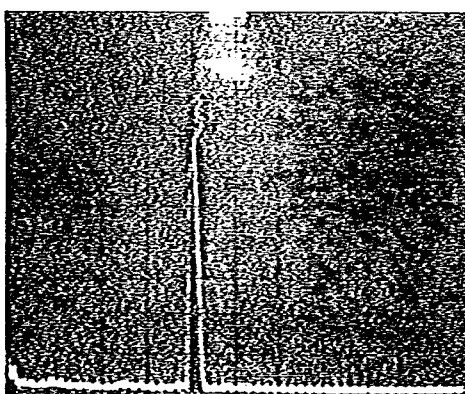
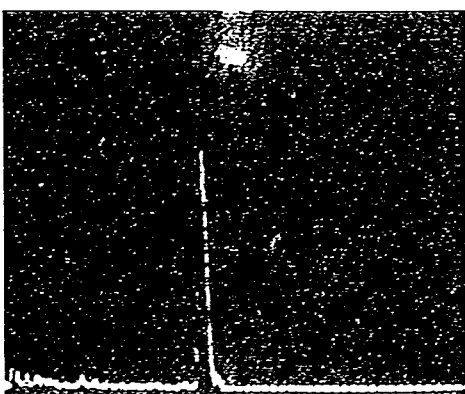
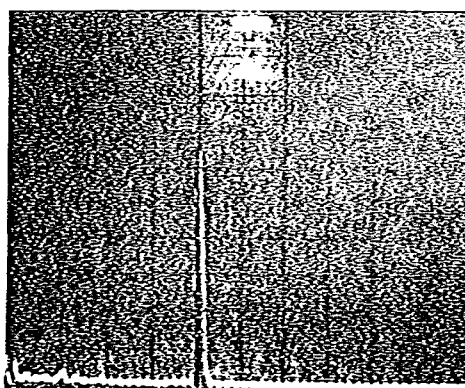
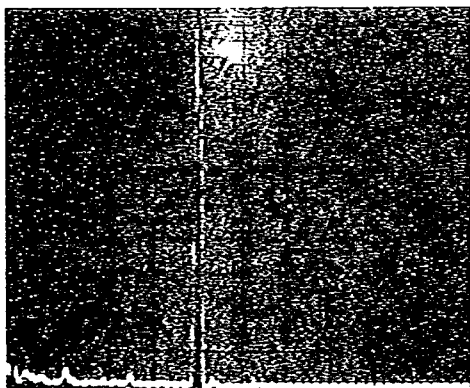
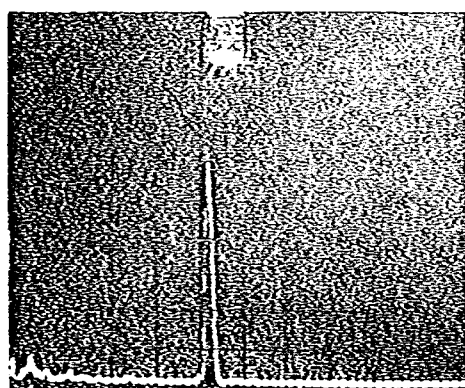
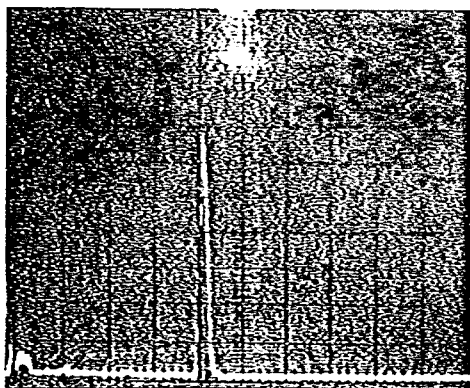


写真-3.6.3 BLOCK-ⅡのEDMノッチを探傷したときの探傷波形例

BLOCK-Ⅰ

塗装 150 μ m、室温16℃、油なし

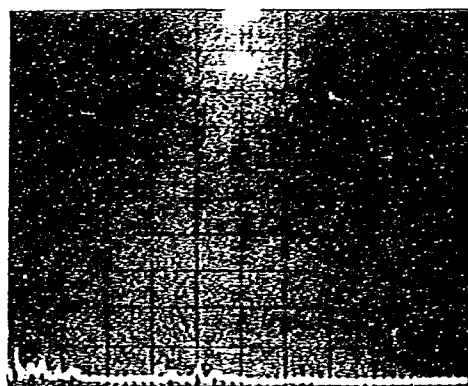
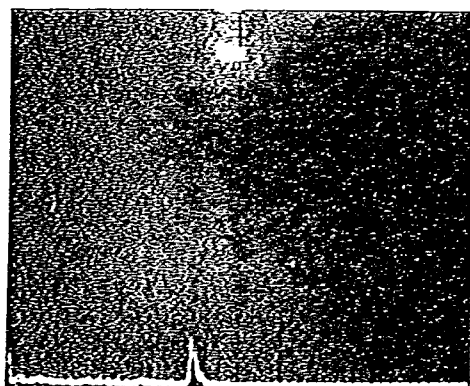
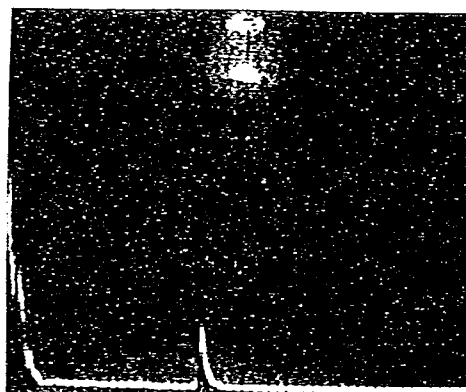
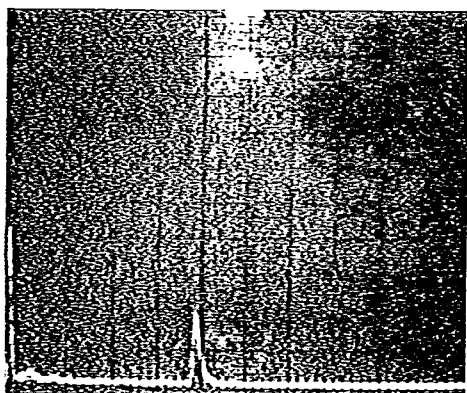
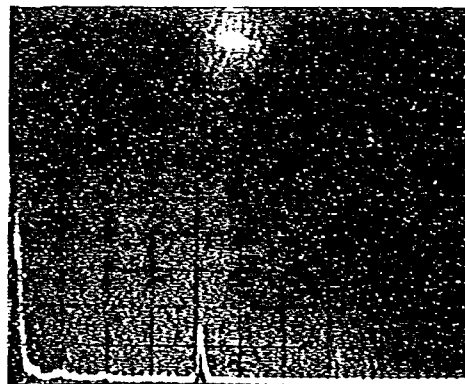
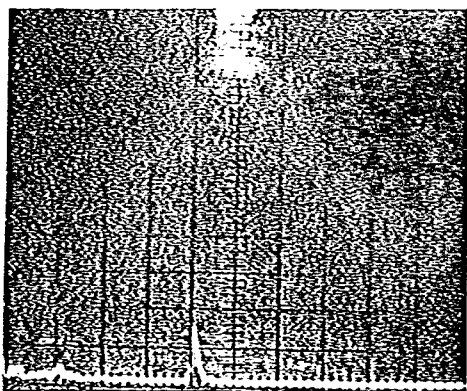


写真- 3. 6. 4 BLOCK-Ⅰの縦穴を探傷したときの探傷波形例

BLOCK-Ⅱ

塗装 150 μ m、室温16℃、油なし

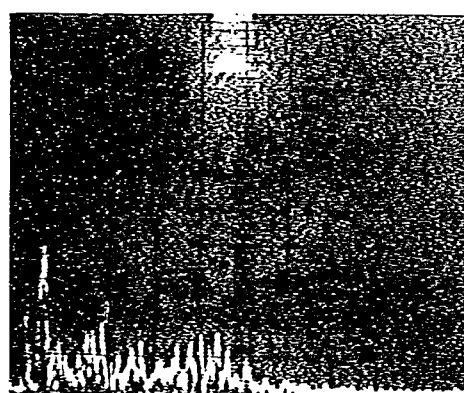
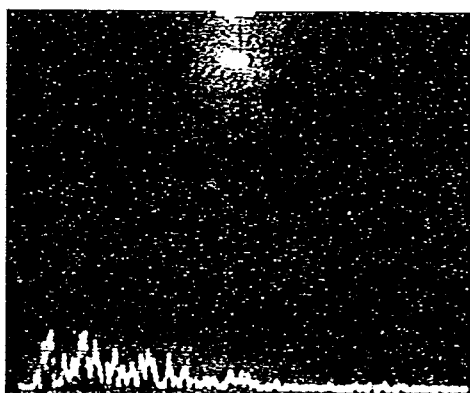
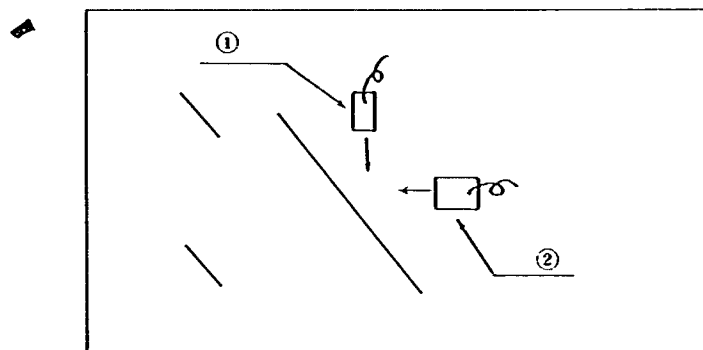


写真- 3. 6. 5 軸方向および周方向から斜め方向 EDMノッチを
探傷したときの探傷波形

塗装 150 μ m、室温16℃、油なし

□□□□□□□

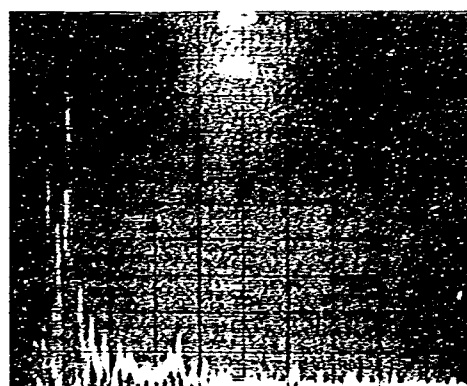


写真- 3. 6. 6 塗膜剝離状態で探傷したときの探傷図形

3.7 考察

本試験で得られた結果を基に、ダム用ゲートに用いられている油圧シリンダの超音波探傷試験を実施する際に問題となる、(1)～(4)の因子について考察する。

- (1) 作動油の存在が欠陥エコーに及ぼす影響
- (2) 塗膜の存在が欠陥エコーに及ぼす影響
- (3) 試験温度が欠陥エコーに及ぼす影響
- (4) 欠陥エコーの減衰特性

なお、各試験条件で得られた欠陥エコー高さの全データ（添付資料P 66～71, 75～80, 84～89, 91～93）から、①～②を考察に用いた。

- ① +, -両側から探傷して得られたデータのうち最も高いエコー高さ
(以後単に最大エコー高さと呼ぶ)
- ② +, -両側でそれぞれ求めた平均エコー高さのうち高い方のエコー高さ
(以後単に平均最大エコー高さと呼ぶ)

ここで、最大エコー高さを評価の対象に加えたのは、次の理由による。すなわち、この試験体はかなり古い製造技術で作製された遠心铸造鋼管であるため、板厚中央部に介在物が析出していると考えられる。このような試験体を超音波探傷した場合、探傷箇所によってはこれらの介在物に妨害され、エコー高さが低くなり介在物が無いところでは高くなる。したがって、今回の試験で得られた欠陥エコー高さのうち最もエコー高さが高いものが本来の欠陥エコー高さであろうと考えたからである。

3.7.1 作動油の存在が欠陥エコーに及ぼす影響の調査

作動油の有無と欠陥エコー高さについてまとめ直した結果を図-3.7.1から図-3.7.4に示す。図中の白抜きマークは上記①の最大エコー高さを、また黒ぬりマークは、上記②の平均最大エコー高さをプロットしたものである。

図-3.7.1は周方向EDMノッチの結果であり、上側の図は塗膜が無い場合、下側は塗膜有りの場合である。また、図中の丸印は作動油なし、ひし形印は作動油有りの場合を示す。

塗膜無しの場合、最大エコー高さに及ぼす作動油の影響を比較すると最大0.5dBであり、この差は無視できるが、平均最大エコー高さでは最大1.7dBとなり若干大きくなるが、手動探傷の誤差範囲2dBからすれば、測定誤差範囲といえる。

一方、塗膜がある場合について同様の比較をすると、最大エコー高さおよび平均最大エコー高さともに0.7dB以内である。以上の結果より、作動油がある場合にはエコー高さの低下傾向が若干見られるが、その影響は無視できると考えられる。

図-3.7.2は軸方向EDMノッチの結果であり、上側の図は塗膜が無い場合、下側は塗膜有りの場合である。また、前図と同様に丸印は作動油なし、ひし形印は作動油有りの場合を示す。

塗膜無しの場合、最大エコー高さに及ぼす作動油の影響を比較すると最大1.4dBであり、平均最大エコー高さでは最大1.5dBとなる。

一方、塗膜がある場合について同様の比較をすると、最大エコー高さ及び平均最大エコー高さともに1.2dB以内である。

以上の結果は手動探傷の誤差範囲が2dBあることからすれば、作動油の影響は無視できるといえる。

図-3.7.3は斜め方向EDMノッチの結果であり、上側の図は塗膜が無い場合、下側は塗膜有りの場合である。また、前図と同様に丸印は作動油なし、ひし形印は作動油有りの場合を示す。

塗膜無しの場合、最大エコー高さに及ぼす作動油の影響を比較すると最大0.3dBであり、平均最大エコー高さでは最大0.5dBとなり、この差は無視できる。

一方、塗膜がある場合について同様の比較をすると、最大エコー高さでは最大2.3dBであり、平均最大エコー高さでは2dB以内である。

以上の結果から浅い亀裂の場合には、このように斜め方向から探傷すると作動油の影響が現れるようであるが、この差よりも探触子の接触不良による超音波伝達損失の方が大きいので、斜め方向からの探傷はなるべく避ける方が望ましい。

図-3.7.4は縦穴の結果であり、上側の図は塗膜が無い場合、下側は塗膜有りの場合である。また、前図と同様に丸印は作動油なし、ひし形印は作動油有りの場合を示す。

塗膜無しの場合、最大エコー高さに及ぼす作動油の影響を比較すると、直径2及び4mmでは作動油なしの場合がエコー高さは高くなっているが、直径6mmで逆の結果となっている。平均最大エコー高さでも逆転現象が起こっている。さらに、塗膜がある場合においても同様な逆転現象がある。

以上、作動油の存在が欠陥エコーに及ぼす影響について考察したが、その影響はほとんど無視できると考えられる。

3.7.2 塗膜の存在が欠陥エコーに及ぼす影響の調査

塗膜の状態と欠陥エコー高さについてまとめなおした結果を図-3.7.5から図-3.7.8に示す。図中の白抜きマークは最大エコー高さを、また黒ぬりマークは、平均最大エコー高さをプロットしたものである。

図-3.7.5は周方向EDMノッチの結果であり、上側の図は作動油が無い場合、下側は作動油が有る場合である。また、図中の丸印は塗膜なし、ひし形印は膜厚 $150\mu\text{m}$ の場合、三角形印は膜厚 $500\mu\text{m}$ の場合を示す。

作動油なしの場合の最大エコー高さに及ぼす塗膜の影響を比較すると、塗膜が無い場合のエコー高さに比べ、 $150\mu\text{m}$ の塗膜がある場合では最大3.9dB低下し、平均最大エコー高さも同じく最大3.9dBの低下となる。

一方、作動油がある場合について同様の比較をすると、最大エコー高さは塗膜なしに比べ $150\mu\text{m}$ では最大3.6dB低下し、 $500\mu\text{m}$ では最大11.6dB低下する。また、平均最大エコー高さは塗膜なしに比べ $150\mu\text{m}$ では最大3.1dB低下し、 $500\mu\text{m}$ では最大10.3dB低下する。

以上の結果より、塗膜が施されているとエコー高さは低下し、塗膜が厚くなるほどその低下量は大きくなる。

図-3.7.6は軸方向EDMノッチの結果であり、上側の図は作動油が無い場合、下側は作動油が有る場合である。また、図中の丸印は塗膜なし、ひし形印は膜厚 $150\mu\text{m}$ の場合、三角形印は膜厚 $500\mu\text{m}$ の場合を示す。

作動油なしの場合の最大エコー高さに及ぼす塗膜の影響を比較すると、塗膜が無い場合のエコー高さに比べ、 $150\mu\text{m}$ の塗膜がある場合では最大3.1dB低下し、平均最大エコー高さも同じく最大3.3dBの低下となる。

一方、作動油がある場合について同様の比較をすると、最大エコー高さは塗膜なしに比べ $150\mu\text{m}$ では最大3.3dB低下し、 $500\mu\text{m}$ では最大11.9dB低下する。また、平均最大エコー高さは塗膜なしに比べ $150\mu\text{m}$ では最大3.3dB低下し、 $500\mu\text{m}$ では最大13.1dB低下する。

以上の結果より、塗膜が施されているとエコー高さは低下し、塗膜が厚くなるほどその低下量は大きくなる。

図-3.7.7は斜め方向EDMノッチの結果であり、上側の図は作動油が無い場合、下側は作動油が有る場合である。また、図中の丸印は塗膜なし、ひし形印は膜厚 $150\mu\text{m}$ の場合、三角形印は膜厚 $500\mu\text{m}$ の場合を示す。

作動油なしの場合の最大エコー高さに及ぼす塗膜の影響を比較すると、塗膜が無い場合のエコー高さに比べ、 $150\mu\text{m}$ の塗膜がある場合では最大2.5dB低下し、平均最大エコー高さもほぼ同様に最大2.4dBの低下となる。

一方、作動油がある場合について同様の比較をすると、最大エコー高さは塗膜なしに比べ $150\mu\text{m}$ では最大4.4dB低下し、 $500\mu\text{m}$ では最大10.2dB低下する。また、平均最大エコー高さは塗膜なしに比べ $150\mu\text{m}$ では最大3.9dB低下し、 $500\mu\text{m}$ では最大11.2dB低下する。

以上の結果より、塗膜が施されているとエコー高さは低下し、塗膜が厚くなるほどその低下量は大きくなる。

図-3.7.8は縦穴結果であり、上側の図は作動油が無い場合、下側は作動油が有る場合である。また、図中の丸印は塗膜なし、ひし形印は膜厚 $150\mu\text{m}$ の場合、三角形印は膜厚 $500\mu\text{m}$ の場合を示す。

作動油なしの場合の最大エコー高さに及ぼす塗膜の影響を比較すると、塗膜が無い場合のエコー高さに比べ、 $150\mu\text{m}$ の塗膜がある場合では最大4.8dB低下し、平均最大エコー高さもほぼ同様に最大4.6dBの低下となる。

一方、作動油がある場合について同様の比較をすると、最大エコー高さは塗膜なしに比べ $150\mu\text{m}$ では最大 4.5dB低下し、 $500\mu\text{m}$ では最大12.9dB低下する。また、平均最大エコー高さは塗膜なしに比べ $150\mu\text{m}$ では最大4.6dB低下し、 $500\mu\text{m}$ では最大16.5dB低下する。

以上の結果より、塗膜が施されているとエコー高さは低下し、塗膜が厚くなるほどその低下量は大きくなる。

以上、塗膜の存在が欠陥エコー高さに及ぼす影響について考察したが、塗膜の厚さが増すと欠陥エコー高さは低下するが、欠陥の寸法が変化しても、膜厚によるエコー高さ低下量にはほとんど無関係となっている。

そこで、各試験条件でのエコー高さ低下量のうち、最大値と最小値を除いた値を平均すると、表-3.7.1のようになる。

本試験に使用した塗膜の超音波横波減衰値は、ここで求めた平均値から計算すると、およそ $0.01\text{dB}/\mu\text{m}$ となる。

表-3.7.1 塗膜の存在による欠陥エコーの差異

欠陥の種類	作動油	膜厚0と $150\mu\text{m}$ との差(dB)	膜厚0と $500\mu\text{m}$ との差(dB)
周方向欠陥	なし	-3.6	—
	有り	-2.8	-10.2
軸方向欠陥	なし	-2.8	—
	有り	-2.7	-9.7
斜め方向欠陥	なし	-1.6	—
	有り	-2.9	-9.8
縦穴欠陥	なし	-2.6	—
	有り	-2.8	-12.3
平均		-2.7	-10.5

3. 7. 3 試験温度が欠陥エコーに及ぼす影響の調査

超音波探傷試験を実施する際の試験温度と欠陥エコー高さの関係についてまとめ直した結果を図-3. 7. 9及び図-3. 7. 10に示す。このとき、作動油は有り、塗膜は無しの条件である。図中の白抜きマークは最大エコー高さを、また黒ぬりマークは、平均最大エコー高さプロットをしたものである。

図-3. 7. 9のうち、上側の図は周方向EDMノッチの結果であり、下側の図は軸方向EDMノッチの結果である。また、図中の丸印は試験温度16℃、ひし形印は4℃の場合を示す。

周方向EDMノッチの場合、最大エコー高さに及ぼす試験温度の影響を比較すると試験温度16℃の方が4℃の場合より最大0.5dB低くなり、平均最大エコー高さでは最大1.4dB低くなる。

一方、軸方向EDMノッチについて同様の比較をすると、最大エコー高さは試験温度16℃の方が4℃の場合より最大0.5dB低くなり、平均最大エコー高さでは最大1.4dB低くなる。

図-3. 7. 10のうち上側の図は斜め方向EDMノッチの結果であり、下側の図は縦穴の結果である。また、図中の丸印は試験温度16℃、ひし形印は4℃の場合を示す。

斜め方向EDMノッチの場合、最大エコー高さに及ぼす試験温度の影響を比較すると試験温度16℃と4℃ではエコー高さの変化はなく、平均最大エコー高さではいずれも1.1dBだけ4℃の方が低くなる。

一方、縦穴について同様の比較をすると、最大エコー高さは試験温度16℃では4℃の場合より最大0.9dB高くなり、平均最大エコー高さでは最大1.9dB高くなる。

以上、試験温度が欠陥エコーに及ぼす影響について考察したが、欠陥エコー高さは高くなったり低くなったりしており、また平均すれば約0.3dBだけ試験温度16℃より4℃の方が高くなるだけであるので、試験温度の影響はほとんど無視できると考えられる。

3. 7. 4 欠陥エコーの減衰特性の調査

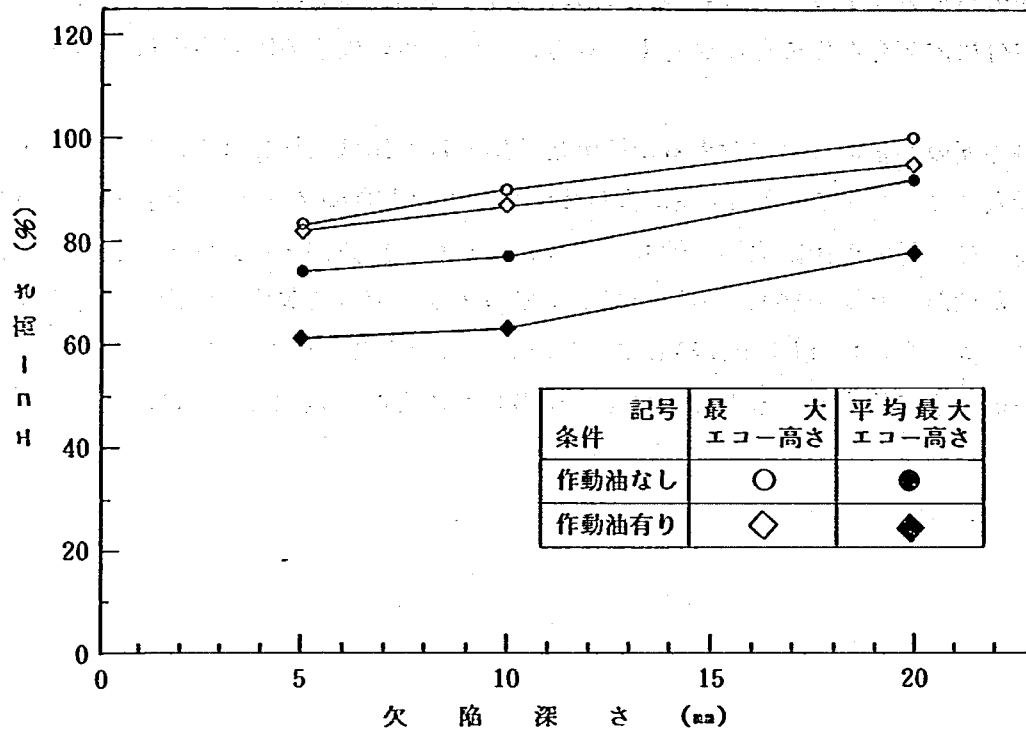
欠陥寸法を変えた人工欠陥（EDMノッチ及び縦穴）を検出したときの最大エコー高さ及び平均最大エコー高さと欠陥寸法の間接関係を検討した。

図-3. 7. 1から図-3. 7. 10に示した欠陥寸法とエコー高さを調べると、EDMノッチの場合には、欠陥深さが増すにしたがってエコー高さは高くなっている。しかしながら、周方向と軸方向とを比較すると、軸方向の方がエコー高さの増加傾向が大きくなっている。この原因として、軸方向欠陥を探傷するときの超音波探触子は、探触子の前後方向にシュー加工を施しているため、このレンズシューが音響レンズ（凹凸）として働くので、超音波ビームを集束することによると考えられる。

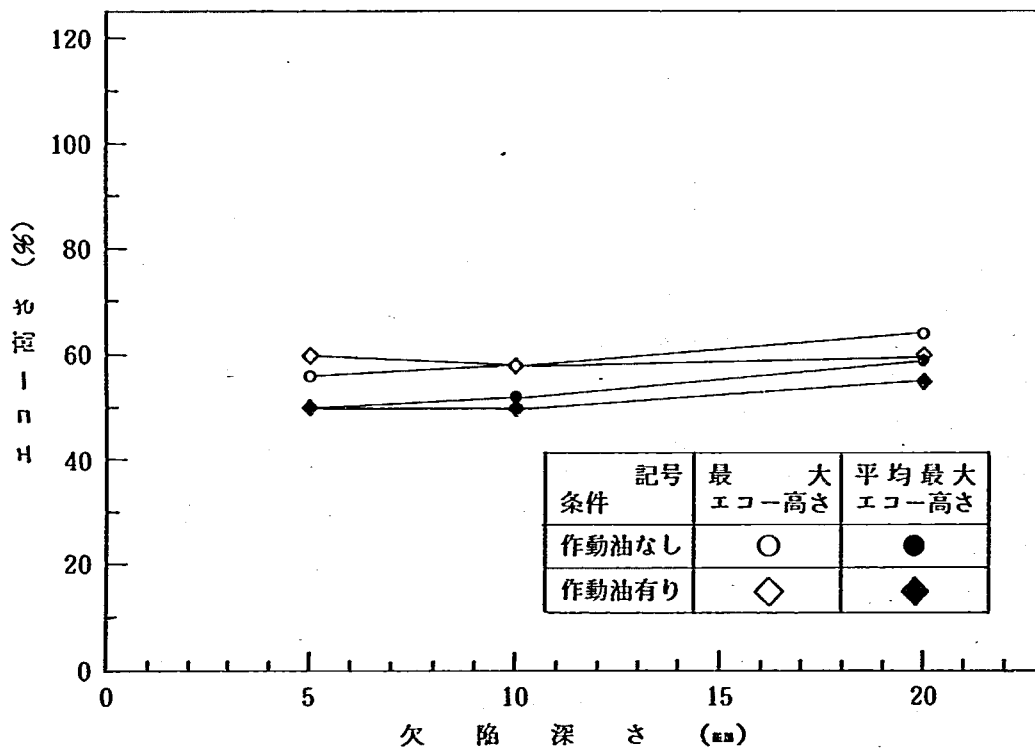
横波斜角探触子5Z10×10A45における指向角は約5度であり、板厚30mmの低面に開口したノッチを探傷する場合、深さ10mmが丁度超音波ビームの広がり内に入る限界であり、20mmでは反射有効高さは10mmとほとんど変わらなくなってしまう。しかしながら、軸方向欠陥の探傷では、さきに述べたレンズ効果により超音波ビームが集束しているので、深さ20mmでも高いエコー高さが得られると考えられる。

深さ20mmの斜め方向ノッチと直径6mmの縦穴におけるエコー高さが低下している。この原因として、この部分に内部介在物の存在が考えられる。この2つの欠陥の円周方向位置が同じであるためである。

次に探傷感度の調整について考える。探傷基準感度は対比試験片RBを用いて深さ $T/4$ の基準横穴の最大エコー高さをCRT80%に合わせたが、このときのノッチ検出時のビーム路程におけるエコー高さは、付図の距離振幅特性曲線(DAC)から周方向・軸方向とも12%と読める。欠陥エコー高さが低かった塗膜500 μ mの場合は、全てのノッチ深さで欠陥の両側から探傷すれば最低片側からはエコー高さ12%以上で検出しているが、縦穴の場合は検出できていない。したがって、このときの縦穴まで検出しようとするには、検出レベルをDAC-12dBとしなければならないと考える。

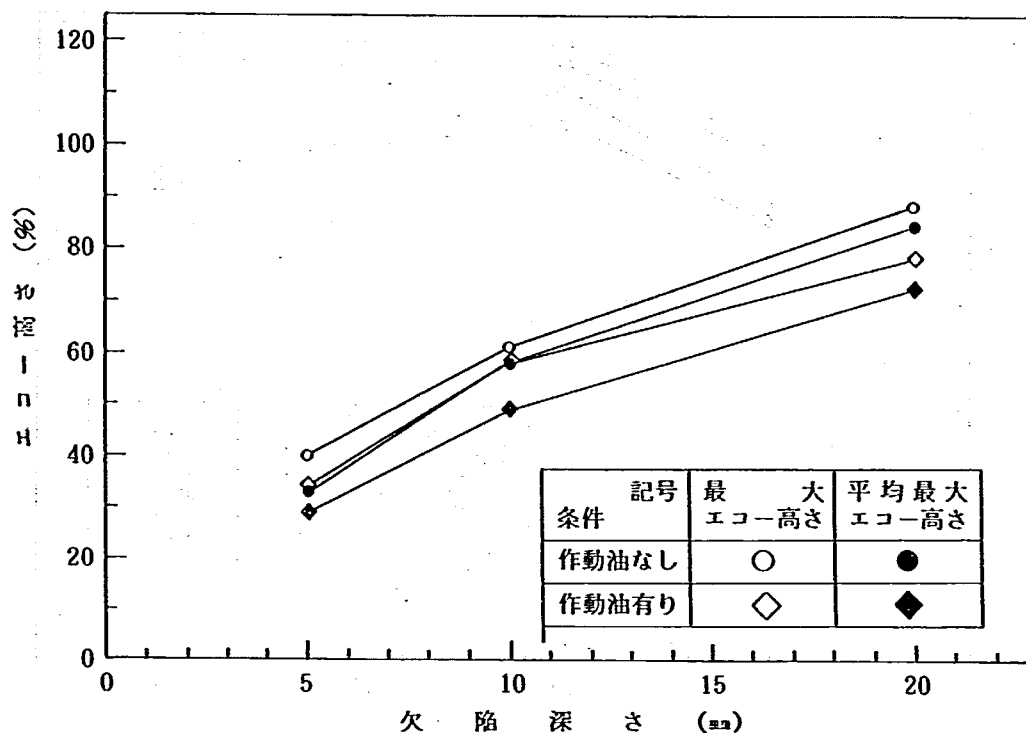


(a) 塗膜がない場合

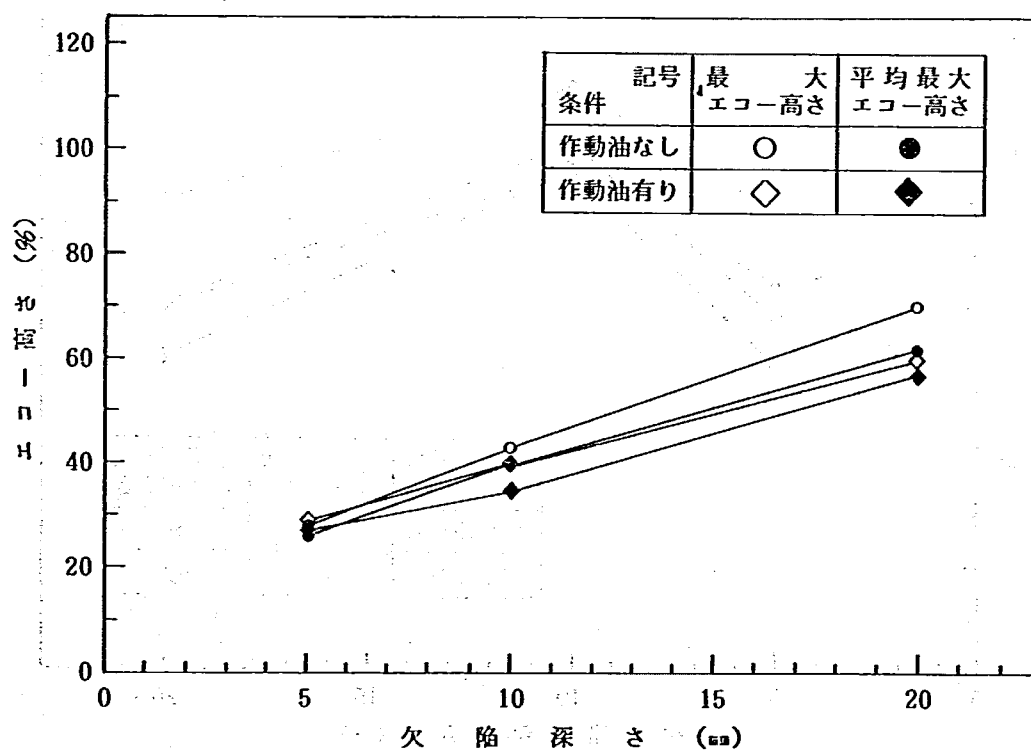


(b) 膜厚 150 μm の場合

図-3.7.1 作動油の存在が欠陥エコーに及ぼす影響
(周方向 EDM ノッチの場合)

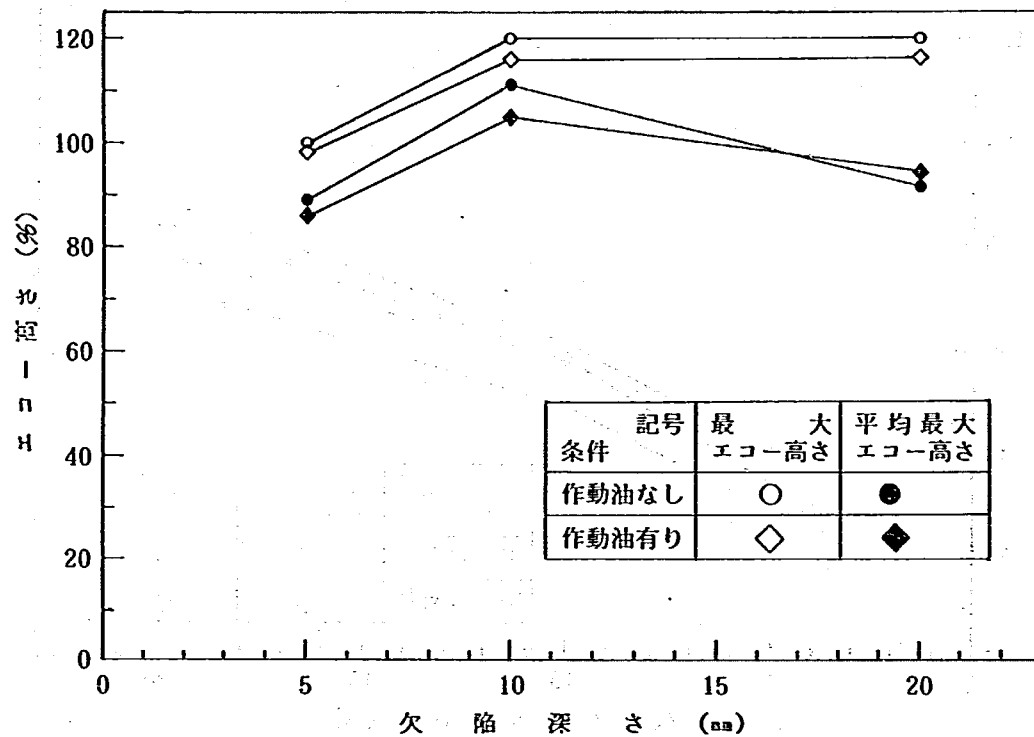


(a) 塗膜がない場合

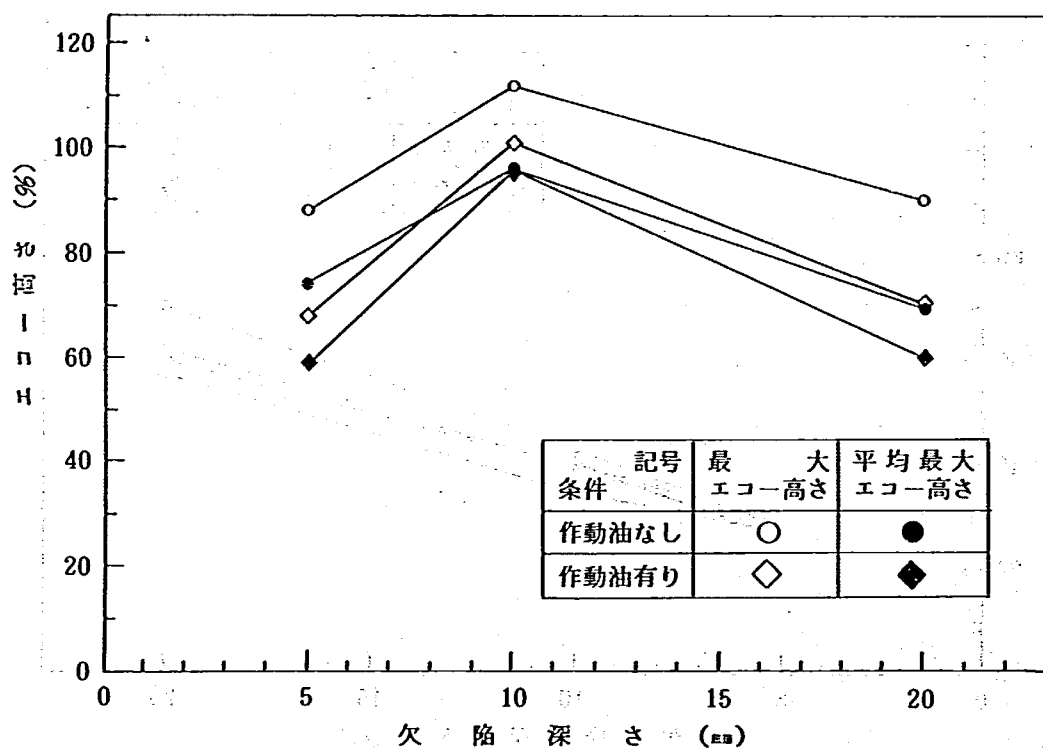


(b) 膜厚 150 μm の場合

図-3.7.2 作動油の存在が欠陥エコーに及ぼす影響
(軸方向 EDM ノッチの場合)

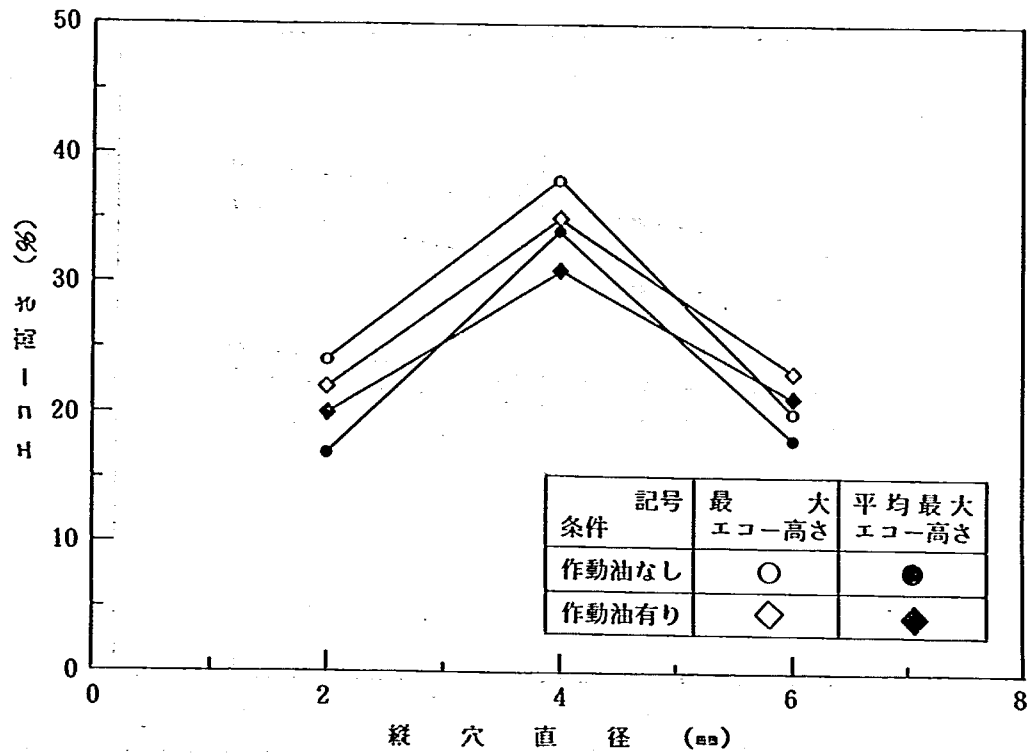


(a) 塗膜がない場合

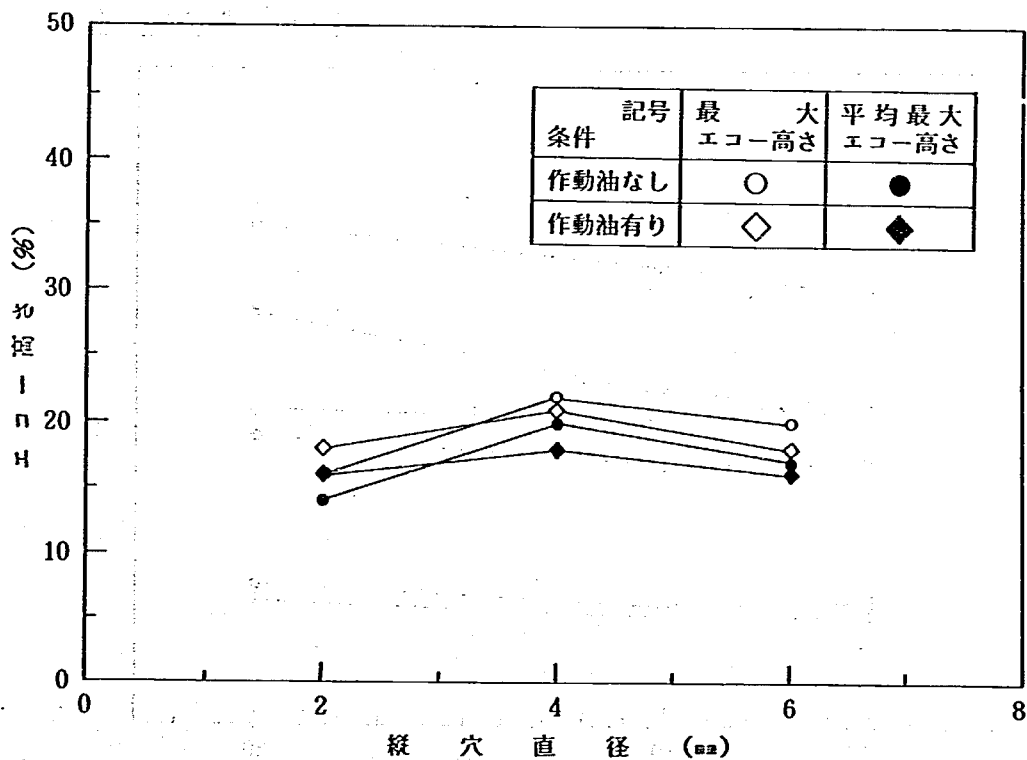


(b) 膜厚 150 μ m の場合

図-3.7.3 作動油の存在が欠陥エコーに及ぼす影響
(斜め方向EDMノッチの場合)

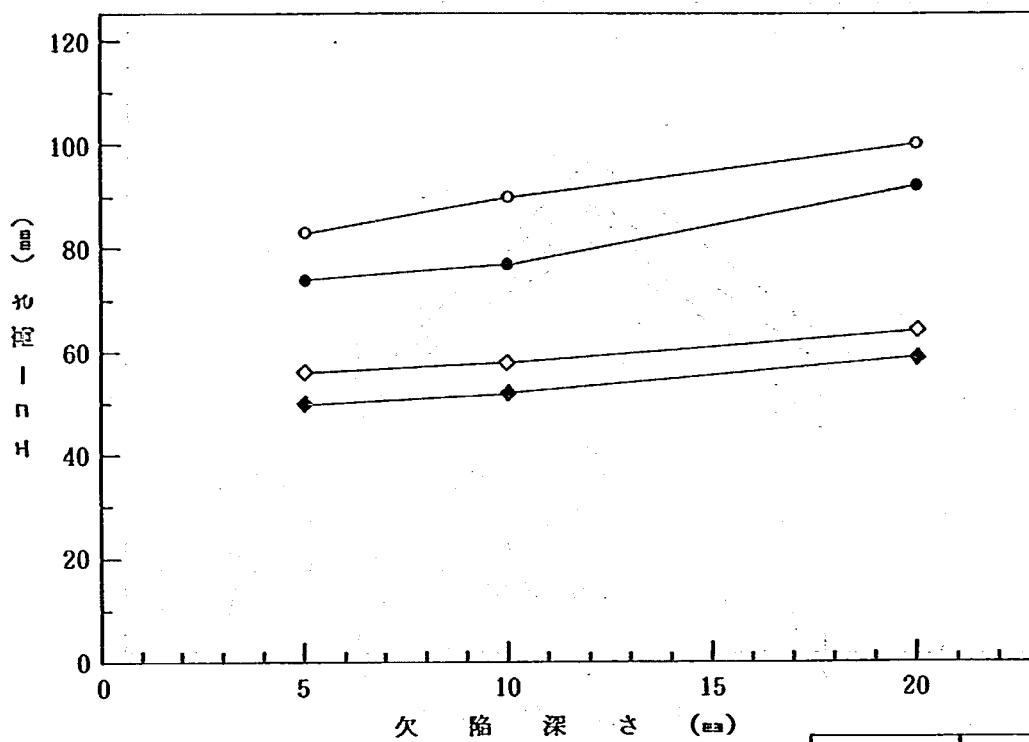


(a) 塗膜がない場合



(b) 膜厚 150 μ m の場合

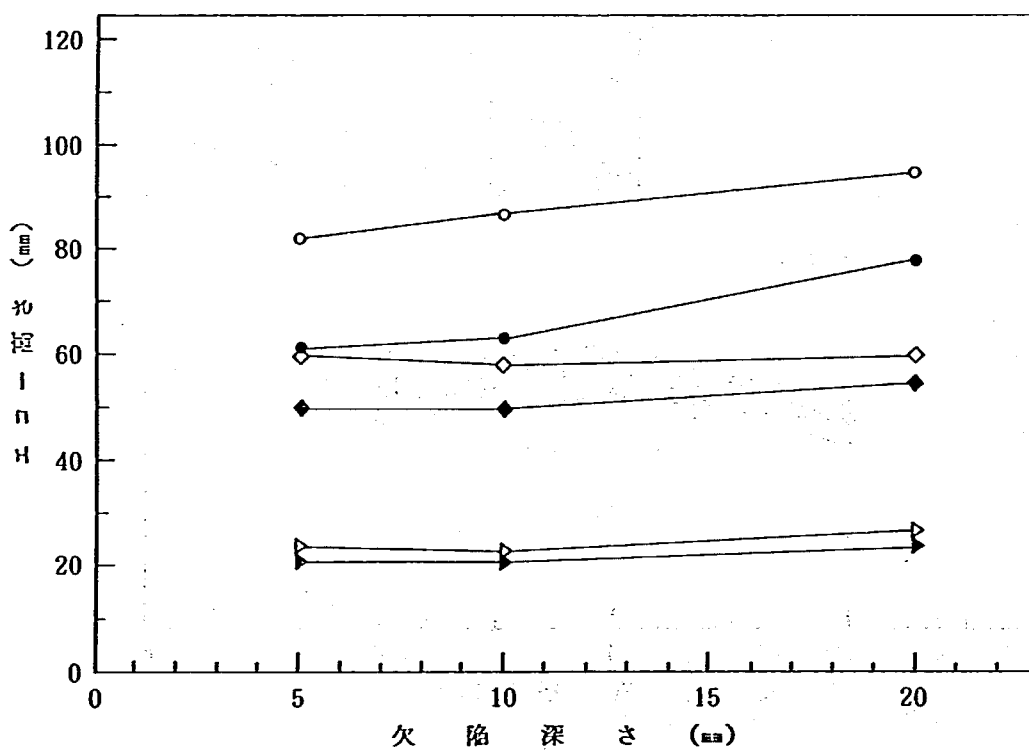
図-3.7.4 作動油の存在が欠陥エコーに及ぼす影響
(縦穴の場合)



(a) 作動油がない場合 凡

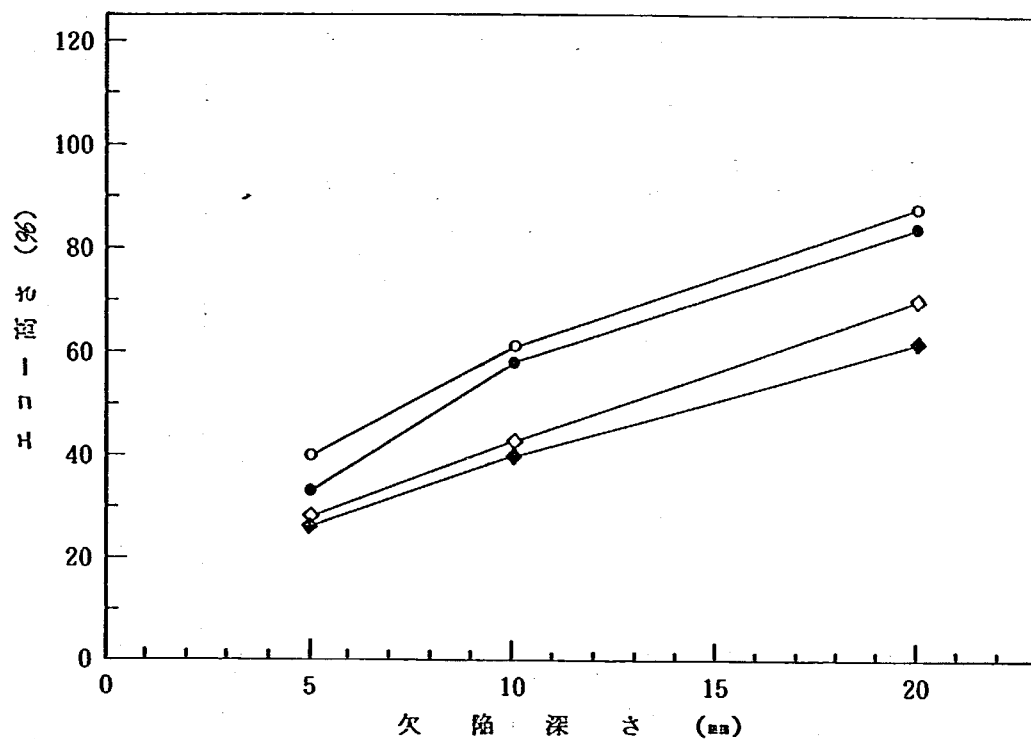
例

塗膜	記号	最大エコー高さ	平均最大エコー高さ
なし	○	●	
150 μm	◇	◆	
500 μm	◇	▶	



(b) 作動油有りの場合

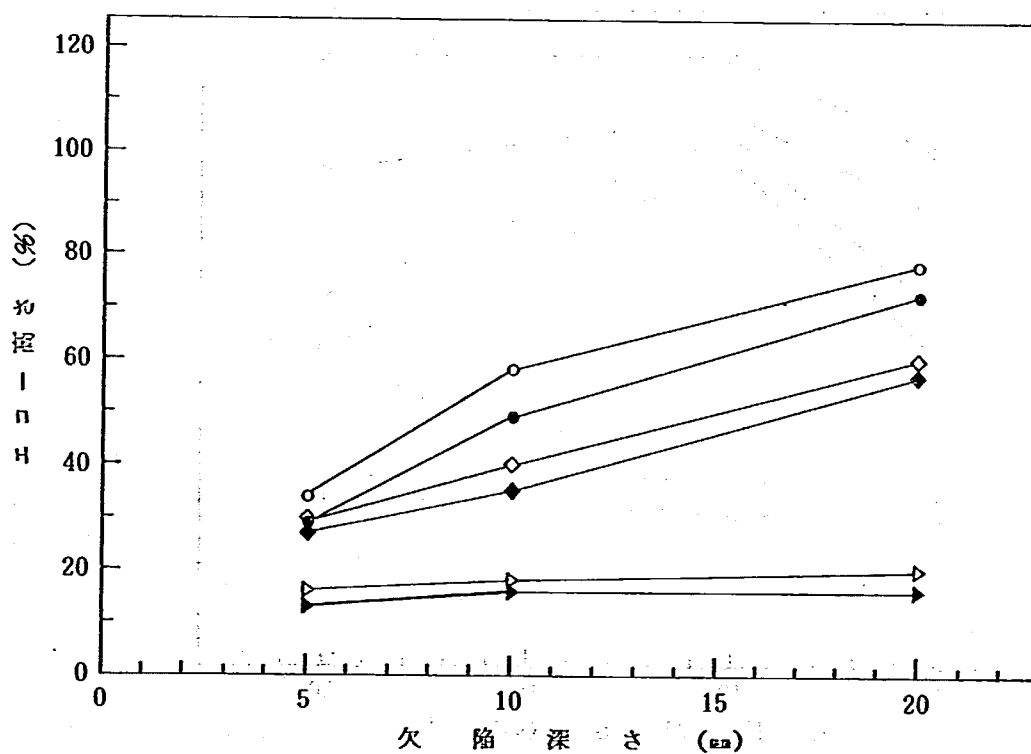
図-3.7.5 塗膜の存在が欠陥エコーに及ぼす影響
(周方向 EDM ノッチの場合)



(a) 作動油がない場合 凡

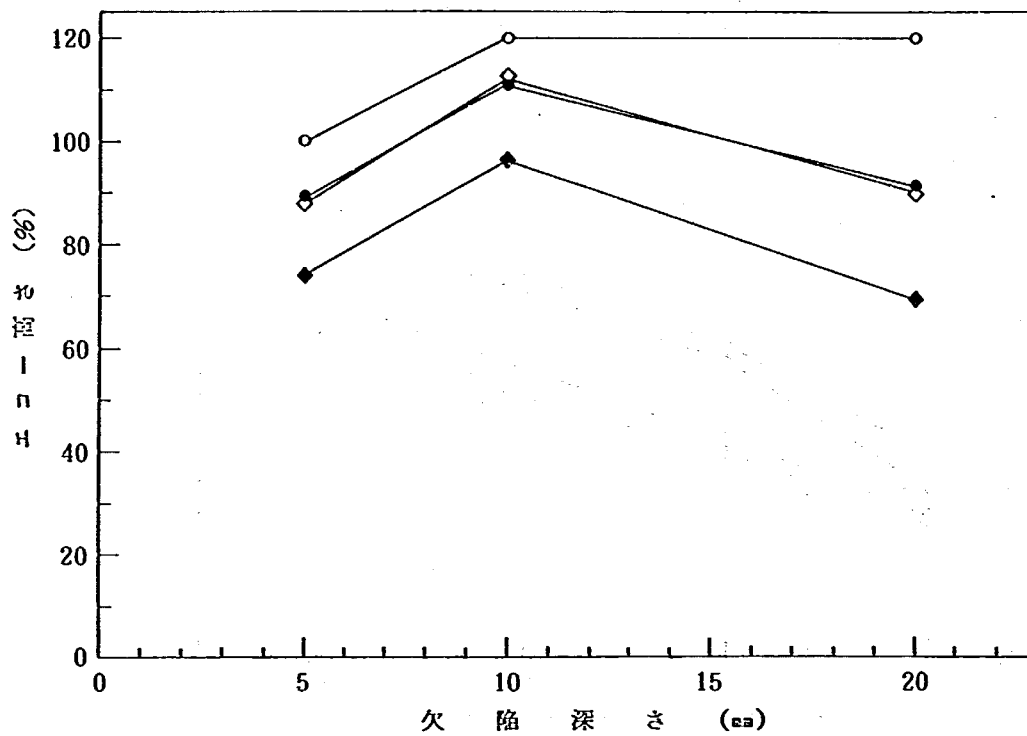
例

塗膜	記号	最大エコー高さ	平均最大エコー高さ
なし	○	○	●
150 μm	◇	◇	◆
500 μm	◇	◇	▶



(b) 作動油有りの場合

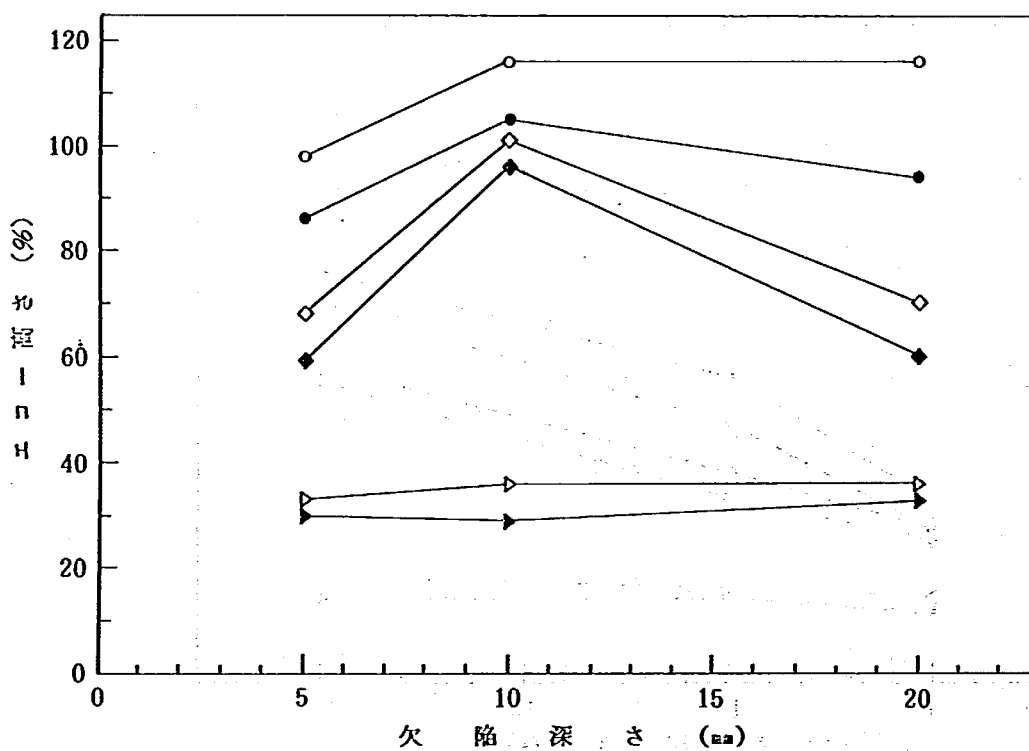
図-3.7.6 塗膜の存在が欠陥エコーに及ぼす影響
(軸方向 EDM ノッチの場合)



(a) 作動油がない場合 凡

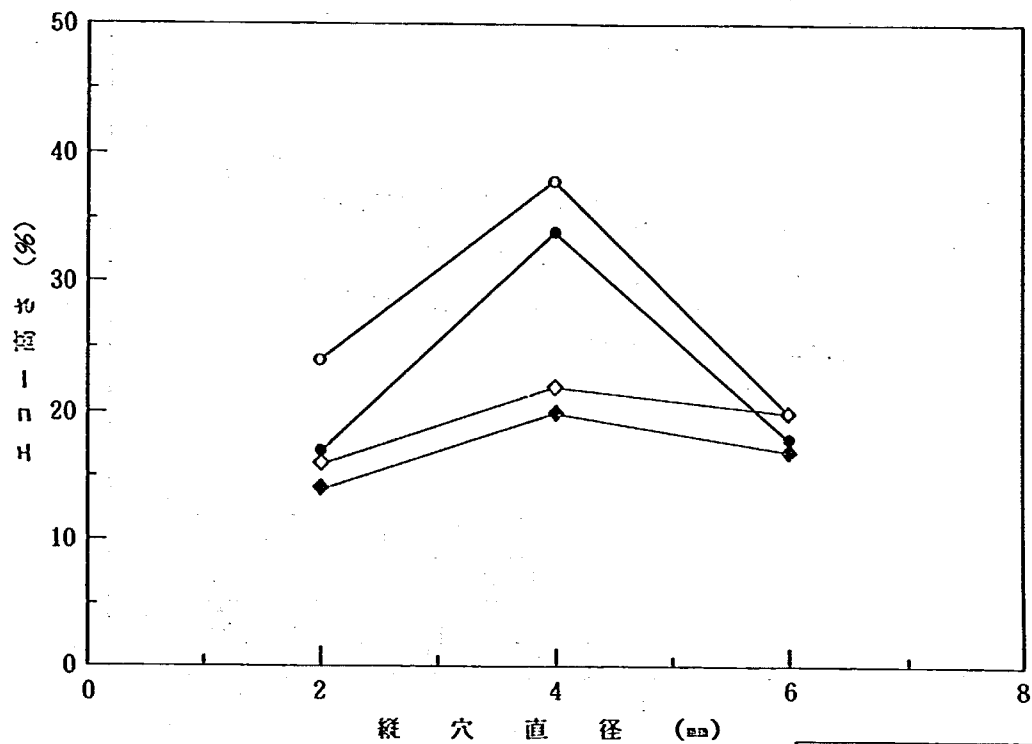
塗膜	記号	最大エコー高さ	平均最大エコー高さ
なし	○	○	●
150 μm	◇	◇	◆
500 μm	◇	◇	▶

例



(b) 作動油有りの場合

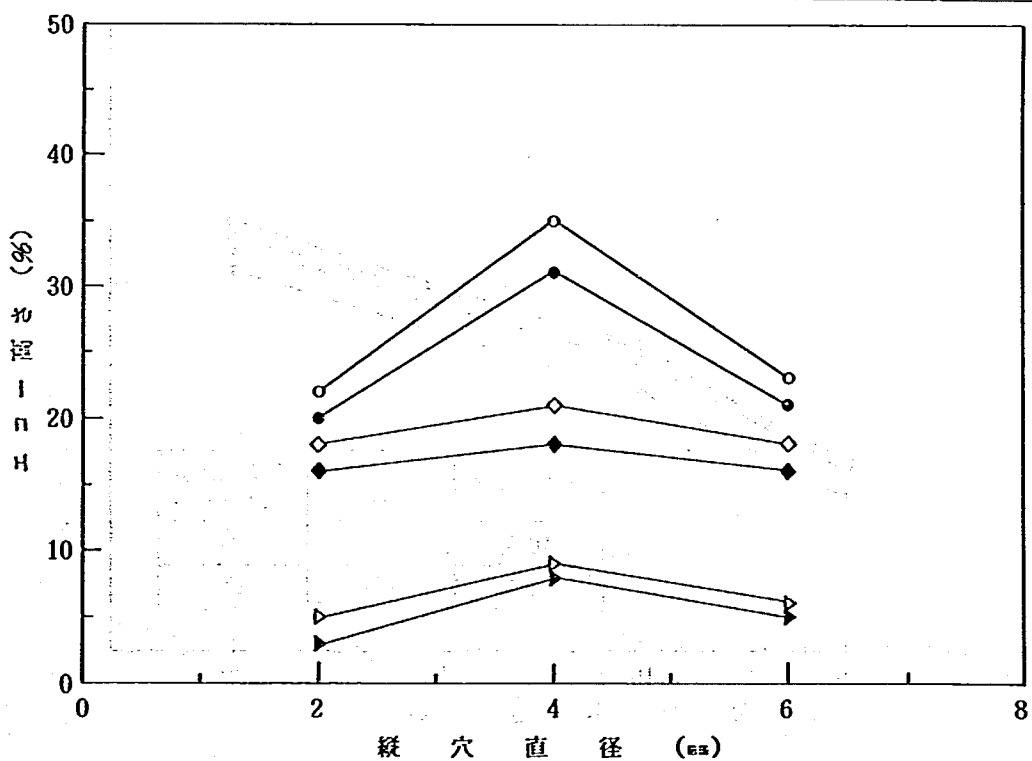
図-3.7.7 塗膜の存在が欠陥エコーに及ぼす影響
(斜め方向 EDM ノッチの場合)



(a) 作動油がない場合

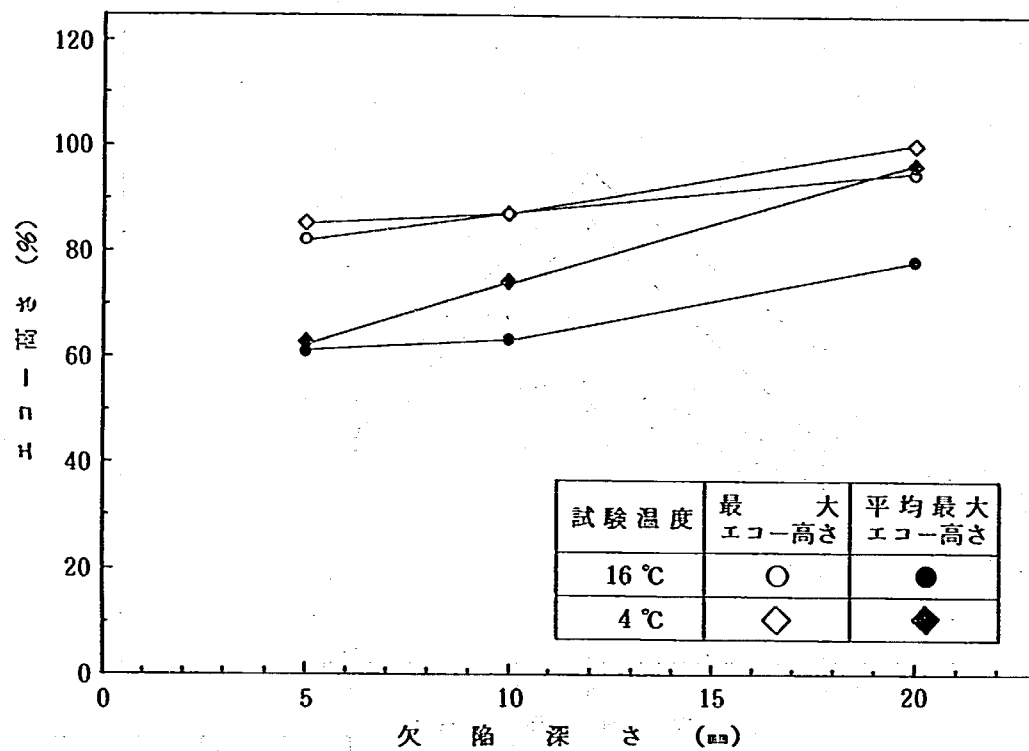
塗膜	記号	最大エコー高さ	平均最大エコー高さ
なし	○	●	●
150 μm	◇	◆	◆
500 μm	◇	▶	▶

例

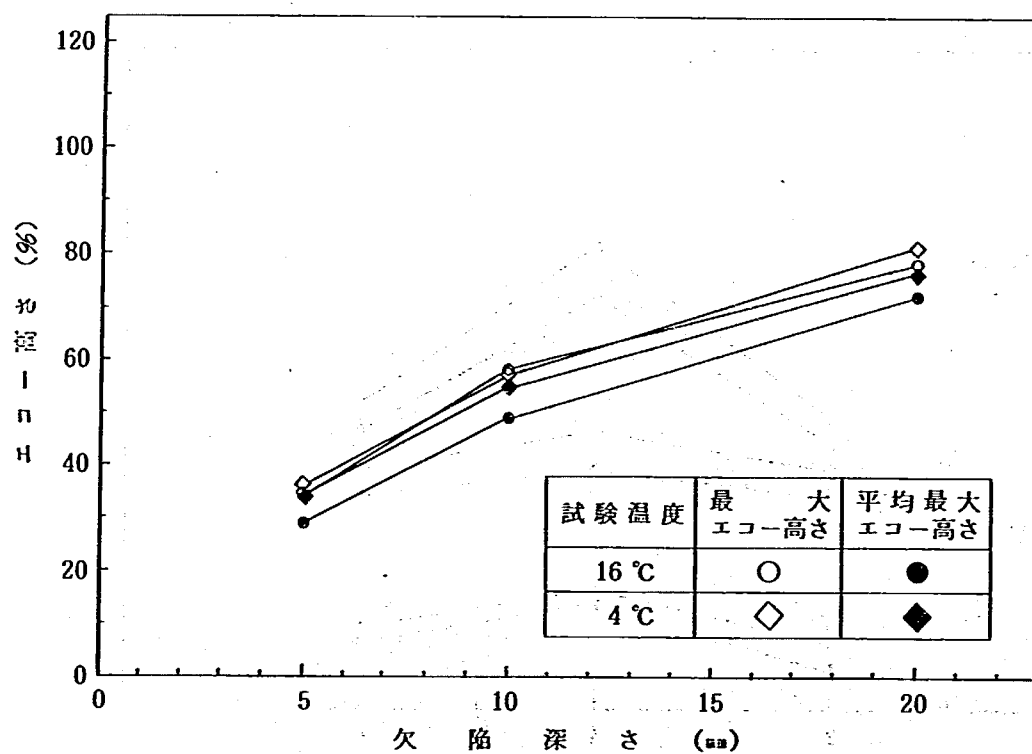


(b) 作動油有りの場合

図-3.7.8 塗膜の存在が欠陥エコーに及ぼす影響
(縦穴の場合)

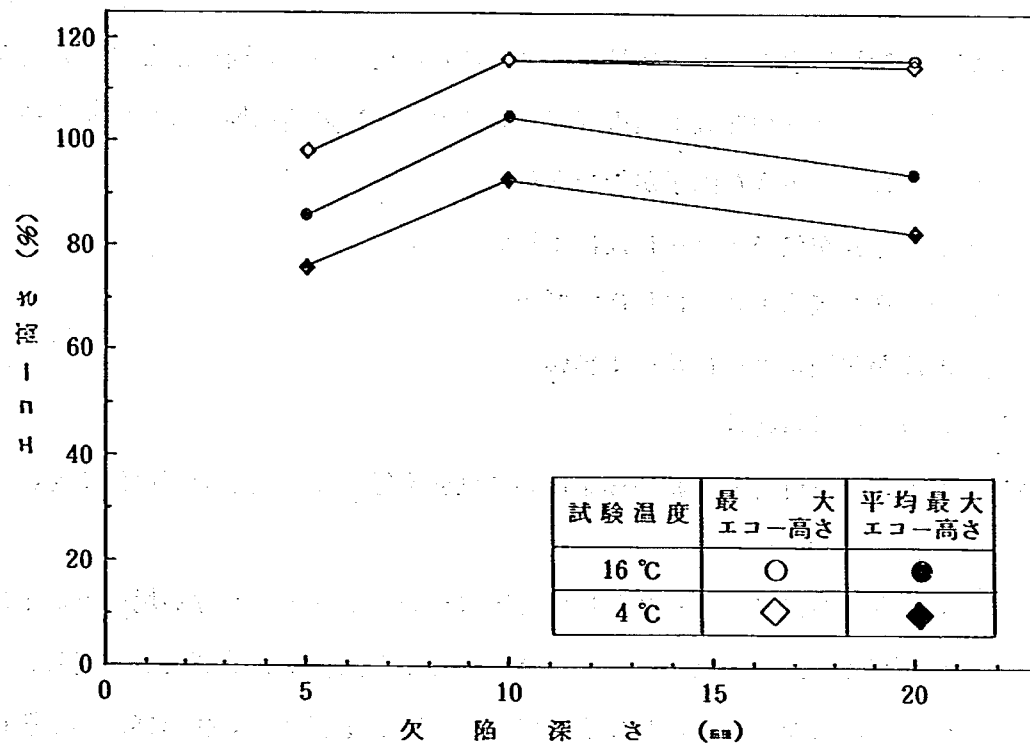


(a) 周方向EDMノッチの場合

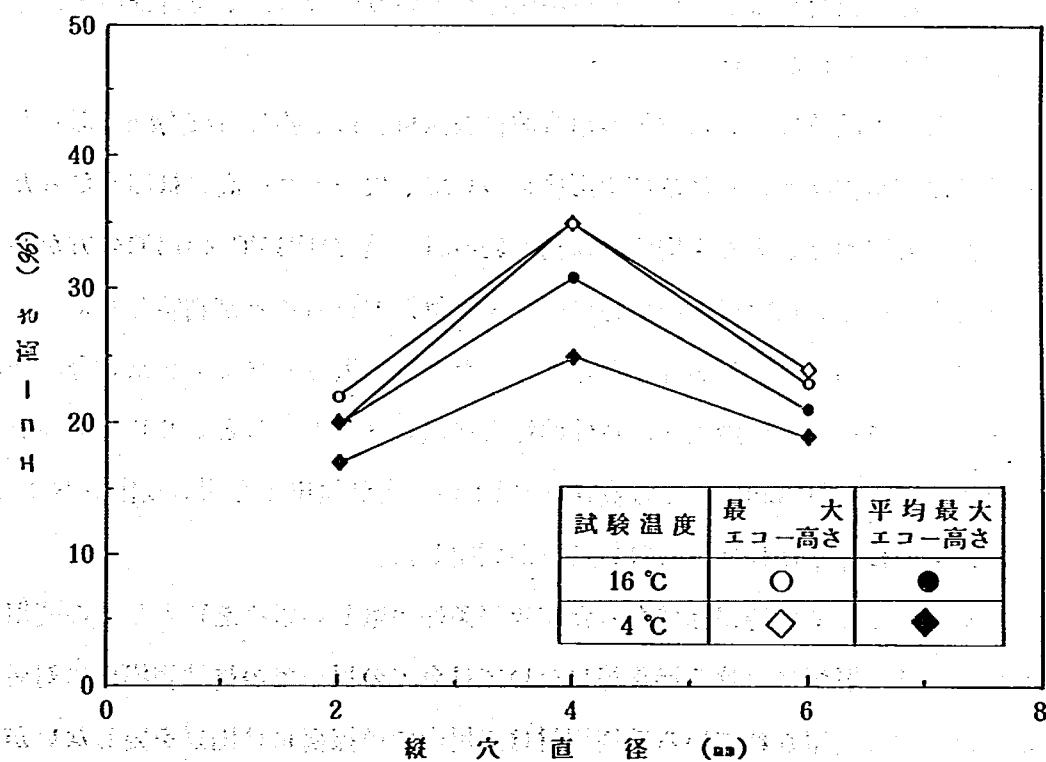


(b) 軸方向EDMノッチの場合

図-3.7.9 試験温度が欠陥エコーに及ぼす影響(1)



(c) 斜め方向 EDM ノッチの場合



(d) 縦穴の場合

図-3.7.10 試験温度が欠陥エコーに及ぼす影響(2)

4. まとめ

ゲート・ポンプ等の鋼構造物としての機械設備における点検・整備の研究としてダム用ゲートに使用されている油圧シリンダへの非破壊検査（超音波探傷試験）の適用性について研究を行った。

適用に際しては、次に示すような因子が予想された。

- (1) 作動油の存在が欠陥エコーに及ぼす影響
- (2) 塗膜の存在が欠陥エコーに及ぼす影響
- (3) 試験温度が欠陥エコーに及ぼす影響
- (4) 欠陥エコーの減衰特性

それらについて疑似欠陥を付与した試験体を用いて試験を行った結果、以下の結論を得ることができた。

- (1) 作動油の存在が欠陥エコーに及ぼす影響について、作動油がない場合とある場合の欠陥エコー高さを比較したが、その影響はほとんど無視できることが判明した。
- (2) 塗膜の存在が欠陥エコーに及ぼす影響について、塗膜なし、膜厚 $150\mu\text{m}$ 、膜厚 $500\mu\text{m}$ 及び塗膜剥離の4条件で検討した結果、塗膜の厚さが増すと欠陥エコーの高さは低下するが欠陥の寸法が変化しても、膜厚によるエコー高さ低下量にはほとんど無関係となることが判明した。また、塗膜が剥離している場合には、超音波が伝搬していないことが明らかになった。

なお、本試験に用いた塗膜の超音波横波減衰値は、約 $0.01\text{dB}/\mu\text{m}$ であった。

- (3) 試験温度が欠陥エコーに及ぼす影響について、欠陥エコー高さは高くなったり低くなったりしており、また平均すれば約 0.3dB だけ試験温度 16°C より 4°C の方が高くなるだけであるので、試験温度の影響はほとんど無視できることが判明した。
- (4) 欠陥エコー高さは、欠陥寸法が増すにしたがって大きくなる。また、今回使用した対比試験片で作成した距離振幅特性曲線を検出レベルとすると、EDMノッチは全て検出できるが、膜厚 $500\mu\text{m}$ では直径 6mm 以下の縦穴が検出できず、検出レベル値を 12dB 下げたものにしなければならないことが判明した。

今回、探傷したものとしては鋳鋼品であったが探傷条件の厳しい鋼構造物としての使用頻度は比較的少ないものの、その影響における補正等については全ての現場での構造物鋼材に対処できると考えられる。また、現在使用されている普通鋼材は工場内での探傷には困難を要しないが、今回のような因子がある場合にはその対応が不明であった。しかし、今回の研究結果に基づき各因子での補正を行い、探傷することによって、簡便かつ的確な現場での点検・整備が可能となると考える。

あ と が き

本研究において、下記の事項が判明した。

- (1) 人工欠陥については、内部介在物が多く存在している場合を除き検出可能である。
- (2) 温度変化による影響はないものと判明。
- (3) 作動油による影響はほとんど無視できる。
- (4) 塗膜の減衰が $0.01\text{dB}/\mu\text{m}$ であり、塗膜が増すと欠陥エコーが低減する。
- (5) 塗膜等により欠陥エコー高さが減衰低下したものについては、感度を上げて探傷を行う。
- (6) 剝離状態では欠陥の検出が不可能なため探傷の際は、塗膜を除去することが望ましい。

これらによって、現場での超音波探傷による欠陥の検出が可能となった。また、現場での点検・整備への提案として油圧シリンダの超音波探傷による現地測定要領（案）の作成も併せて行った。

これによって、今までの目視にて確認のできない内部欠陥及び裏側の欠陥が簡便かつ的確に行われると思われる。

今後は、全ての鋼構造物への超音波探傷の適用と的確な診断方法の確立を目指し、また現場での探傷により欠陥が発見された後、その欠陥による構造物への影響の判定を行うなどの総合的検査手法の検討が必要である。

最後に本研究を進める上でご協力ご指導いただいた方々に厚く感謝の意を表します。

参考文献

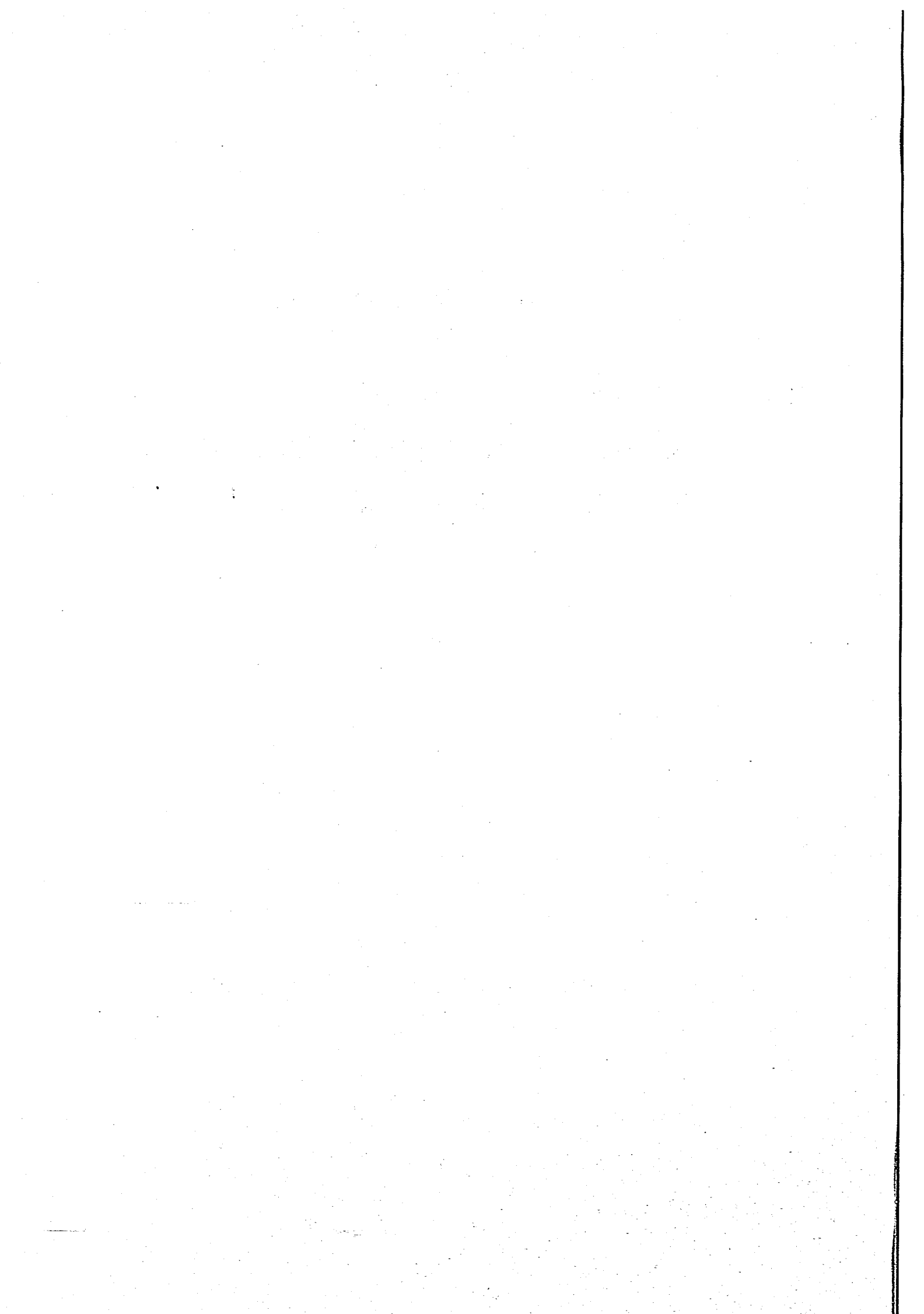
- (1) 日本工業標準調査会審議：金属材料のパルス反射法による超音波探傷試験方法通則
J I S Z 2344-1987 (日本規格協会)
- (2) 日本工業標準調査会審議：鋼溶接部の超音波探傷試験方法及び試験結果の等級分類方法
J I S Z 3060-1988 (日本規格協会)
- (3) 日本技術振興会編：超音波探傷法 (丸善株式会社)
- (4) 社団法人日本非破壊検査協会：超音波探傷試験Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ 1989
- (5) 社団法人日本非破壊検査協会規定：NDIS 0601-88 非破壊検査技術者技量認定規定
- (6) 実吉 純一，菊池 喜充，能本 乙彦：超音波技術便覧 (日刊工業新聞社)
- (7) 富士 岳：イラストで学ぶ非破壊試験入門 (社団法人神奈川県高圧ガス協会)

添 付 資 料

添付資料 1 塗装膜厚計測記録

添付資料 2 探傷感度及び距離振幅特性曲線

添付資料 3 超音波探傷試験記録



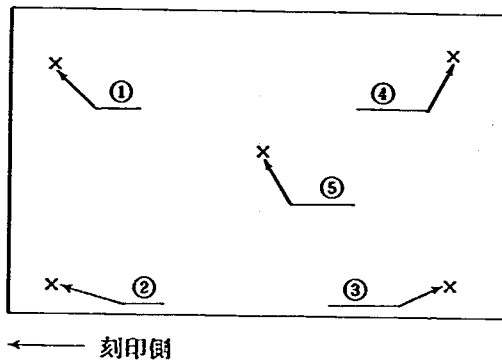
添 付 資 料 1

塗装膜厚計測記録

9. 膜厚記録

BLOCK-I 塗装膜厚記録

測定位置



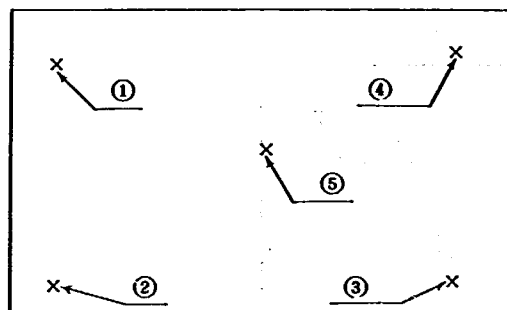
	工 程	塗 料 名	①	②	③	④	⑤
a	1 次 プ ラ イ マ	長 暴 形 ウォシシュプライマ	12	12	10	14	10
b	第1層 (下塗) × 1回	鉛系 錆止 塗料 1 種	40	40	35	38	35
c	第2層 "	"	75	75	65	73	65
d	第3層 (中塗) × 1回	合成樹脂調合 ペイント中塗用 2 種	105	115	98	117	110
e	第4層 (上塗) × 1回	" ペイント上塗用 2 種	170	180	150	160	140
d	第5層 (中塗) × 1回	" 中 塗 用 2 種	250	235	260	210	205
e	第6層 (上塗) × 3回	" 上 塗 用 2 種	450	470	470	470	480

(単位: μ)

測定器: 膜厚計 EMEC MODEL AD-605 W

BLOCK-II 塗装膜厚記録

測定位置



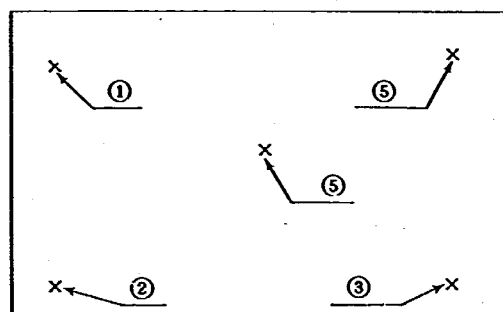
	工 程	塗 料 名	①	②	③	④	⑤
a	1 次 プ ラ イ マ	長 暴 形 ウォシシュプライマ	13	10	10	14	12
b	第1層 (下塗) × 1 回	鉛系 錆止 塗料 1 種	38	35	40	40	35
c	第2層 "	"	73	70	70	75	65
d	第3層 (中塗) × 1 回	合成樹脂調合 ペイント中塗用 2 種	117	100	110	105	118
e	第4層 (上塗) × 1 回	" ペイント上塗用 2 種	180	150	160	140	170
d	第5層 (中塗) × 1 回	" 中 塗 用 2 種	245	205	225	210	230
e	第6層 (上塗) × 3 回	" 上 塗 用 2 種	610	800	600	750	600

(単位: μ)

測定器: 膜厚計 EMEC MODEL AD-605 W

BLOCK-Ⅱ 塗装膜厚記録

測定位置



← 刻印側

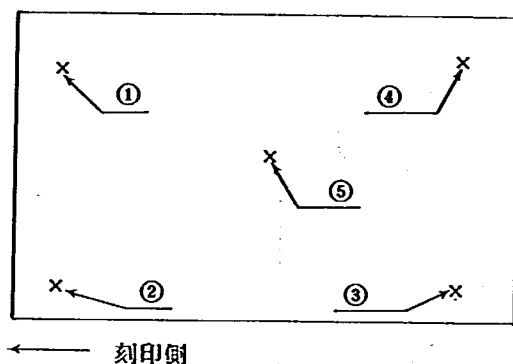
	工 程	塗 料 名	①	②	③	④	⑤
a	1 次 プ ラ イ マ	長 暴 形 ウォッシュプライマ	12	14	10	15	13
b	第 1 層 (下塗) × 1 回	鉛 系 錆 止 塗 料 1 種	35	38	40	42	40
c	第 2 層 " "	"	70	70	80	75	78
d	第 3 層 (中塗) × 1 回	合 成 樹 脂 調 合 ペ イ ン ト 中 塗 用 2 種	108	110	118	125	120
e	第 4 層 (上塗) × 1 回	" ペ イ ン ト 上 塗 用 2 種	150	145	150	170	160
d	第 5 層 (中塗) × 1 回	" 中 塗 用 2 種	210	225	205	245	230
e	第 6 層 (上塗) × 3 回	" 上 塗 用 2 種	480	680	710	700	560

(単位: μ)

測定器: 膜厚計 EMEC MODEL AD-605 W

150 μ 剥離 塗装膜厚記録

測定位置



	工 程	塗 料 名	①	②	③	④	⑤
a	1 次 プ ラ イ マ	長 暴 形 ウォッシュプライマ	10	15	13	10	13
b	第1層 (下塗) × 1回	鉛系 錆止 塗料 1 種	40	42	35	35	38
c	第2層 "	"	75	78	68	68	70
d	第3層 (中塗) × 1回	合成樹脂調合 ペイント中塗用 2 種	112	120	110	108	114
e	第4層 (上塗) × 1回	" ペイント上塗用 2 種	165	168	158	152	158
d	第5層 (中塗) × 1回	" 中 塗 用 2 種	X				
e	第6層 (上塗) × 3回	" 上 塗 用 2 種					

(単位: μ)

測定器: 膜厚計 EMEC MODEL AD-605 W

添 付 資 料 2

探傷感度及び距離振幅特性曲線

1944

1944

探傷器 Instrument

形式名称 Type, Name USL-32製造番号 Serial No. 25620/4932

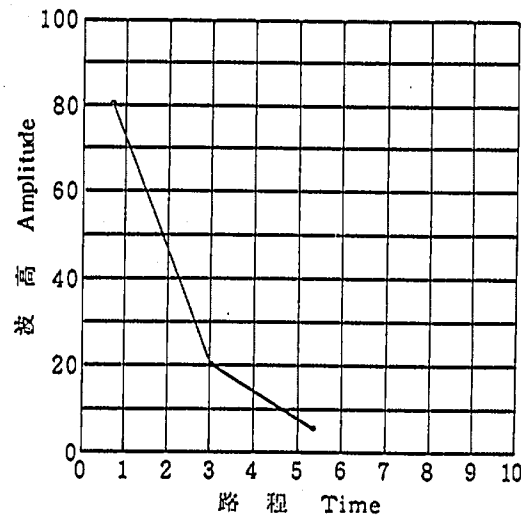
探触子 Search Unit

形式名称 Type, Name 5 Z 10 × 10 A 45製造番号 Serial No. N-113寸法 Size 10 × 10周波数 Frequency 5 MHz屈折角 Angle (Nominal/Actual) 45°/45.0°

機器調度 Instrument Setting

Test Range - Velocity -Pulse Pos. - Reject OFFGain/Att. 44dB Com. -T.C.G. -

接触媒質 Couplant

☐ Water ☐ Glycerine☐ Polybutene HV-15 ☒ Other ソニコート

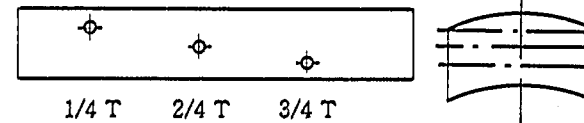
路程全幅

Full Scale 100 mm

標準試験片番号

Ref. Block No. RB-I探傷方法 縦波 ☐ 横波 ☒Search. method Long ☐ Shear ☒ 45°

配管内の水 あり なし

Water in Piping Yes ☐ No ☒

キャリブレーションスケッチ Calibration Sketch

備考

Remarks -

審査

Reviewed by _____ SNT Level _____ Date _____

キャリブレーション Calibration		再チェック Recheck							
日付および時間 Date & Time		1/4 T	2/4 T	3/4 T	5/4 T				
結果 Result	波高 Amp.	80 %	50 %	20 %	6 %				
	路程 Time	8	19	30	54				
温度チェック Temp. Check									
検査員 Examiner									

添付資料 2-2 RB-II による探傷感度および距離振幅特性曲線

工事番号 WORK NO.

工事名称 WORK NAME
超音波探傷試験の欠陥エコーに関する調査検討

SHEET NO.

探傷器 Instrument

形式名称 Type, Name USL-32
製造番号 Serial No. 25620/4932

探触子 Search Unit

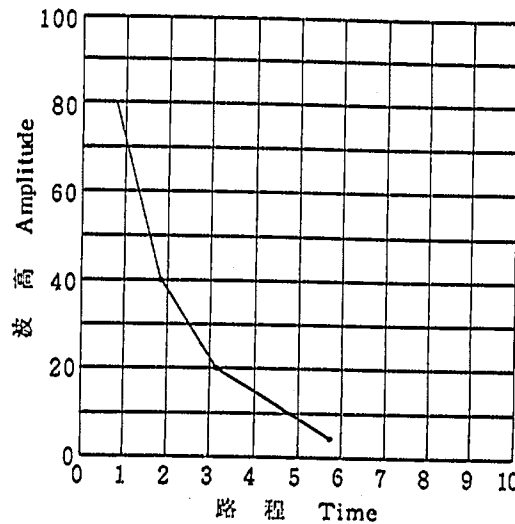
形式名称 Type, Name 5 Z 10 × 10 A 45
製造番号 Serial No. N-467
寸法 Size 10 × 10
周波数 Frequency 5 MHz
屈折角 Angle (Nominal/Actual) 45°/44.5°

機器調度 Instrument Setting

Test Range — Velocity —
Pulse Pos. — Reject OFF
Gain/Att. 42dB Com. —
T.C.G. —

接触媒質 Couplant

☐ Water ☐ Glycerine
☐ Polybutene HV-15 ☒ Other ソニコート



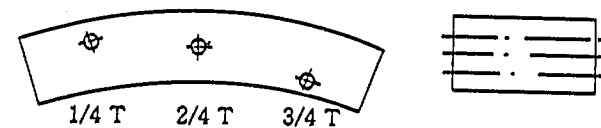
路程全幅
Full Scale 100 mm

標準試験片番号

Ref. Block No. RB-II

探傷方法 縦波 横波
Search method Long ☐ Shear ☒ 45°

配管内の水 あり なし
Water in Piping Yes ☐ No ☒



キャリブレーションスケッチ Calibration Sketch

備考

Remarks —

審査

Reviewed by — SNT Level — Date —

		キャリブレーション Calibration	再チェック Recheck					
日付および時間 Date & Time			1/4 T	2/4 T	3/4 T	5/4 T		
結果 Result	波高 Amp.	<u>—</u>	80%	40%	20%	10%		
	路程 Time	<u>—</u>	8	18	31	58		
温度チェック Temp. Check								
検査員 Examiner								

備考：距離振幅特性曲線

同一欠陥でも、エコー高さはビーム路程によって変化する。これを距離振幅特性といい、この変化の様子を表した曲線を距離振幅特性曲線という。ここで距離とはビーム路程（目盛板横軸）のことを、振幅とはエコー高さ（目盛板縦軸）のことを指している。

振動子から送信された超音波ビームは、一定の指向角をもって拡がってゆくため距離が遠くなると単位面積当たりの超音波の強さが弱くなり、反射源からのエコーも高さが低くなっていく。したがって、超音波で欠陥を評価する場合、必ずこの距離振幅特性を考慮しなければならない。距離振幅特性曲線は標準欠陥を種々の距離から探傷して、それぞれのエコー高さをプロットし、各プロット点をつないでゆくことによって求められる。

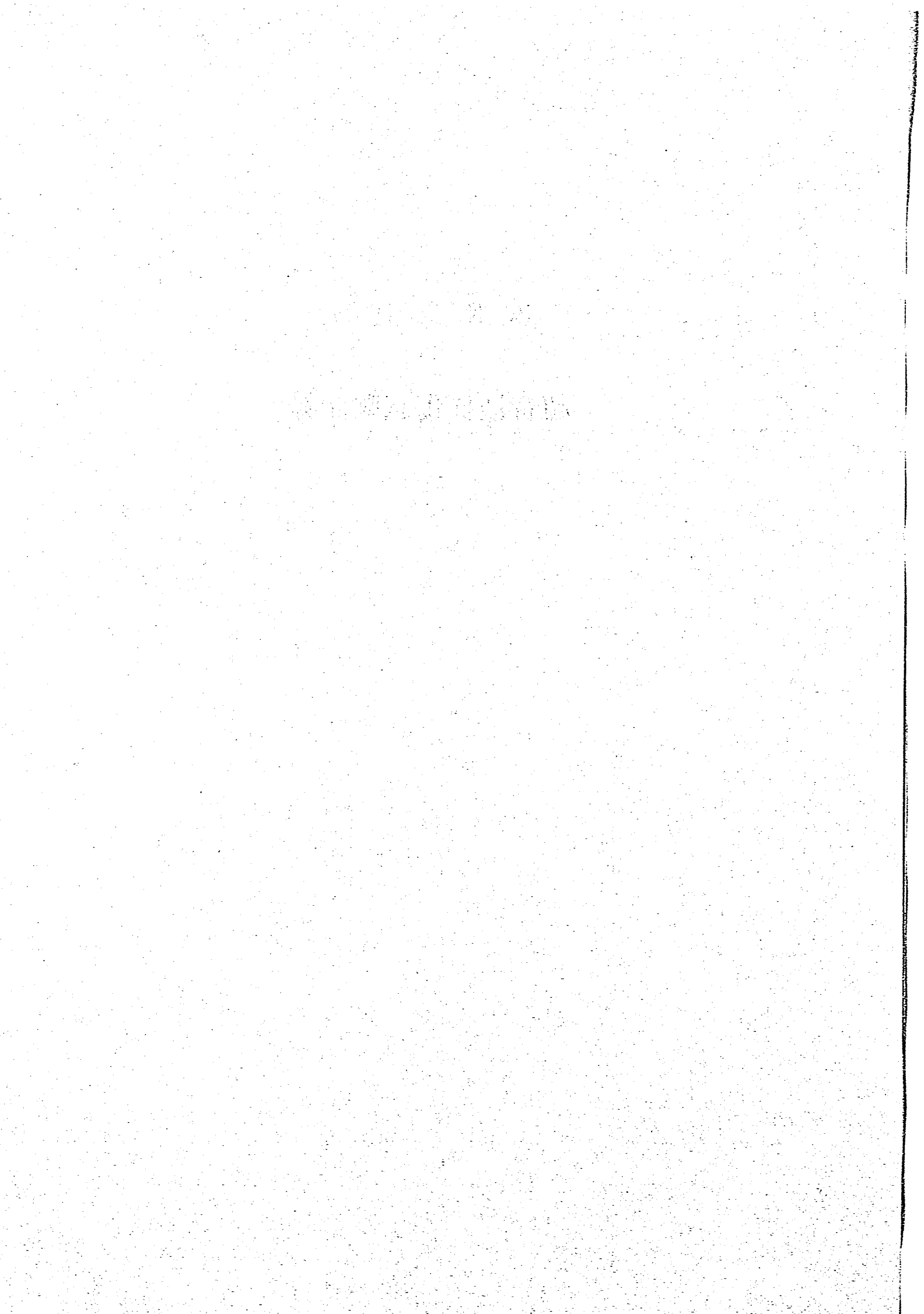
距離振幅特性曲線は、欠陥の種類、大きさ、形状、探触子の周波数、屈折角、探傷器および試験体の材質などによって異なる。したがって、実際に使用する探触子で作成することが必要であり、またどの標準欠陥によって描くかは、各規格によって規定されている。

例えば、6～7ページの距離振幅特性曲線は、探傷器USL32（S/N 25620/4932）に探触子5Z10×10A45（S/N=N-113）を接続した時、RB-Iに導入した直径3mmの横穴から反射して戻ってくるエコー高さは、ビーム路程が変わると図及び表に示すように変化することを示す。

つまりφ3mmと寸法が一定の欠陥でも、ビーム路程が長くなればエコー高さは小さく現れるので、予めその変化を知っておくために距離振幅特性曲線を作成しておく必要がある。

添 付 資 料 3

超音波探傷試験記録



添付資料3-1 BLOCK-Iの超音波探傷記録

UT 超 音 波 探 傷 検 査 記 録 H 3 年 1 月 19 日					
コ ー ド	項 目	基 本 数 量			
分類	項目 No	B L O C K - I			
	超音波探傷試験の欠陥エコーに関する調査検討				
適用規格	J I S Z 2344	周波数 5 MHZ			
探傷方法	一探触子斜角法	感度 RB-I 3φ横穴 1/4 T=80%			
使用機器	USL-32 25520/5407	パルス巾 —			
対比試験片	STB-A1. A2. A3	ゲイン 44dB			
	RB-I	リジェクトコントロール OFF			
探触子及びサイズ	5 Z 10×10A45 N-113 (軸方向)	接触媒体 ソニコート			
板厚	30t	検査担当者 I I C 担当者			
表面状態	☐ 溶接のまま ☐ 研削仕上 ☐ 旋盤加工 ☐ 塗装				
符 号	部 品 名 称	材 質 外径×厚さ	検 査 箇所数	結 果	備 考
No 1	巾×長さ×深さ=1×60×20	遠心铸造鋼管	①~⑦ ×⊕⊖	別 紙	
No 2	1×30×10	"	①~③ ×⊕⊖	"	
No 3	1×15×5	"	①~③ ×⊕⊖	"	

略 図

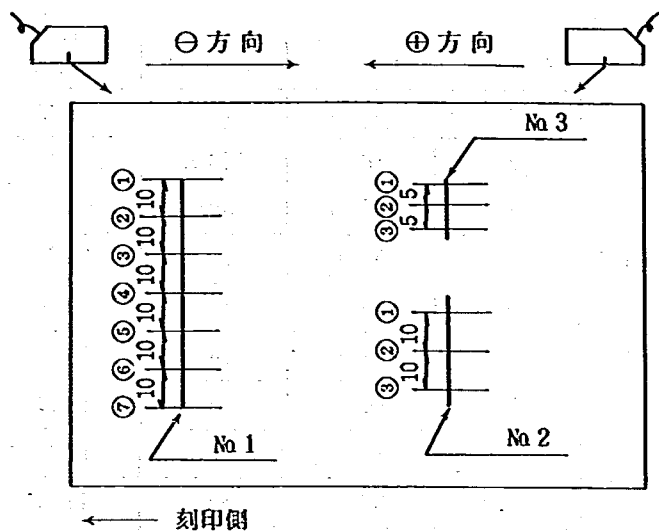
The diagram illustrates the ultrasonic testing setup for three test pieces. Test piece No. 1 is a rectangular block with dimensions 60mm (length) x 1mm (width) x 20mm (depth). It has seven probe positions marked ① through ⑦. Test piece No. 2 is a rectangular block with dimensions 50mm (length) x 1mm (width) x 10mm (depth). It has three probe positions marked ① through ③. Test piece No. 3 is a rectangular block with dimensions 15mm (length) x 1mm (width) x 5mm (depth). It has three probe positions marked ① through ③. The diagram also shows the scanning direction (Θ方向) and the probe direction (軸方向).



数值 (CRT波高値) は平均値

※割額 150 〇付エコー検出サボ

BLOCK-I



Θ 方向	塗 装 な し			ビーム 路程	剥離 150μ	塗 装 150 μ		ビーム 路程	塗装500μ	ビーム 路程
	室 温 16 ℃		4 ℃ 油 あり		室 温 油 なし	室 温 油 なし	室 温 油 あり		室 温 油 あり	
	油 なし	油 あり								
No 1 ①	41 %	38 %	46 %	43	※	31 %	35 %	44	9 %	45
②	61 %	59 %	71 %	43	↑	47 %	53 %	44	12 %	45
③	59 %	50 %	56 %	42		47 %	47 %	42	15 %	44
④	63 %	59 %	62 %	43		51 %	55 %	43	12 %	47
⑤	47 %	40 %	45 %	43		39 %	37 %	44	13 %	47
⑥	33 %	32 %	37 %	44		29 %	30 %	45	13 %	45
⑦	28 %	28 %	28 %	44		24 %	28 %	44	6 %	46
No 2 ①	74 %	61 %	74 %	43		↓	52 %	50 %	44	20 %
②	36 %	28 %	35 %	43	21 %		18 %	44	13 %	45
③	36 %	30 %	36 %	42	29 %		22 %	43	11 %	46
No 3 ①	29 %	19 %	25 %	42	※	20 %	16 %	43	4 %	45
②	57 %	47 %	62 %	43		39 %	40 %	45	15 %	44
③	74 %	61 %	82 %	43		50 %	50 %	45	21 %	44

数値 (CRT波高値) は平均値

使用探触子：軸方向 (No 113)

※剥離 150 μ はエコー検出せず

BLOCK-I

塗装なし 室温16℃ 油なし

⊕ 方向	A - 1	B - 1	A - 2	B - 2	A - 3	平均 値
№ 1 ①	68 %	68 %	64 %	54 %	70 %	67 %
②	96 %	94 %	86 %	78 %	100 %	92 %
③	70 %	66 %	68 %	62 %	80 %	68 %
④	46 %	43 %	60 %	69 %	70 %	58 %
⑤	60 %	60 %	56 %	55 %	70 %	59 %
⑥	70 %	68 %	72 %	67 %	74 %	70 %
⑦	28 %	28 %	47 %	56 %	75 %	43 %
№ 2 ①	81 %	76 %	76 %	72 %	80 %	77 %
②	46 %	44 %	42 %	38 %	54 %	44 %
③	50 %	50 %	48 %	44 %	63 %	49 %
№ 3 ①	49 %	50 %	54 %	52 %	50 %	51 %
②	63 %	54 %	56 %	50 %	68 %	58 %
③	58 %	57 %	58 %	56 %	62 %	58 %

平均値は最大値と最小値をカットし3回の測定値の平均を示す。

BLOCK-I

塗装なし 室温16℃ 油なし

⊖ 方向	A - 1	B - 1	A - 2	B - 2	A - 3	平均 値
№ 1 ①	41 %	40 %	42 %	38 %	50 %	41 %
②	56 %	54 %	64 %	62 %	76 %	61 %
③	60 %	57 %	50 %	60 %	65 %	59 %
④	64 %	58 %	70 %	63 %	63 %	63 %
⑤	47 %	45 %	48 %	46 %	50 %	47 %
⑥	32 %	30 %	34 %	34 %	38 %	33 %
⑦	27 %	28 %	29 %	31 %	28 %	28 %
№ 2 ①	76 %	70 %	46 %	76 %	90 %	74 %
②	40 %	47 %	27 %	33 %	34 %	36 %
③	38 %	34 %	33 %	35 %	45 %	36 %
№ 3 ①	22 %	28 %	28 %	30 %	38 %	29 %
②	60 %	56 %	46 %	55 %	66 %	57 %
③	68 %	76 %	76 %	70 %	83 %	74 %

平均値は最大値と最小値をカットし3回の測定値の平均を示す。

BLOCK-I

塗装なし 室温16℃ 油なし

⊕ 方向	A - 1	B - 1	A - 2	B - 2	A - 3	平均値
№ 1 ①	51 %	54 %	52 %	55 %	68 %	54 %
②	79 %	70 %	74 %	80 %	95 %	78 %
③	63 %	58 %	60 %	60 %	78 %	61 %
④	65 %	62 %	61 %	66 %	83 %	64 %
⑤	47 %	46 %	53 %	56 %	70 %	52 %
⑥	54 %	58 %	56 %	63 %	73 %	59 %
⑦	46 %	42 %	24 %	53 %	74 %	47 %
№ 2 ①	56 %	62 %	63 %	64 %	80 %	63 %
②	40 %	38 %	37 %	40 %	53 %	39 %
③	40 %	42 %	48 %	46 %	63 %	45 %
№ 3 ①	48 %	49 %	47 %	44 %	48 %	48 %
②	50 %	43 %	50 %	56 %	67 %	52 %
③	52 %	50 %	49 %	56 %	61 %	53 %

平均値は最大値と最小値をカットし3回の測定値の平均を示す。

BLOCK-I

塗装なし 室温16℃ 油あり

⊖ 方向	A - 1	B - 1	A - 2	B - 2	A - 3	平均値
№ 1 ①	38 %	35 %	36 %	40 %	48 %	38 %
②	62 %	50 %	63 %	52 %	74 %	59 %
③	49 %	50 %	46 %	52 %	60 %	50 %
④	64 %	60 %	56 %	48 %	60 %	59 %
⑤	34 %	40 %	41 %	40 %	48 %	40 %
⑥	30 %	29 %	33 %	33 %	34 %	32 %
⑦	28 %	28 %	29 %	25 %	27 %	28 %
№ 2 ①	56 %	59 %	65 %	60 %	87 %	61 %
②	22 %	28 %	27 %	28 %	33 %	28 %
③	26 %	32 %	28 %	30 %	42 %	30 %
№ 3 ①	18 %	24 %	16 %	15 %	36 %	19 %
②	43 %	40 %	50 %	48 %	64 %	47 %
③	52 %	60 %	63 %	60 %	82 %	61 %

平均値は最大値と最小値をカットし3回の測定値の平均を示す。

BLOCK-I

塗装なし 室温 4℃ 油あり

⊕ 方向	A - 1	B - 1	A - 2	B - 2	A - 3	平均値
No 1 ①	65 %	69 %	67 %	78 %	67 %	68 %
②	95 %	93 %	98 %	104 %	94 %	96 %
③	76 %	76 %	75 %	85 %	74 %	76 %
④	75 %	76 %	80 %	81 %	80 %	79 %
⑤	66 %	60 %	64 %	67 %	69 %	66 %
⑥	74 %	72 %	78 %	74 %	74 %	74 %
⑦	63 %	58 %	45 %	63 %	74 %	61 %
No 2 ①	69 %	70 %	72 %	70 %	81 %	71 %
②	47 %	43 %	45 %	45 %	53 %	46 %
③	42 %	48 %	52 %	56 %	60 %	52 %
No 3 ①	52 %	58 %	46 %	42 %	47 %	48 %
②	44 %	56 %	56 %	52 %	68 %	55 %
③	55 %	60 %	55 %	50 %	62 %	57 %

平均値は最大値と最小値をカットし 3 回の測定値の平均を示す。

BLOCK-I

塗装なし 室温 4℃ 油あり

⊖ 方向	A - 1	B - 1	A - 2	B - 2	A - 3	平均値
No 1 ①	43 %	42 %	47 %	49 %	48 %	46 %
②	68 %	72 %	44 %	72 %	74 %	71 %
③	46 %	55 %	58 %	56 %	60 %	56 %
④	62 %	68 %	52 %	64 %	60 %	62 %
⑤	36 %	46 %	40 %	49 %	48 %	45 %
⑥	39 %	38 %	35 %	37 %	34 %	37 %
⑦	32 %	34 %	26 %	26 %	24 %	28 %
No 2 ①	76 %	63 %	72 %	73 %	87 %	74 %
②	40 %	40 %	31 %	32 %	34 %	35 %
③	37 %	36 %	30 %	35 %	43 %	36 %
No 3 ①	20 %	28 %	18 %	26 %	34 %	25 %
②	62 %	53 %	65 %	62 %	63 %	62 %
③	80 %	74 %	84 %	85 %	82 %	82 %

平均値は最大値と最小値をカットし 3 回の測定値の平均を示す。

BLOCK-I

塗装 150 μ 室温16℃ 油なし

⊕ 方向	B - 1	A - 1	B - 2	A - 2	B - 3	平均値
No 1 ①	40 %	42 %	42 %	43 %	39 %	41 %
②	50 %	58 %	60 %	60 %	64 %	59 %
③	46 %	40 %	48 %	45 %	40 %	44 %
④	50 %	52 %	53 %	48 %	50 %	51 %
⑤	43 %	48 %	46 %	42 %	44 %	44 %
⑥	43 %	50 %	48 %	45 %	46 %	46 %
⑦	19 %	20 %	18 %	42 %	44 %	27 %
No 2 ①	44 %	58 %	50 %	48 %	50 %	49 %
②	26 %	30 %	32 %	30 %	28 %	29 %
③	42 %	50 %	45 %	42 %	36 %	43 %
No 3 ①	30 %	30 %	40 %	28 %	27 %	29 %
②	44 %	54 %	42 %	53 %	54 %	50 %
③	48 %	50 %	46 %	48 %	56 %	49 %

平均値は最大値と最小値をカットし3回の測定値の平均を示す。

BLOCK-I

塗装 150 μ 室温16℃ 油なし

⊖ 方向	B - 1	A - 1	B - 2	A - 2	B - 3	平均値
No 1 ①	30 %	33 %	31 %	32 %	30 %	31 %
②	46 %	44 %	52 %	34 %	52 %	47 %
③	38 %	50 %	50 %	48 %	42 %	47 %
④	48 %	52 %	47 %	54 %	52 %	51 %
⑤	38 %	40 %	38 %	38 %	40 %	39 %
⑥	25 %	31 %	30 %	26 %	30 %	29 %
⑦	24 %	26 %	23 %	24 %	25 %	24 %
No 2 ①	45 %	53 %	54 %	52 %	52 %	52 %
②	17 %	30 %	24 %	22 %	18 %	21 %
No 3 ③	20 %	28 %	30 %	28 %	32 %	29 %
①	22 %	23 %	17 %	20 %	18 %	20 %
②	40 %	40 %	38 %	35 %	42 %	39 %
③	52 %	50 %	49 %	50 %	46 %	50 %

平均値は最大値と最小値をカットし3回の測定値の平均を示す。

BLOCK-I

塗装 150 μ 室温 16℃ 油あり

⊕ 方向	A - 1	B - 1	A - 2	B - 2	A - 3	平均 値
№ 1 ①	45 %	44 %	43 %	46 %	41 %	44 %
②	60 %	54 %	55 %	56 %	52 %	55 %
③	54 %	50 %	46 %	48 %	47 %	48 %
④	60 %	53 %	54 %	52 %	51 %	53 %
⑤	43 %	44 %	42 %	42 %	40 %	42 %
⑥	48 %	46 %	44 %	42 %	41 %	44 %
⑦	20 %	18 %	36 %	17 %	40 %	25 %
№ 2 ①	50 %	47 %	45 %	47 %	46 %	47 %
②	28 %	30 %	24 %	26 %	25 %	26 %
③	42 %	37 %	41 %	35 %	42 %	40 %
№ 3 ①	31 %	42 %	25 %	38 %	22 %	31 %
②	60 %	34 %	52 %	44 %	47 %	48 %
③	53 %	50 %	50 %	47 %	48 %	49 %

平均値は最大値と最小値をカットし 3 回の測定値の平均を示す。

BLOCK-I

塗装 150 μ 室温 16℃ 油あり

⊖ 方向	A - 1	B - 1	A - 2	B - 2	A - 3	平均 値
№ 1 ①	40 %	34 %	35 %	36 %	33 %	35 %
②	50 %	58 %	56 %	43 %	53 %	53 %
③	48 %	49 %	26 %	46 %	46 %	47 %
④	60 %	56 %	56 %	50 %	53 %	55 %
⑤	40 %	38 %	36 %	38 %	35 %	37 %
⑥	30 %	30 %	32 %	30 %	28 %	30 %
⑦	30 %	28 %	28 %	28 %	28 %	27 %
№ 2 ①	58 %	47 %	50 %	48 %	52 %	50 %
②	32 %	18 %	18 %	18 %	14 %	18 %
③	17 %	26 %	30 %	22 %	18 %	22 %
№ 3 ①	16 %	16 %	12 %	23 %	16 %	16 %
②	40 %	34 %	41 %	40 %	40 %	40 %
③	45 %	50 %	50 %	50 %	51 %	50 %

平均値は最大値と最小値をカットし 3 回の測定値の平均を示す。

BLOCK-I

塗装 500 μ 室温16℃ 油あり

⊕ 方向	B - 1	A - 1	B - 2	A - 2	B - 3	平均値
No 1 ①	16 %	16 %	15 %	16 %	15 %	16 %
②	25 %	20 %	25 %	27 %	21 %	24 %
③	18 %	20 %	17 %	17 %	18 %	18 %
④	17 %	20 %	18 %	12 %	18 %	18 %
⑤	19 %	20 %	17 %	17 %	18 %	18 %
⑥	23 %	25 %	18 %	26 %	21 %	23 %
⑦	12 %	17 %	11 %	20 %	17 %	15 %
No 2 ①	23 %	22 %	21 %	15 %	21 %	21 %
②	15 %	13 %	12 %	16 %	13 %	14 %
③	16 %	20 %	14 %	18 %	13 %	16 %
No 3 ①	8 %	10 %	11 %	10 %	10 %	10 %
②	15 %	19 %	20 %	19 %	19 %	19 %
③	14 %	15 %	16 %	13 %	14 %	14 %

平均値は最大値と最小値をカットし3回の測定値の平均を示す。

BLOCK-I

塗装 500 μ 室温16℃ 油あり

⊖ 方向	B - 1	A - 1	B - 2	A - 2	B - 3	平均値
No 1 ①	7 %	10 %	8 %	11 %	10 %	9 %
②	12 %	10 %	16 %	12 %	12 %	12 %
③	13 %	15 %	12 %	18 %	16 %	15 %
④	11 %	12 %	12 %	12 %	13 %	12 %
⑤	12 %	13 %	13 %	13 %	13 %	13 %
⑥	12 %	11 %	14 %	15 %	12 %	13 %
⑦	6 %	8 %	5 %	7 %	6 %	6 %
No 2 ①	19 %	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %
②	10 %	12 %	14 %	13 %	13 %	13 %
③	12 %	8 %	13 %	6 %	12 %	11 %
No 3 ①	3 %	2 %	5 %	4 %	6 %	4 %
②	12 %	16 %	13 %	16 %	17 %	15 %
③	22 %	24 %	16 %	22 %	19 %	21 %

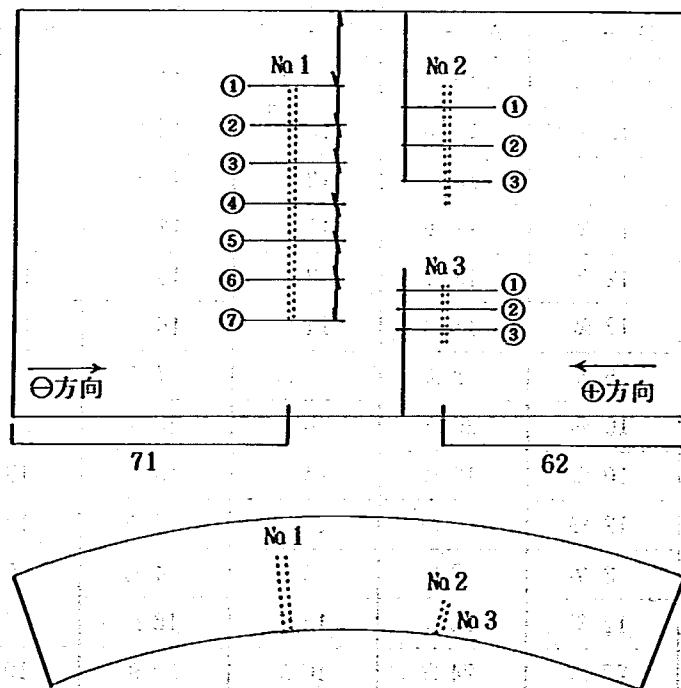
平均値は最大値と最小値をカットし3回の測定値の平均を示す。

添付資料 3-1 BLOCK-I の超音波探傷記録

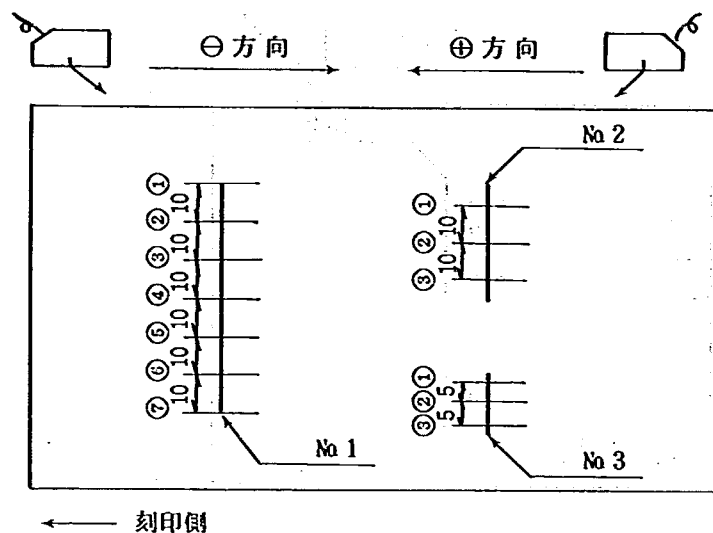
UT 超 音 波 探 傷 検 査 記 録 H 3 年 1 月 19 日					
コ ー ド		項 目	基 本 数 量		
分類	項目 No	超音波探傷試験の欠陥エコーに関する調査検討	BLOCK-I		
適用規格		JIS Z 2344	周波数 5 MHZ		
探傷方法		一探触子斜角法	感度 RB-I 3φ横穴 1/4 T=80%		
使用機器		USL-32 25520/5407	パルス巾 -		
対比試験片		STB-A1. A2. A3 RB-I	ゲイン 44dB リジェクトコントロール OFF		
探触子及びサイズ		5 Z10×10A45 N-113 (粘方向)	接触媒体 ソニコート		
板厚		30t	検査担当者 IIC担当者		
表面状態		☐ 溶接のまま ☐ 研削仕上 ☐ 施盤加工 ☐ 塗装			
符 号	部 品 名 称	材 質 外径×厚さ	検 査 箇所数	結 果	備 考
No 1	巾×長さ×深さ=1×60×20	遠心铸造钢管	①~⑦ ×⊕⊖	別 紙	
No 2	1×30×10	"	①~③ ×⊕⊖	"	
No 3	1×15×5	"	①~③ ×⊕⊖	"	

略 図

周方向



BLOCK-Ⅱ



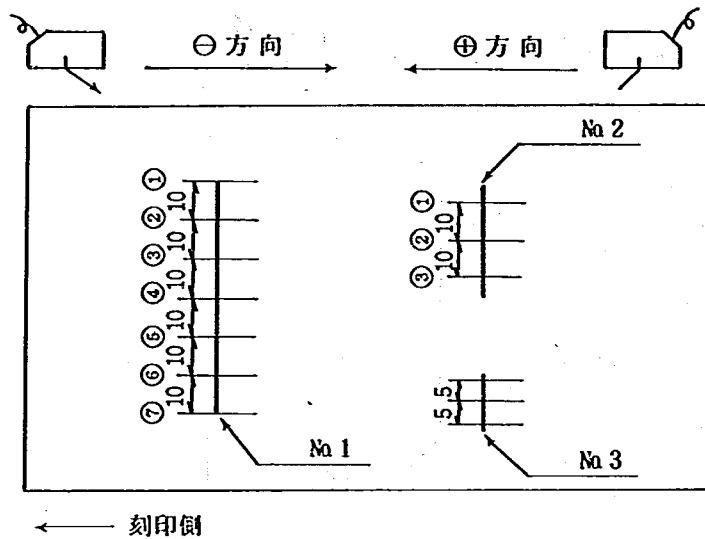
⊕ 方向	塗 装 な し			ビーム 路程	剥離 150 μ	塗 装 150 μ		ビーム 路程	塗装 500 μ	ビーム 路程
	室 温 16 $^{\circ}$ C		4 $^{\circ}$ C		室 温	室 温	室 温		室 温	
	油 な し	油 あり	油 あり		油 な し	油 な し	油 あり		油 あり	
No 1 ①	16 %	15 %	20 %	48	※	13 %	21 %	48	10 %	47
②	36 %	26 %	36 %	48	↑	24 %	20 %	49	10 %	48
③	57 %	46 %	54 %	47		47 %	45 %	47	13 %	48
④	69 %	53 %	64 %	46		56 %	48 %	47	16 %	48
⑤	49 %	39 %	49 %	46		33 %	30 %	47	15 %	48
⑥	32 %	29 %	34 %	47		22 %	23 %	48	16 %	48
⑦	15 %	14 %	17 %	46		12 %	14 %	47	6 %	50
No 2 ①	58 %	49 %	55 %	46		40 %	35 %	47	10 %	48
②	45 %	40 %	44 %	47		27 %	25 %	48	7 %	49
③	33 %	29 %	30 %	47		22 %	18 %	48	6 %	48
No 3 ①	20 %	20 %	19 %	48		12 %	13 %	49	6 %	47
②	29 %	26 %	27 %	49	↓	22 %	20 %	49	6 %	47
③	25 %	21 %	23 %	47	※	20 %	17 %	47	8 %	48

数値 (CRT波高値) は平均値

使用探触子：周方向 (No 467)

※剥離 150 μ はエコー検出せず

BLOCK-II



Θ 方向	塗 装 な し			ビーム 路程	剥離 150μ	塗 装 150 μ			ビーム 路程	塗装 500μ	ビーム 路程
	室 温 16 °C		4 °C		室 温 油 な し	室 温 油 な し	室 温 油 あり	室 温 油 あり			
	油 な し	油 あり									
No 1 ①	26 %	26 %	29 %	48	※	18 %	26 %	49	3 %	50	
②	57 %	52 %	57 %	46	↑	42 %	38 %	47	5 %	48	
③	84 %	72 %	76 %	45		62 %	57 %	46	10 %	47	
④	54 %	45 %	47 %	46		41 %	40 %	47	9 %	48	
⑤	46 %	37 %	35 %	45		35 %	30 %	46	15 %	47	
⑥	41 %	32 %	36 %	44		33 %	29 %	45	16 %	45	
⑦	17 %	17 %	21 %	45		19 %	21 %	45	6 %	46	
No 2 ①	37 %	27 %	31 %	46		28 %	22 %	46	8 %	45	
②	33 %	30 %	33 %	46		25 %	25 %	47	11 %	48	
③	44 %	35 %	37 %	46		34 %	34 %	47	16 %	48	
No 3 ①	29 %	24 %	34 %	44		25 %	24 %	45	9 %	48	
②	33 %	29 %	32 %	45	↓	26 %	27 %	46	13 %	49	
③	20 %	19 %	19 %	45	※	20 %	19 %	45	9 %	48	

数値 (CRT波高値) は平均値

使用探触子: 周方向 (No. 467)

※剥離 150 μ はエコー検出せず

BLOCK-II

塗装なし 室温16℃ 油なし

⊕ 方向	A - 1	B - 1	A - 2	B - 2	A - 3	平均値
No 1 ①	15 %	14 %	18 %	15 %	28 %	16 %
②	34 %	35 %	36 %	37 %	40 %	36 %
③	55 %	57 %	57 %	58 %	60 %	57 %
④	70 %	68 %	62 %	72 %	68 %	69 %
⑤	46 %	45 %	50 %	50 %	54 %	49 %
⑥	32 %	32 %	31 %	32 %	36 %	32 %
⑦	12 %	13 %	15 %	16 %	22 %	15 %
No 2 ①	56 %	59 %	54 %	60 %	61 %	58 %
②	45 %	45 %	43 %	44 %	46 %	45 %
③	31 %	32 %	33 %	33 %	40 %	33 %
No 3 ①	17 %	20 %	21 %	22 %	20 %	20 %
②	16 %	30 %	29 %	28 %	31 %	29 %
③	18 %	28 %	22 %	25 %	38 %	25 %

平均値は最大値と最小値をカットし3回の測定値の平均を示す。

BLOCK-II

塗装なし 室温16℃ 油なし

⊖ 方向	A - 1	B - 1	A - 2	B - 2	A - 3	平均値
No 1 ①	22 %	26 %	26 %	26 %	38 %	26 %
②	58 %	54 %	58 %	56 %	60 %	57 %
③	80 %	86 %	87 %	88 %	79 %	84 %
④	50 %	52 %	54 %	56 %	62 %	54 %
⑤	46 %	46 %	44 %	50 %	45 %	46 %
⑥	40 %	37 %	44 %	45 %	38 %	41 %
⑦	20 %	15 %	12 %	16 %	44 %	17 %
No 2 ①	41 %	38 %	32 %	34 %	40 %	37 %
②	32 %	34 %	28 %	32 %	36 %	33 %
③	39 %	44 %	44 %	44 %	50 %	44 %
No 3 ①	28 %	31 %	25 %	28 %	30 %	29 %
②	31 %	32 %	32 %	34 %	40 %	33 %
③	19 %	14 %	20 %	20 %	34 %	20 %

平均値は最大値と最小値をカットし3回の測定値の平均を示す。

BLOCK-II

塗装なし 室温16℃ 油あり

⊕ 方向	A - 1	B - 1	A - 2	B - 2	A - 3	平均 値
№ 1 ①	13 %	14 %	16 %	16 %	28 %	15 %
②	32 %	28 %	18 %	19 %	38 %	26 %
③	46 %	46 %	40 %	45 %	50 %	46 %
④	58 %	52 %	50 %	47 %	60 %	53 %
⑤	43 %	38 %	36 %	35 %	54 %	39 %
⑥	30 %	28 %	30 %	26 %	40 %	29 %
⑦	17 %	14 %	12 %	11 %	22 %	14 %
№ 2 ①	48 %	50 %	48 %	46 %	58 %	49 %
②	41 %	40 %	38 %	37 %	46 %	40 %
③	30 %	27 %	31 %	26 %	30 %	29 %
№ 3 ①	20 %	20 %	20 %	18 %	20 %	20 %
②	26 %	26 %	27 %	24 %	28 %	26 %
③	18 %	20 %	22 %	20 %	30 %	21 %

平均値は最大値と最小値をカットし3回の測定値の平均を示す。

BLOCK-II

塗装なし 室温16℃ 油あり

⊖ 方向	A - 1	B - 1	A - 2	B - 2	A - 3	平均 値
№ 1 ①	28 %	26 %	23 %	24 %	30 %	26 %
②	52 %	48 %	56 %	47 %	57 %	52 %
③	40 %	72 %	74 %	70 %	78 %	72 %
④	46 %	40 %	46 %	42 %	54 %	45 %
⑤	36 %	40 %	36 %	40 %	36 %	37 %
⑥	32 %	35 %	30 %	28 %	38 %	32 %
⑦	12 %	18 %	17 %	16 %	40 %	17 %
№ 2 ①	26 %	28 %	25 %	27 %	38 %	27 %
②	30 %	34 %	25 %	26 %	36 %	30 %
③	33 %	34 %	36 %	34 %	46 %	35 %
№ 3 ①	23 %	22 %	18 %	26 %	30 %	24 %
②	27 %	28 %	28 %	32 %	34 %	29 %
③	15 %	16 %	18 %	22 %	30 %	19 %

平均値は最大値と最小値をカットし3回の測定値を示す。

BLOCK-Ⅱ

塗装なし 室温 4℃ 油あり

⊕ 方向	A - 1	B - 1	A - 2	B - 2	A - 3	平均値
№ 1 ①	25 %	16 %	20 %	15 %	24 %	20 %
②	32 %	38 %	38 %	36 %	34 %	36 %
③	60 %	56 %	55 %	52 %	46 %	54 %
④	70 %	64 %	65 %	64 %	52 %	64 %
⑤	53 %	50 %	46 %	44 %	52 %	49 %
⑥	37 %	18 %	34 %	30 %	38 %	34 %
⑦	18 %	19 %	16 %	14 %	18 %	17 %
№ 2 ①	57 %	56 %	53 %	52 %	55 %	55 %
②	46 %	42 %	44 %	43 %	44 %	44 %
③	33 %	29 %	32 %	28 %	30 %	30 %
№ 3 ①	20 %	22 %	20 %	18 %	16 %	19 %
②	30 %	31 %	26 %	24 %	25 %	27 %
③	22 %	21 %	24 %	24 %	30 %	23 %

平均値は最大値と最小値をカットし 3 回の測定値の平均を示す。

BLOCK-Ⅱ

塗装なし 室温 4℃ 油あり

⊖ 方向	A - 1	B - 1	A - 2	B - 2	A - 3	平均値
№ 1 ①	28 %	32 %	22 %	28 %	34 %	29 %
②	58 %	62 %	50 %	54 %	60 %	57 %
③	80 %	81 %	70 %	72 %	75 %	76 %
④	48 %	50 %	47 %	46 %	40 %	47 %
⑤	40 %	28 %	39 %	38 %	26 %	35 %
⑥	38 %	36 %	32 %	36 %	35 %	36 %
⑦	20 %	18 %	24 %	17 %	40 %	21 %
№ 2 ①	34 %	32 %	24 %	26 %	35 %	31 %
②	40 %	32 %	29 %	30 %	36 %	33 %
③	38 %	27 %	34 %	41 %	40 %	37 %
№ 3 ①	33 %	35 %	34 %	34 %	28 %	34 %
②	32 %	34 %	29 %	30 %	36 %	32 %
③	22 %	17 %	16 %	18 %	34 %	19 %

平均値は最大値と最小値をカットし 3 回の測定値の平均を示す。

BLOCK-II

塗装 150 μ 室温 16℃ 油なし

⊕ 方向	A - 1	B - 1	A - 2	B - 2	A - 3	平均 値
No 1 ①	14 %	11 %	12 %	12 %	16 %	13 %
②	26 %	23 %	24 %	24 %	24 %	24 %
③	34 %	46 %	48 %	48 %	50 %	47 %
④	40 %	57 %	54 %	59 %	58 %	56 %
⑤	35 %	31 %	32 %	33 %	34 %	33 %
⑥	24 %	16 %	22 %	23 %	22 %	22 %
⑦	10 %	12 %	11 %	13 %	12 %	12 %
No 2 ①	41 %	33 %	40 %	40 %	43 %	40 %
②	24 %	26 %	25 %	30 %	31 %	27 %
③	22 %	20 %	22 %	22 %	23 %	22 %
No 3 ①	9 %	10 %	10 %	16 %	17 %	12 %
②	22 %	22 %	22 %	20 %	24 %	22 %
③	22 %	20 %	20 %	18 %	19 %	20 %

平均値は最大値と最小値をカットし 3 回の測定値の平均を示す。

BLOCK-II

塗装 150 μ 室温 16℃ 油なし

⊖ 方向	A - 1	B - 1	A - 2	B - 2	A - 3	平均 値
No 1 ①	12 %	17 %	26 %	14 %	24 %	18 %
②	42 %	38 %	42 %	44 %	42 %	42 %
③	64 %	60 %	58 %	62 %	70 %	62 %
④	42 %	38 %	40 %	42 %	44 %	41 %
⑤	30 %	29 %	38 %	37 %	40 %	35 %
⑥	32 %	29 %	34 %	32 %	35 %	33 %
⑦	20 %	21 %	16 %	18 %	18 %	19 %
No 2 ①	25 %	28 %	30 %	31 %	26 %	28 %
②	24 %	25 %	25 %	26 %	30 %	25 %
③	34 %	30 %	35 %	32 %	40 %	34 %
No 3 ①	27 %	24 %	26 %	22 %	24 %	25 %
②	26 %	26 %	26 %	26 %	28 %	26 %
③	20 %	18 %	20 %	20 %	26 %	20 %

平均値は最大値と最小値をカットし 3 回の測定値の平均を示す。

BLOCK-Ⅱ

塗装 150 μ 室温16℃ 油あり

⊕ 方向	B - 1	A - 1	B - 2	A - 2	B - 3	平均 値
№ 1 ①	22 %	21 %	21 %	20 %	25 %	21 %
②	20 %	22 %	19 %	20 %	18 %	20 %
③	38 %	44 %	47 %	46 %	46 %	45 %
④	40 %	51 %	47 %	50 %	48 %	48 %
⑤	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %
⑥	20 %	18 %	22 %	26 %	28 %	23 %
⑦	14 %	14 %	14 %	14 %	12 %	14 %
№ 2 ①	40 %	36 %	32 %	36 %	34 %	35 %
②	25 %	24 %	25 %	26 %	23 %	25 %
③	18 %	18 %	20 %	18 %	18 %	18 %
№ 3 ①	7 %	14 %	15 %	14 %	12 %	13 %
②	10 %	20 %	21 %	20 %	20 %	20 %
③	15 %	16 %	16 %	19 %	18 %	17 %

平均値は最大値と最小値をカットし3回の測定値の平均を示す。

BLOCK-Ⅱ

塗装 150 μ 室温16℃ 油あり

⊖ 方向	B - 1	A - 1	B - 2	A - 2	B - 3	平均 値
№ 1 ①	26 %	20 %	26 %	27 %	26 %	26 %
②	36 %	42 %	38 %	38 %	38 %	38 %
③	54 %	58 %	57 %	60 %	56 %	57 %
④	39 %	32 %	40 %	41 %	40 %	40 %
⑤	29 %	30 %	30 %	30 %	32 %	30 %
⑥	28 %	30 %	30 %	28 %	28 %	29 %
⑦	22 %	11 %	28 %	24 %	18 %	21 %
№ 2 ①	25 %	32 %	22 %	19 %	20 %	22 %
②	22 %	26 %	28 %	24 %	26 %	25 %
③	36 %	35 %	34 %	32 %	28 %	34 %
№ 3 ①	24 %	25 %	20 %	24 %	24 %	24 %
②	26 %	27 %	28 %	29 %	25 %	27 %
③	13 %	18 %	22 %	24 %	18 %	19 %

平均値は最大値と最小値をカットし3回の測定値の平均を示す。

BLOCK-II

塗装 500 μ 室温 16℃ 油あり

⊕ 方向	B - 1	A - 1	B - 2	A - 2	B - 3	平均 値
No 1 ①	16 %	9 %	12 %	7 %	10 %	10 %
②	6 %	10 %	9 %	11 %	10 %	10 %
③	16 %	12 %	20 %	11 %	10 %	13 %
④	18 %	15 %	19 %	6 %	16 %	16 %
⑤	15 %	15 %	19 %	16 %	14 %	15 %
⑥	18 %	16 %	19 %	15 %	14 %	16 %
⑦	6 %	5 %	6 %	5 %	6 %	6 %
No 2 ①	11 %	3 %	9 %	10 %	10 %	10 %
②	8 %	3 %	9 %	7 %	7 %	7 %
③	7 %	1 %	7 %	5 %	6 %	6 %
No 3 ①	7 %	3 %	8 %	6 %	6 %	6 %
②	12 %	2 %	8 %	3 %	6 %	6 %
③	9 %	6 %	11 %	8 %	8 %	8 %

平均値は最大値と最小値をカットし 3 回の測定値の平均を示す。

BLOCK-II

塗装 500 μ 室温 16℃ 油あり

⊖ 方向	B - 1	A - 1	B - 2	A - 2	B - 3	平均 値
No 1 ①	5 %	2 %	4 %	3 %	3 %	3 %
②	5 %	6 %	7 %	4 %	5 %	5 %
③	12 %	10 %	9 %	10 %	10 %	10 %
④	10 %	8 %	9 %	6 %	9 %	9 %
⑤	17 %	19 %	10 %	12 %	15 %	15 %
⑥	17 %	18 %	5 %	16 %	16 %	16 %
⑦	8 %	3 %	6 %	6 %	5 %	6 %
No 2 ①	6 %	17 %	12 %	5 %	4 %	8 %
②	8 %	2 %	14 %	12 %	15 %	11 %
③	15 %	8 %	15 %	18 %	17 %	16 %
No 3 ①	5 %	9 %	16 %	9 %	10 %	9 %
②	12 %	12 %	11 %	16 %	15 %	13 %
③	6 %	7 %	10 %	12 %	11 %	9 %

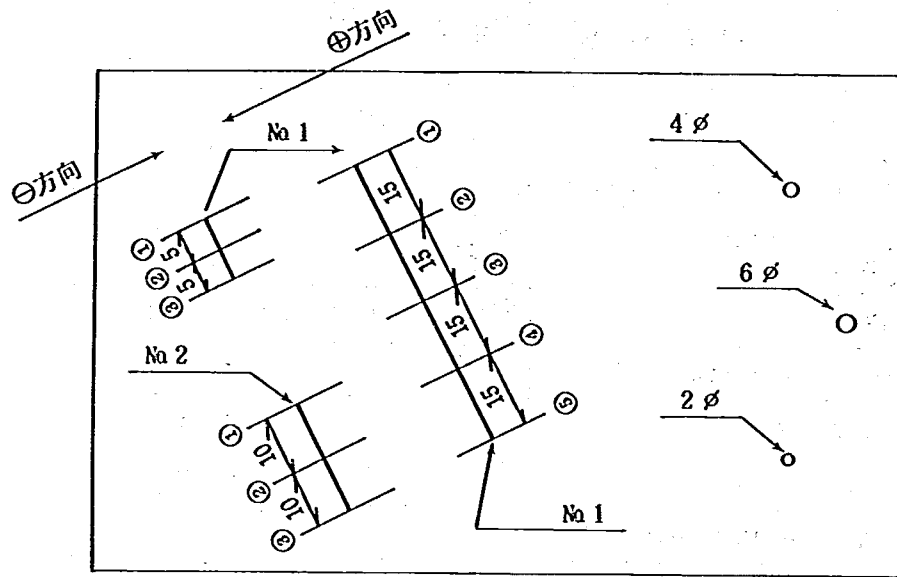
平均値は最大値と最小値をカットし 3 回の測定値の平均を示す。

添付資料 3-1 BLOCK-I の超音波探傷記録

UT		超 音 波 探 傷 検 査 記 録			H 3 年 1 月 19 日	
コ ー ド		項 目			基 本 数 量	
分類	項 目 №	超音波探傷試験の欠陥エコーに関する調査検討				B L O C K - I
適用規格		J I S Z 2344		周波数	5 MHZ	
探傷方法		一探触子斜角法		感度	RB-I 3φ横穴 1/4 T = 80%	
使用機器		USL-32 25520/5407		パルス巾	-	
対比試験片		STB-A1. A2. A3 RB-I		ゲイン	44dB	
				リジェクトコントロール	OFF	
探触子及びサイズ		5 Z10×10A45 N-113 (粘方向)		接触媒体	ソニコート	
板厚		30t		検 査 担 当 者	I I C 担 当 者	
表面状態		☐ 溶接のまま ☐ 研削仕上 ☐ 施盤加工 ☐ 塗装				
符 号	部 品 名 称	材 質 外径×厚さ	検 査 箇所数	結 果	備 考	
No 1	巾×長さ×深さ=1×60×20	遠心铸造钢管	①~⑦ ×④⊖	別 紙		
No 2	1×30×10	"	①~③ ×④⊖	"		
No 3	1×15×5	"	①~③ ×④⊖	"		

略 図

BLOCK-Ⅱ



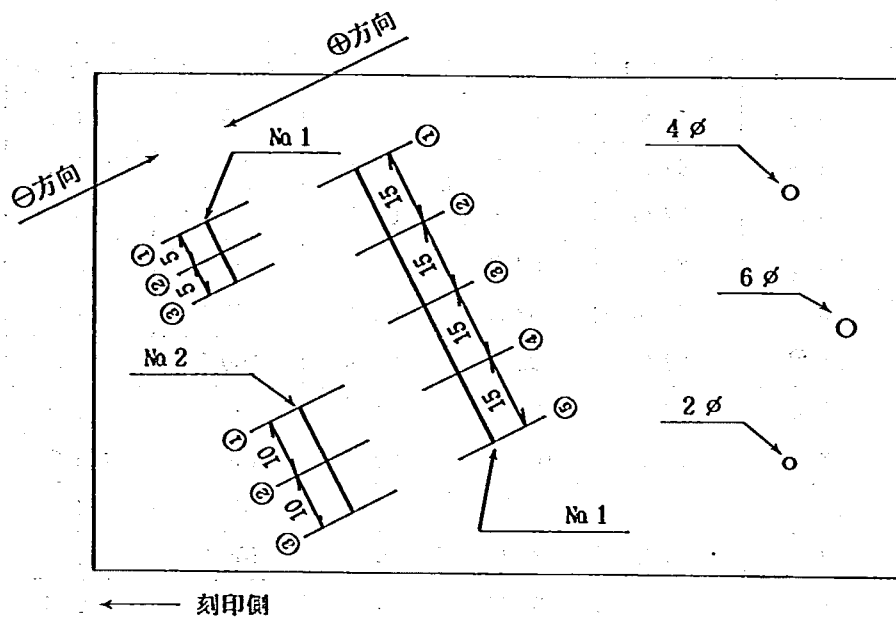
④ 方向	塗 装 な し			ビーム 路程	剥離 150μ	塗 装 150 μ		ビーム 路程	塗装 500μ	ビーム 路程
	室 温 16 ℃		4 ℃ 油 あり		室 温	室 温	室 温		室 温	
	油 な し	油 あり			油 な し	油 な し	油 あり		油 あり	
No 1 ①	51 %	51 %	43 %	44	※	31 %	34 %	45	15 %	47
②	65 %	67 %	60 %	43	↑	32 %	39 %	45	14 %	46
③	70 %	74 %	54 %	43		69 %	53 %	44	11 %	46
④	72 %	62 %	59 %	42		52 %	45 %	43	13 %	46
⑤	61 %	56 %	52 %	41		48 %	40 %	42	8 %	45
No 2 ①	93 %	87 %	73 %	43		96 %	96 %	43	29 %	45
②	86 %	82 %	75 %	42	84 %	80 %	43	29 %	44	
③	103 %	105 %	93 %	40	69 %	64 %	43	23 %	44	
No 3 ①	24 %	25 %	20 %	45	↓	14 %	9 %	46	15 %	44
②	73 %	46 %	49 %	45		35 %	24 %	46	30 %	45
③	89 %	86 %	76 %	43		※	67 %	59 %	44	25 %

数値 (CRT波高値) は平均値

使用探触子: 周方向 (No 467)

※剥離 150 μ はエコー検出せず

BLOCK-Ⅱ



Θ 方向	塗 装 な し			ビーム 路程	剥離 150μ	塗 装 150 μ		ビーム 路程	塗装 500μ	ビーム 路程
	室 温 16 ℃		4 ℃ 油 あり		室 温 油 なし	室 温 油 なし	室 温 油 あり		室 温 油 あり	
	油 なし	油 あり								
No 1 ①	33 %	31 %	23 %	43	※	44 %	49 %	44	7 %	44
②	71 %	72 %	67 %	45	↑	51 %	51 %	46	33 %	44
③	91 %	94 %	83 %	45		66 %	59 %	46	25 %	45
④	85 %	86 %	76 %	45		63 %	60 %	46	18 %	47
⑤	87 %	68 %	56 %	45		35 %	28 %	47	23 %	44
No 2 ①	90 %	83 %	73 %	43		65 %	57 %	44	16 %	45
②	111 %	103 %	84 %	44		80 %	73 %	45	20 %	44
③	89 %	75 %	44 %	45		57 %	37 %	46	18 %	46
No 3 ①	33 %	34 %	36 %	40		43 %	40 %	41	10 %	44
②	75 %	77 %	62 %	41	↓	57 %	43 %	42	20 %	44
③	76 %	76 %	71 %	43	※	74 %	59 %	43	20 %	44

数値 (CRT波高値) は平均値

使用探触子：周方向 (No 467)

※剥離 150 μ はエコー検出せず

BLOCK-III

塗装なし 室温16℃ 油なし

⊕ 方向	A - 1	B - 1	A - 2	B - 2	A - 3	平均値
No 1 ①	50 %	50 %	52 %	48 %	55 %	51 %
②	64 %	62 %	60 %	68 %	83 %	65 %
③	43 %	87 %	60 %	66 %	83 %	70 %
④	60 %	80 %	58 %	76 %	83 %	72 %
⑤	60 %	64 %	53 %	60 %	70 %	61 %
No 2 ①	85 %	98 %	92 %	90 %	100 %	93 %
②	87 %	80 %	90 %	64 %	95 %	86 %
③	108 %	114 %	100 %	90 %	100 %	103 %
No 3 ①	14 %	12 %	28 %	30 %	60 %	24 %
②	50 %	55 %	84 %	79 %	100 %	73 %
③	88 %	100 %	86 %	94 %	43 %	89 %

平均値は最大値と最小値をカットし3回の測定値の平均を示す。

BLOCK-III

塗装なし 室温16℃ 油なし

⊖ 方向	A - 1	B - 1	A - 2	B - 2	A - 3	平均値
No 1 ①	23 %	38 %	34 %	36 %	30 %	33 %
②	86 %	80 %	46 %	48 %	120 %	71 %
③	85 %	92 %	96 %	48 %	120 %	91 %
④	84 %	92 %	80 %	70 %	100 %	85 %
⑤	86 %	76 %	96 %	80 %	100 %	87 %
No 2 ①	81 %	88 %	91 %	94 %	90 %	90 %
②	112 %	112 %	108 %	110 %	120 %	111 %
③	88 %	87 %	93 %	90 %	90 %	89 %
No 3 ①	42 %	26 %	30 %	24 %	70 %	33 %
②	74 %	50 %	74 %	78 %	100 %	75 %
③	76 %	58 %	72 %	80 %	90 %	76 %

平均値は最大値と最小値をカットし3回の測定値の平均を示す。

BLOCK-Ⅲ

塗装なし 室温16℃ 油あり

⊕ 方向	A - 1	B - 1	A - 2	B - 2	A - 3	平均値
No 1 ①	48 %	50 %	52 %	50 %	55 %	51 %
②	60 %	60 %	74 %	66 %	82 %	67 %
③	76 %	82 %	62 %	65 %	80 %	74 %
④	50 %	60 %	68 %	58 %	78 %	62 %
⑤	41 %	55 %	56 %	56 %	65 %	56 %
No 2 ①	86 %	96 %	84 %	90 %	85 %	87 %
②	85 %	91 %	80 %	78 %	80 %	82 %
③	108 %	112 %	104 %	104 %	95 %	105 %
No 3 ①	20 %	22 %	26 %	28 %	58 %	25 %
②	32 %	28 %	52 %	58 %	80 %	46 %
③	87 %	86 %	84 %	88 %	78 %	86 %

平均値は最大値と最小値をカットし3回の測定値の平均を示す。

BLOCK-Ⅲ

塗装なし 室温16℃ 油あり

⊖ 方向	A - 1	B - 1	A - 2	B - 2	A - 3	平均値
No 1 ①	32 %	36 %	32 %	24 %	28 %	31 %
②	66 %	66 %	76 %	73 %	113 %	72 %
③	95 %	90 %	90 %	96 %	116 %	94 %
④	89 %	84 %	84 %	80 %	94 %	86 %
⑤	60 %	82 %	52 %	63 %	98 %	68 %
No 2 ①	85 %	83 %	82 %	70 %	85 %	83 %
②	100 %	100 %	98 %	108 %	116 %	103 %
③	65 %	76 %	74 %	74 %	87 %	75 %
No 3 ①	40 %	30 %	32 %	21 %	69 %	34 %
②	90 %	82 %	60 %	50 %	98 %	77 %
③	80 %	79 %	66 %	68 %	90 %	76 %

平均値は最大値と最小値をカットし3回の測定値の平均を示す。

BLOCK-Ⅲ

塗装なし 室温4℃ 油あり

⊕ 方向	A - 1	B - 1	A - 2	B - 2	A - 3	平均値
No 1 ①	44 %	41 %	44 %	42 %	52 %	43 %
②	58 %	56 %	42 %	65 %	81 %	60 %
③	56 %	47 %	44 %	58 %	80 %	54 %
④	52 %	50 %	60 %	66 %	78 %	59 %
⑤	42 %	53 %	54 %	50 %	65 %	52 %
No 2 ①	74 %	70 %	74 %	66 %	85 %	73 %
②	68 %	72 %	72 %	85 %	80 %	75 %
③	92 %	76 %	90 %	98 %	95 %	93 %
No 3 ①	21 %	20 %	18 %	17 %	58 %	20 %
②	27 %	56 %	44 %	44 %	80 %	49 %
③	68 %	74 %	76 %	78 %	78 %	76 %

平均値は最大値と最小値をカットし3回の測定値の平均を示す。

BLOCK-Ⅲ

塗装なし 室温4℃ 油あり

⊖ 方向	A - 1	B - 1	A - 2	B - 2	A - 3	平均値
No 1 ①	24 %	20 %	24 %	22 %	28 %	23 %
②	58 %	55 %	70 %	74 %	113 %	67 %
③	72 %	76 %	82 %	92 %	115 %	83 %
④	66 %	68 %	78 %	82 %	93 %	76 %
⑤	47 %	56 %	60 %	52 %	98 %	56 %
No 2 ①	70 %	72 %	74 %	74 %	83 %	73 %
②	80 %	74 %	86 %	86 %	116 %	84 %
③	50 %	48 %	22 %	33 %	86 %	44 %
No 3 ①	38 %	40 %	30 %	30 %	70 %	36 %
②	28 %	72 %	75 %	40 %	98 %	62 %
③	66 %	62 %	76 %	70 %	89 %	71 %

平均値は最大値と最小値をカットし3回の測定値の平均を示す。

BLOCK-Ⅲ

塗装 150 μ 室温 16℃ 油なし

⊕ 方向	B - 1	A - 1	B - 2	A - 2	B - 3	平均 値
№ 1 ①	30 %	40 %	26 %	34 %	28 %	31 %
②	32 %	42 %	28 %	33 %	30 %	32 %
③	70 %	90 %	58 %	76 %	62 %	69 %
④	55 %	70 %	38 %	50 %	50 %	52 %
⑤	44 %	50 %	46 %	50 %	40 %	47 %
№ 2 ①	90 %	112 %	100 %	98 %	88 %	96 %
②	80 %	86 %	85 %	79 %	87 %	84 %
③	68 %	74 %	68 %	70 %	60 %	69 %
№ 3 ①	17 %	14 %	16 %	12 %	10 %	14 %
②	34 %	42 %	52 %	28 %	24 %	35 %
③	45 %	76 %	66 %	66 %	68 %	67 %

平均値は最大値と最小値をカットし 3 回の測定値の平均を示す。

BLOCK-Ⅲ

塗装 150 μ 室温 16℃ 油なし

⊖ 方向	B - 1	A - 1	B - 2	A - 2	B - 3	平均 値
№ 1 ①	24 %	40 %	45 %	52 %	48 %	44 %
②	52 %	48 %	52 %	60 %	50 %	51 %
③	66 %	70 %	62 %	52 %	70 %	66 %
④	62 %	62 %	66 %	54 %	68 %	63 %
⑤	50 %	28 %	36 %	24 %	40 %	35 %
№ 2 ①	52 %	70 %	68 %	66 %	62 %	65 %
②	77 %	84 %	80 %	82 %	76 %	80 %
③	60 %	26 %	50 %	60 %	63 %	57 %
№ 3 ①	48 %	40 %	54 %	30 %	40 %	43 %
②	36 %	60 %	88 %	43 %	68 %	57 %
③	68 %	70 %	75 %	76 %	78 %	74 %

平均値は最大値と最小値をカットし 3 回の測定値の平均を示す。

BLOCK-III

塗装 150 μ 室温 16℃ 油あり

⊕ 方向	A - 1	B - 1	A - 2	B - 2	A - 3	平均値
No 1 ①	32 %	37 %	32 %	38 %	30 %	34 %
②	40 %	50 %	36 %	42 %	36 %	39 %
③	70 %	44 %	38 %	45 %	70 %	53 %
④	30 %	60 %	35 %	50 %	50 %	48 %
⑤	40 %	40 %	30 %	38 %	41 %	39 %
No 2 ①	101 %	95 %	100 %	94 %	90 %	96 %
②	80 %	78 %	80 %	80 %	96 %	80 %
③	71 %	66 %	66 %	60 %	59 %	64 %
No 3 ①	11 %	10 %	6 %	12 %	4 %	9 %
②	35 %	20 %	30 %	22 %	14 %	24 %
③	60 %	38 %	62 %	60 %	56 %	59 %

平均値は最大値と最小値をカットし 3 回の測定値の平均を示す。

BLOCK-III

塗装 150 μ 室温 16℃ 油あり

⊖ 方向	A - 1	B - 1	A - 2	B - 2	A - 3	平均値
No 1 ①	54 %	36 %	66 %	43 %	50 %	49
②	60 %	50 %	54 %	46 %	50 %	51
③	60 %	62 %	26 %	54 %	70 %	59
④	60 %	60 %	42 %	62 %	60 %	60
⑤	27 %	25 %	26 %	32 %	33 %	28
No 2 ①	40 %	58 %	64 %	50 %	65 %	57
②	70 %	69 %	80 %	70 %	81 %	73
③	20 %	52 %	14 %	56 %	40 %	37
No 3 ①	44 %	38 %	38 %	24 %	46 %	40
②	32 %	60 %	37 %	60 %	22 %	43
③	65 %	58 %	56 %	55 %	64 %	59

平均値は最大値と最小値をカットし 3 回の測定値の平均を示す。

BLOCK-Ⅲ

塗装 500 μ 室温16℃ 油あり

⊕ 方 向	A - 1	B - 1	A - 2	B - 2	A - 3	平 均 値
№ 1 ①	16 %	14 %	12 %	14 %	17 %	15 %
②	14 %	15 %	12 %	18 %	11 %	14 %
③	10 %	10 %	14 %	9 %	17 %	11 %
④	12 %	18 %	10 %	9 %	16 %	13 %
⑤	8 %	15 %	6 %	8 %	8 %	8 %
№ 2 ①	33 %	12 %	37 %	38 %	16 %	29 %
②	25 %	26 %	30 %	30 %	36 %	29 %
③	24 %	22 %	23 %	28 %	20 %	23 %
№ 3 ①	15 %	18 %	16 %	14 %	13 %	15 %
②	24 %	32 %	26 %	33 %	32 %	30 %
③	24 %	26 %	30 %	20 %	25 %	25 %

平均値は最大値と最小値をカットし 3 回の測定値の平均を示す。

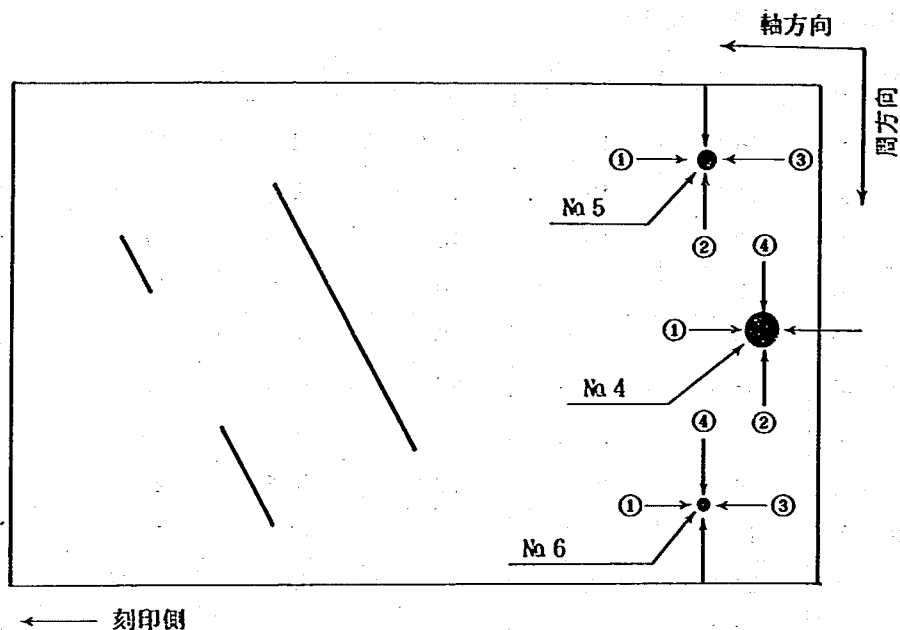
BLOCK-Ⅲ

塗装 500 μ 室温16℃ 油あり

⊕ 方 向	A - 1	B - 1	A - 2	B - 2	A - 3	平 均 値
№ 1 ①	5 %	8 %	4 %	12 %	8 %	7 %
②	24 %	30 %	34 %	36 %	35 %	33 %
③	4 %	20 %	28 %	30 %	26 %	25 %
④	15 %	23 %	20 %	12 %	18 %	18 %
⑤	34 %	24 %	22 %	10 %	24 %	23 %
№ 2 ①	17 %	16 %	11 %	14 %	21 %	16 %
②	12 %	24 %	20 %	22 %	18 %	20 %
③	19 %	18 %	17 %	18 %	25 %	18 %
№ 3 ①	6 %	12 %	7 %	12 %	14 %	10 %
②	11 %	25 %	14 %	26 %	22 %	20 %
③	7 %	20 %	20 %	22 %	20 %	20 %

平均値は最大値と最小値をカットし 3 回の測定値の平均を示す。

BLOCK-Ⅱ



	塗 装 な し			ビーム 路程	剥離 150μ	塗 装 150 μ			ビーム 路程	塗装 500μ	ビーム 路程
	室 温 16 ℃		4 ℃ 油 あり		室 温 油 なし	室 温 油 なし	室 温 油 あり	室 温 油 あり			
	油 なし	油 あり									
No 4 ①	18 %	20 %	19 %	44	※	16 %	16 %	45	4 %	45	
②	10 %	8 %	7 %	46	↑	7 %	6 %	46	2 %	46	
④	18 %	21 %	19 %	44		17 %	15 %	45	5 %	46	
No 5 ①	23 %	24 %	20 %	43		13 %	11 %	45	3 %	48	
②	34 %	31 %	25 %	45		20 %	18 %	46	8 %	46	
③	21 %	22 %	19 %	44		16 %	16 %	46	3 %	50	
No 6 ①	17 %	20 %	17 %	42		13 %	16 %	43	2 %	45	
③	17 %	18 %	16 %	44	↓	14 %	15 %	45	3 %	49	
④	6 %	6 %	6 %	45	※	5 %	4 %	46	1 %	48	

数値 (CRT波高値) は平均値
使用探触子

周方向: No. 467

軸方向: No. 113

※剥離 150 μ はエコー検出せず

BLOCK-Ⅲ

塗装なし 室温16℃ 油なし

	A - 1	B - 1	A - 2	B - 2	A - 3	平均値
№ 4 ①	17 %	18 %	18 %	19 %	20 %	18 %
②	8 %	10 %	10 %	9 %	10 %	10 %
④	18 %	18 %	17 %	15 %	20 %	18 %
№ 5 ①	22 %	23 %	24 %	23 %	30 %	23 %
②	32 %	22 %	36 %	34 %	38 %	34 %
③	23 %	22 %	20 %	19 %	22 %	21 %
№ 6 ①	24 %	22 %	8 %	16 %	14 %	17 %
③	17 %	18 %	16 %	15 %	18 %	17 %
④	6 %	6 %	6 %	6 %	8 %	6 %

平均値は最大値と最小値をカットし3回の測定値の平均を示す。

BLOCK-Ⅲ

塗装なし 室温16℃ 油あり

	A - 1	B - 1	A - 2	B - 2	A - 3	平均値
№ 4 ①	14 %	18 %	23 %	19 %	22 %	20 %
②	7 %	6 %	10 %	10 %	8 %	8 %
④	22 %	23 %	19 %	24 %	18 %	21 %
№ 5 ①	24 %	25 %	23 %	22 %	24 %	24 %
②	32 %	32 %	29 %	28 %	35 %	31 %
③	24 %	20 %	21 %	22 %	22 %	22 %
№ 6 ①	18 %	22 %	19 %	22 %	14 %	20 %
③	18 %	18 %	17 %	18 %	16 %	18 %
④	6 %	6 %	6 %	6 %	6 %	6 %

平均値は最大値と最小値をカットし3回の測定値の平均を示す。

BLOCK-Ⅲ

塗装なし 室温4℃ 油あり

	A - 1	B - 1	A - 2	B - 2	A - 3	平均値
No 4 ①	21 %	19 %	18 %	16 %	20 %	19 %
②	7 %	7 %	6 %	7 %	6 %	7 %
④	21 %	16 %	16 %	24 %	20 %	19 %
No 5 ①	17 %	20 %	23 %	18 %	24 %	20 %
②	16 %	23 %	26 %	26 %	35 %	25 %
③	19 %	19 %	16 %	20 %	22 %	19 %
No 6 ①	19 %	20 %	16 %	16 %	13 %	17 %
③	16 %	17 %	16 %	16 %	15 %	16 %
④	5 %	6 %	6 %	6 %	6 %	6 %

平均値は最大値と最小値をカットし3回の測定値の平均を示す。

BLOCK-Ⅲ

塗装150 μ 室温16℃ 油なし

	B - 1	A - 1	B - 2	A - 2	B - 3	平均値
No 4 ①	16 %	16 %	16 %	14 %	16 %	16 %
②	7 %	6 %	8 %	7 %	7 %	7 %
④	15 %	12 %	21 %	17 %	20 %	17 %
No 5 ①	12 %	16 %	13 %	10 %	14 %	13 %
②	22 %	14 %	21 %	20 %	20 %	20 %
③	16 %	16 %	15 %	16 %	16 %	16 %
No 6 ①	11 %	14 %	14 %	16 %	12 %	13 %
③	10 %	16 %	16 %	12 %	13 %	14 %
④	8 %	4 %	5 %	5 %	6 %	5 %

平均値は最大値と最小値をカットし3回の測定値の平均を示す。

BLOCK-Ⅲ

塗装 150 μ 室温 16℃ 油あり

	A - 1	B - 1	A - 2	B - 2	A - 3	平均値
№ 4 ①	16 %	17 %	15 %	18 %	16 %	16 %
②	4 %	5 %	6 %	6 %	7 %	6 %
④	16 %	14 %	15 %	13 %	17 %	15 %
№ 5 ①	10 %	16 %	9 %	14 %	10 %	11 %
②	21 %	20 %	10 %	17 %	18 %	18 %
③	16 %	17 %	13 %	16 %	18 %	16 %
№ 6 ①	16 %	16 %	18 %	12 %	16 %	16 %
③	17 %	16 %	8 %	18 %	12 %	15 %
④	4 %	3 %	4 %	3 %	4 %	4 %

平均値は最大値と最小値をカットし 3 回の測定値の平均を示す。

BLOCK-Ⅲ

塗装 500 μ 室温 16℃ 油あり

	A - 1	B - 1	A - 2	B - 2	A - 3	平均値
№ 4 ①	4 %	4 %	3 %	3 %	4 %	4 %
②	2 %	2 %	2 %	3 %	1 %	2 %
④	6 %	4 %	6 %	4 %	6 %	5 %
№ 5 ①	3 %	4 %	2 %	5 %	3 %	3 %
②	8 %	8 %	6 %	9 %	8 %	8 %
③	3 %	4 %	1 %	5 %	2 %	3 %
№ 6 ①	1 %	4 %	1 %	5 %	2 %	2 %
③	3 %	3 %	3 %	3 %	3 %	3 %
④	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %

平均値は最大値と最小値をカットし 3 回の測定値の平均を示す。

12. 検査結果のまとめ

12-1) 欠陥の大きさ

BLOCK-I		No 1		No 2			No 3		
		最大エコー高さ	走査位置	最大エコー高さ	走査位置	No 1との比較	最大エコー高さ	走査位置	No 2との比較
ケース1	⊕	92%	②	77%	①	-1.5 dB	58%	② ③	-2.5 dB
	⊖	63%	③	74%	①	1.4 dB	74%	③	0 dB
2	⊕	78%	②	63%	①	-1.9 dB	53%	③	-1.5 dB
	⊖	59%	② ④	61%	①	0.3 dB	61%	③	0 dB
3	⊕	96%	②	71%	①	-2.6 dB	57%	③	-1.9 dB
	⊖	71%	②	74%	①	0.4 dB	82%	③	0.9 dB
5	⊕	59%	②	49%	①	-1.6 dB	50%	②	0.2 dB
	⊖	51%	④	52%	①	0.2 dB	50%	③	-0.3 dB
6	⊕	55%	②	47%	①	-1.4 dB	49%	③	0.4 dB
	⊖	55%	④	50%	①	-0.8 dB	50%	③	0 dB
7	⊕	24%	②	21%	①	-1.2 dB	19%	②	-0.9 dB
	⊖	15%	③	20%	①	2.5 dB	21%	③	0.4 dB

BLOCK-II		No 1		No 2			No 3		
		最大エコー高さ	走査位置	最大エコー高さ	走査位置	No 1との比較	最大エコー高さ	走査位置	No 2との比較
ケース1	⊕	69%	④	58%	①	-1.5 dB	29%	②	-6.0 dB
	⊖	84%	③	44%	③	-5.6 dB	33%	②	-2.5 dB
2	⊕	53%	④	49%	①	-0.7 dB	26%	②	-5.5 dB
	⊖	72%	③	35%	③	-6.3 dB	29%	②	-1.6 dB
3	⊕	64%	④	55%	①	-1.3 dB	27%	②	-6.2 dB
	⊖	76%	③	37%	③	-6.3 dB	34%	①	-0.7 dB
5	⊕	56%	④	40%	①	-2.9 dB	22%	②	-5.2 dB
	⊖	62%	③	34%	③	-5.2 dB	26%	②	-2.3 dB
6	⊕	48%	④	35%	①	-2.7 dB	20%	②	-4.9 dB
	⊖	57%	③	34%	③	-4.5 dB	27%	②	-2.0 dB
7	⊕	16%	④	10%	①	-4.1 dB	8%	③	-1.9 dB
	⊖	16%	⑥	16%	③	0 dB	13%	②	-1.8 dB

BLOCK-III		No 1		No 2			No 3		
		最大エコー高さ	走査位置	最大エコー高さ	走査位置	No 1との比較	最大エコー高さ	走査位置	No 2との比較
ケース1	⊕	72%	④	103%	③	3.1 dB	89%	③	-1.3 dB
	⊖	91%	③	111%	②	1.7 dB	76%	③	-3.3 dB
2	⊕	67%	②	105%	③	3.9 dB	86%	③	-1.7 dB
	⊖	94%	③	103%	②	0.8 dB	77%	②	-2.5 dB
3	⊕	60%	②	93%	③	3.8 dB	76%	③	-1.7 dB
	⊖	83%	③	84%	②	0.1 dB	71%	③	-1.5 dB
5	⊕	69%	③	96%	①	2.8 dB	67%	③	-3.1 dB
	⊖	66%	③	80%	②	1.7 dB	74%	③	-0.7 dB
6	⊕	53%	③	96%	①	5.1 dB	59%	③	-4.2 dB
	⊖	60%	④	73%	②	1.7 dB	59%	③	-1.8 dB
7	⊕	15%	①	29%	① ②	5.7 dB	30%	②	0.3 dB
	⊖	33%	②	20%	②	-4.3 dB	20%	② ③	0 dB

(人工欠陥の大きさ)

BLOCK-Ⅲ		№ 4		№ 5		№ 6	
		最大エコー高さ	最大エコー高さ	№ 4 との 比較	最大エコー高さ	№ 4 との 比較	№ 5 との 比較
ケース 1	①	18 %	23 %	2.1 dB	17 %	- 0.5 dB	- 2.6 dB
	②	10 %	34 %	10.6 dB	—	—	—
	③	—	21 %	—	17 %	—	- 1.8 dB
	④	18 %	—	—	6 %	- 9.5 dB	—
2	①	20 %	24 %	1.6 dB	20 %	0 dB	- 1.6 dB
	②	8 %	31 %	11.8 dB	—	—	—
	③	—	22 %	—	18 %	—	- 1.7 dB
	④	21 %	—	—	6 %	- 10.9 dB	—
3	①	19 %	20 %	0.4 dB	17 %	- 1.0 dB	- 1.4 dB
	②	7 %	25 %	11.1 dB	—	—	—
	③	—	19 %	—	16 %	—	- 1.5 dB
	④	19 %	—	—	6 %	- 10.0 dB	—
4	①	16 %	13 %	- 1.8 dB	13 %	- 1.8 dB	0 dB
	②	7 %	20 %	9.1 dB	—	—	—
	③	—	16 %	—	14 %	—	- 1.2 dB
	④	17 %	—	—	5 %	- 10.6 dB	—
5	①	16 %	11 %	- 3.2 dB	16 %	0 dB	3.2 dB
	②	7 %	18 %	8.2 dB	—	—	—
	③	—	16 %	—	15 %	—	- 0.6 dB
	④	15 %	—	—	4 %	- 11.5 dB	—
6		4 %	3 %	2.4 dB	2 %	- 6.0 dB	- 3.5 dB
		2 %	8 %	12.0 dB	—	—	—
		—	3 %	—	3 %	—	0 dB
		5 %	—	—	1 %	- 14.0 dB	—

全 体 平 均

比 較		№ 1 ~ № 2 の 比較		№ 2 ~ № 3 の 比較	
探傷方向	⊕方向	(平均) - 1.7 dB		(平均) - 1.0 dB	
	⊖方向	+ 0.7 dB		+ 0.2 dB	
BLOCK-Ⅱ	⊕方向	- 2.2 dB		- 5.0 dB	
	⊖方向	- 4.6 dB		- 1.8 dB	
BLOCK-Ⅲ	⊕方向	+ 4.1 dB		- 1.9 dB	
	⊖方向	+ 0.3 dB		- 1.6 dB	

比 較		№ 4 ~ № 5 の 比較		№ 5 ~ № 6 の 比較		№ 4 ~ № 6 の 比較	
BLOCK-Ⅲ	①方向	(平均) - 0.6 dB		(平均) - 1.0 dB		(平均) - 1.6 dB	
	②方向	+ 10.5 dB		—		—	
	③方向	—		- 1.1 dB		—	
	④方向	—		—		+ 11.1 dB	

12-2) 作動油の影響

BLOCK-I	⊕ 方 向		⊖ 方 向	
	ケース1とケース2の比較	ケース5とケース6の比較	ケース1とケース2の比較	ケース5とケース6の比較
№ 1 ①	54%/67%=-1.9 dB	44%/41%=+0.6 dB	38%/41%=-0.7 dB	35%/31%=+1.1 dB
②	-1.4 dB	-0.6 dB	-0.3 dB	+1.1 dB
③	-0.9 dB	+0.8 dB	-1.4 dB	0 dB
④	+0.9 dB	+0.3 dB	-0.6 dB	+0.7 dB
⑤	-1.1 dB	-0.4 dB	-1.4 dB	-0.5 dB
⑥	-1.5 dB	-0.4 dB	-0.3 dB	+0.3 dB
⑦	+0.8 dB	-0.7 dB	0 dB	+1.3 dB
№ 2 ①	-1.7 dB	-0.4 dB	-1.7 dB	-0.3 dB
②	-1.0 dB	-1.0 dB	-2.2 dB	-1.3 dB
③	-0.7 dB	-0.6 dB	-1.6 dB	-2.4 dB
№ 3 ①	-0.5 dB	+0.6 dB	-3.6 dB	-1.9 dB
②	-0.9 dB	-0.4 dB	-1.7 dB	+0.2 dB
③	-0.8 dB	0 dB	-1.7 dB	0 dB
平 均	-0.9 dB	-0.2 dB	-1.3 dB	-0.1 dB

BLOCK-II	⊕ 方 向		⊖ 方 向	
	ケース1とケース2の比較	ケース5とケース6の比較	ケース1とケース2の比較	ケース5とケース6の比較
№ 1 ①	15%/16%=-0.6 dB	21%/13%=+4.2 dB	26%/26%=0 dB	26%/18%=+3.2 dB
②	-2.8 dB	-1.6 dB	-0.8 dB	-0.9 dB
③	-1.8 dB	-0.4 dB	-1.3 dB	-0.7 dB
④	-2.3 dB	-1.3 dB	-1.6 dB	-0.2 dB
⑤	-2.0 dB	-0.8 dB	-1.9 dB	-1.3 dB
⑥	-0.8 dB	+0.4 dB	-2.2 dB	-1.1 dB
⑦	-0.6 dB	+1.3 dB	0 dB	+0.9 dB
№ 2 ①	-1.5 dB	-1.2 dB	-2.7 dB	-2.1 dB
②	-1.0 dB	-0.7 dB	-0.8 dB	0 dB
③	-1.1 dB	-1.7 dB	-2.0 dB	0 dB
№ 3 ①	0 dB	+0.7 dB	-1.6 dB	-0.4 dB
②	-0.9 dB	-0.8 dB	-1.1 dB	+0.3 dB
③	-1.5 dB	-1.4 dB	-0.4 dB	-0.4 dB
平 均	-1.3 dB	-0.3 dB	-1.3 dB	-0.2 dB

(作動油の影響)

BLOCK-Ⅲ	⊕ 方 向		⊖ 方 向	
	ケース1とケース2の比較	ケース5とケース6の比較	ケース1とケース2の比較	ケース5とケース6の比較
№ 1 ①	51%/51%= 0 dB	34%/31%=+0.8 dB	31%/33%=−0.5 dB	49%/44%=+0.9 dB
②	+0.2 dB	+1.7 dB	+0.1 dB	0 dB
③	+0.5 dB	−2.3 dB	+0.3 dB	−1.0 dB
④	−1.3 dB	−1.3 dB	+0.1 dB	−0.4 dB
⑤	−0.7 dB	−1.6 dB	−2.1 dB	−1.9 dB
№ 2 ①	−0.6 dB	0 dB	−0.7 dB	−1.1 dB
②	−0.4 dB	−0.4 dB	−0.6 dB	−0.8 dB
③	+0.2 dB	−0.6 dB	−1.5 dB	−3.8 dB
№ 3 ①	+0.4 dB	−3.8 dB	+0.3 dB	−0.6 dB
②	−4.0 dB	−3.2 dB	+0.2 dB	−2.4 dB
③	−0.3 dB	−1.1 dB	0 dB	−2.0 dB
平 均	−0.5 dB	−1.1 dB	−0.4 dB	−1.2 dB

BLOCK-Ⅲ	ケース1とケース2の比較	ケース5とケース6の比較
№ 4 ①	20%/18%=+0.9 dB	16%/16%= 0 dB
②	−1.9 dB	−1.3 dB
④	+1.3 dB	−1.1 dB
№ 5 ①	+0.4 dB	−1.5 dB
②	−0.8 dB	−0.9 dB
③	+0.4 dB	0 dB
№ 6 ①	+1.4 dB	+1.8 dB
③	+0.5 dB	+0.6 dB
④	0 dB	−1.9 dB
平 均	+0.2 dB	−0.5 dB

全体の平均=−0.7 dB

12-3) 塗膜厚さの影響

BOLCK-I	⊕ 方 向				⊖ 方 向			
	0~150 μ (油なし)	0~150 μ (油あり)	150 μ ~500 μ (油あり)	0~500 μ (油あり)	0~150 μ (油なし)	0~150 μ (油あり)	150 μ ~500 μ (油あり)	0~500 μ (油あり)
№ 1 ①	-4.3 dB	-1.8 dB	-8.8 dB	-10.6 dB	-2.4 dB	-0.7 dB	-11.8 dB	-12.5 dB
②	-3.8 dB	-3.0 dB	-7.2 dB	-10.2 dB	-2.3 dB	-0.9 dB	-12.9 dB	-13.8 dB
③	-3.8 dB	-2.1 dB	-8.5 dB	-10.6 dB	-2.0 dB	-0.5 dB	-10.0 dB	-10.5 dB
④	-1.1 dB	-1.6 dB	-9.4 dB	-11.0 dB	-1.8 dB	-0.6 dB	-13.2 dB	-13.8 dB
⑤	-2.5 dB	-1.9 dB	-7.3 dB	-9.2 dB	-1.6 dB	-0.6 dB	-9.2 dB	-9.8 dB
⑥	-3.6 dB	-2.5 dB	-5.7 dB	-8.2 dB	-1.1 dB	-0.6 dB	-7.2 dB	-7.8 dB
⑦	-4.0 dB	-5.5 dB	-4.4 dB	-9.9 dB	-1.3 dB	0 dB	-13.4 dB	-13.4 dB
№ 2 ①	-3.9 dB	-2.5 dB	-7.0 dB	-9.5 dB	-3.1 dB	-1.7 dB	-8.0 dB	-9.7 dB
②	-3.6 dB	-3.5 dB	-5.4 dB	-8.9 dB	-4.7 dB	-3.8 dB	-2.9 dB	-6.7 dB
③	-1.1 dB	-1.0 dB	-8.0 dB	-9.0 dB	-1.9 dB	-2.7 dB	-6.0 dB	-8.7 dB
№ 3 ①	-4.9 dB	-3.8 dB	-9.8 dB	-13.6 dB	-3.2 dB	-1.5 dB	-12.0 dB	-13.5 dB
②	-1.3 dB	-0.7 dB	-8.0 dB	-8.7 dB	-3.3 dB	-1.4 dB	-8.5 dB	-9.9 dB
③	-1.5 dB	-0.7 dB	-10.9 dB	-11.6 dB	-3.4 dB	-1.7 dB	-7.6 dB	-9.3 dB
平 均	-3.0 dB	-2.4 dB	-7.7 dB	-10.1 dB	-2.5 dB	-1.3 dB	-9.4 dB	-10.7 dB

BLOCK-II	⊕ 方 向				⊖ 方 向			
	0~150 μ (油なし)	0~150 μ (油あり)	150 μ ~500 μ (油あり)	0~500 μ (油あり)	0~150 μ (油なし)	0~150 μ (油あり)	150 μ ~500 μ (油あり)	0~500 μ (油あり)
№ 1 ①	-1.8 dB	+2.9 dB	-6.4 dB	-3.5 dB	-3.2 dB	0 dB	-18.8 dB	-18.8 dB
②	-3.5 dB	-2.3 dB	-5.0 dB	-8.3 dB	-2.7 dB	-2.7 dB	-17.6 dB	-20.3 dB
③	-1.6 dB	-0.2 dB	-10.8 dB	-11.0 dB	-2.6 dB	-2.0 dB	-15.1 dB	-17.1 dB
④	-1.8 dB	-0.9 dB	-9.5 dB	-10.4 dB	-2.4 dB	-1.0 dB	-13.0 dB	-14.0 dB
⑤	-3.4 dB	-2.3 dB	-6.0 dB	-8.3 dB	-2.4 dB	-1.8 dB	-6.0 dB	-7.8 dB
⑥	-3.3 dB	-2.0 dB	-3.2 dB	-5.2 dB	-1.9 dB	-0.9 dB	-5.1 dB	-6.0 dB
№ 2 ①	-1.9 dB	0 dB	-7.4 dB	-7.4 dB	+1.0 dB	+1.8 dB	-10.8 dB	-9.0 dB
②	-3.2 dB	-2.9 dB	-10.9 dB	-13.8 dB	-2.4 dB	-1.8 dB	-11.5 dB	-13.3 dB
③	-4.4 dB	-4.1 dB	-11.0 dB	-15.1 dB	-2.4 dB	-1.6 dB	-7.1 dB	-8.7 dB
№ 3 ①	-3.5 dB	-4.1 dB	-9.6 dB	-13.7 dB	-2.2 dB	-0.3 dB	-6.5 dB	-6.8 dB
②	-4.4 dB	-3.7 dB	-6.8 dB	-10.5 dB	-1.3 dB	0 dB	-8.5 dB	-8.5 dB
③	-2.4 dB	-2.3 dB	-10.4 dB	-12.7 dB	-2.1 dB	-0.6 dB	-6.4 dB	-7.0 dB
④	-1.9 dB	-1.8 dB	-6.6 dB	-8.4 dB	0 dB	0 dB	-6.5 dB	-6.5 dB
平 均	-2.9 dB	-1.8 dB	-8.1 dB	-9.9 dB	-2.0 dB	-0.8 dB	-10.3 dB	-11.1 dB

(塗膜厚さ)

BLOCK-Ⅲ	⊕ 方 向				⊖ 方 向			
	0 ~ 150 μ (油なし)	0 ~ 150 μ (油あり)	150 μ ~ 500 μ (油あり)	0 ~ 500 μ (油あり)	0 ~ 150 μ (油なし)	0 ~ 150 μ (油あり)	150 μ ~ 500 μ (油あり)	0 ~ 500 μ (油あり)
№ 1 ①	-4.3 dB	-3.5 dB	-7.1 dB	-10.6 dB	+2.5 dB	+4.0 dB	-16.9 dB	-12.9 dB
②	-6.2 dB	-4.7 dB	-8.9 dB	-13.6 dB	-2.9 dB	-3.0 dB	-3.8 dB	-6.8 dB
③	-0.1 dB	-2.9 dB	-13.7 dB	-16.6 dB	-2.8 dB	-4.0 dB	-7.5 dB	-11.5 dB
④	-2.8 dB	-2.8 dB	-10.8 dB	-13.6 dB	-2.6 dB	-3.1 dB	-10.5 dB	-13.6 dB
⑤	-2.1 dB	-2.9 dB	-14.0 dB	-16.9 dB	-7.9 dB	-7.7 dB	-1.7 dB	-9.4 dB
№ 2 ①	+0.3 dB	+0.9 dB	-10.4 dB	-9.5 dB	-2.8 dB	-3.2 dB	-11.1 dB	-14.3 dB
②	-0.2 dB	-0.2 dB	-8.8 dB	-9.0 dB	-2.8 dB	-3.0 dB	-11.2 dB	-14.2 dB
③	-3.5 dB	-4.3 dB	-7.8 dB	-12.1 dB	-3.9 dB	-6.1 dB	-6.3 dB	-12.4 dB
№ 3 ①	-4.7 dB	-8.9 dB	+4.5 dB	-4.4 dB	+2.3 dB	+1.4 dB	-12.0 dB	-10.6 dB
②	-6.4 dB	-5.7 dB	+2.0 dB	-3.7 dB	-2.3 dB	-5.1 dB	-6.6 dB	-11.7 dB
③	-2.5 dB	-3.2 dB	-7.5 dB	-10.7 dB	-0.2 dB	-2.2 dB	-9.4 dB	-11.6 dB
平 均	-3.0 dB	-3.5 dB	-7.5 dB	-11.0 dB	-2.1 dB	-2.9 dB	-8.8 dB	-11.7 dB

BLOCK-Ⅲ	0 ~ 150 μ (油なし)	0 ~ 150 μ (油あり)	150 μ ~ 500 μ (油あり)	0 ~ 500 μ (油あり)
№ 4 ①	-1.0 dB	-2.0 dB	-12.0 dB	-14.0 dB
②	-3.1 dB	-2.5 dB	-9.5 dB	-12.0 dB
④	-0.5 dB	-2.9 dB	-9.6 dB	-12.5 dB
№ 5 ①	-5.0 dB	-6.8 dB	-11.3 dB	-18.1 dB
②	-4.6 dB	-4.7 dB	-7.1 dB	-11.8 dB
③	-2.4 dB	-2.8 dB	-14.5 dB	-17.3 dB
№ 6 ①	-2.3 dB	-2.0 dB	-18.0 dB	-20.0 dB
③	-1.7 dB	-1.6 dB	-14.0 dB	-15.6 dB
④	-1.6 dB	-3.5 dB	-12.1 dB	-15.6 dB
平 均	-2.5 dB	-3.2 dB	-12.0 dB	-15.2 dB

全体平均 150 μ = -2.4 dB

500 μ = -11.4 dB

12-4) 温度の影響

BLOCK-I		⊕ 方向	⊖ 方向
		16℃~4℃	16℃~4℃
№ 1	①	+2.0 dB	+1.7 dB
	②	+1.8 dB	+1.6 dB
	③	+1.9 dB	+1.0 dB
	④	+1.8 dB	+0.4 dB
	⑤	+2.1 dB	+1.0 dB
	⑥	+2.0 dB	+1.3 dB
	⑦	+2.3 dB	0 dB
№ 2	①	+1.0 dB	+1.7 dB
	②	+1.4 dB	+1.9 dB
	③	+1.3 dB	+1.6 dB
№ 3	①	0 dB	+2.4 dB
	②	+0.5 dB	+2.4 dB
	③	+0.6 dB	+2.6 dB
平 均		+1.4 dB	+1.5 dB

BLOCK-II		⊕ 方向	⊖ 方向
		16℃~4℃	16℃~4℃
№ 1	①	+2.5 dB	+0.9 dB
	②	+2.8 dB	+0.8 dB
	③	+1.4 dB	+0.5 dB
	④	+1.6 dB	+0.4 dB
	⑤	+2.0 dB	-0.5 dB
	⑥	+1.4 dB	+1.0 dB
	⑦	+1.7 dB	+1.8 dB
№ 2	①	+1.0 dB	+1.2 dB
	②	+0.8 dB	+0.8 dB
	③	+0.3 dB	+0.5 dB
№ 3	①	-0.4 dB	+3.0 dB
	②	+0.3 dB	+0.9 dB
	③	+0.8 dB	0 dB
平 均		+1.2 dB	+0.9 dB

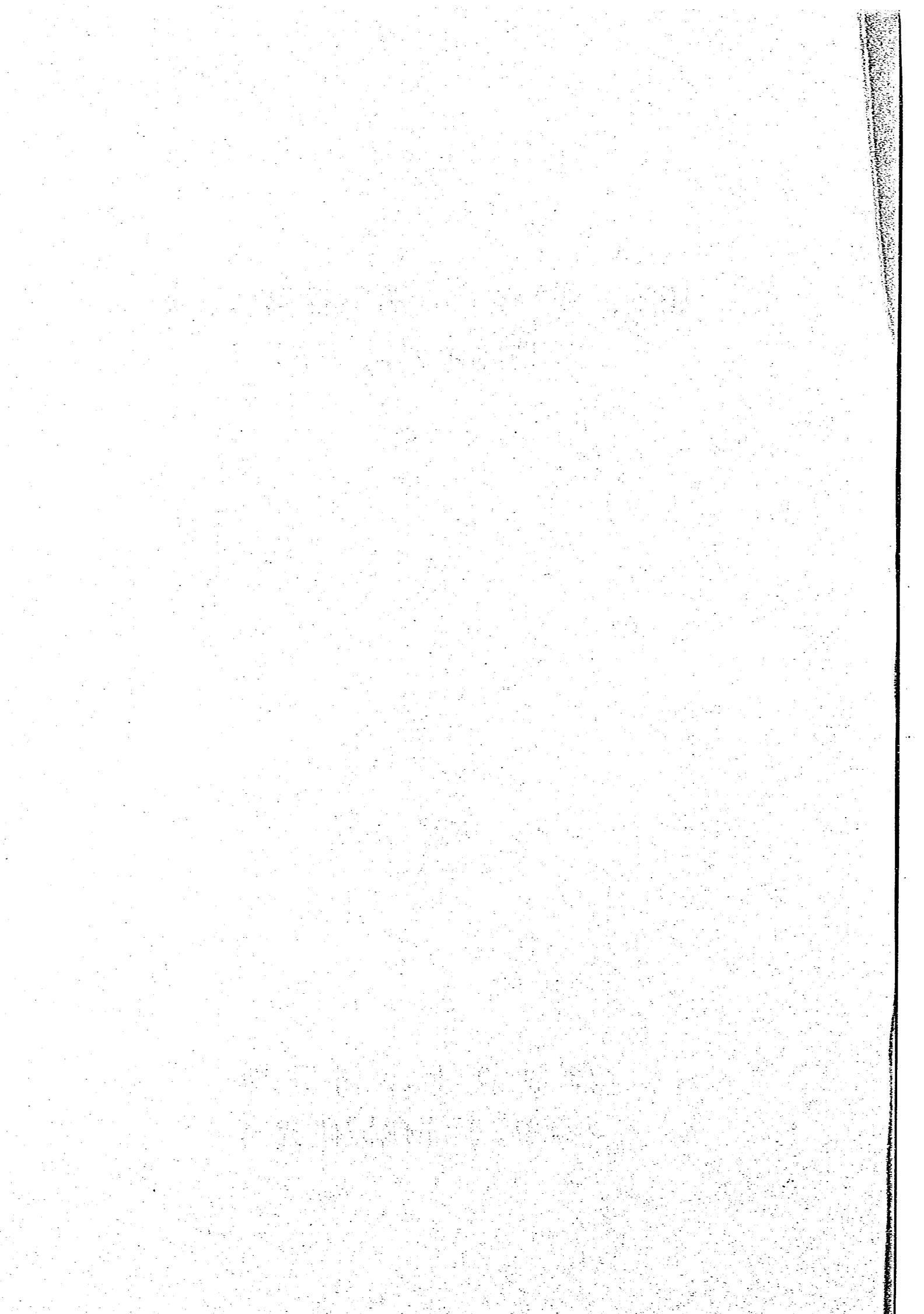
BLOCK-III		⊕ 方向	⊖ 方向
		16℃~4℃	16℃~4℃
№ 1	①	-1.5 dB	-2.6 dB
	②	-1.0 dB	-0.6 dB
	③	-2.7 dB	-1.1 dB
	④	-0.4 dB	-1.1 dB
	⑤	-0.6 dB	-1.7 dB
№ 2	①	-1.5 dB	-1.1 dB
	②	-0.8 dB	-1.8 dB
	③	-1.1 dB	-4.6 dB
№ 3	①	-1.9 dB	+0.5 dB
	②	+0.5 dB	-1.9 dB
	③	-1.1 dB	-0.6 dB
平 均		-1.1 dB	-1.5 dB

BLOCK-III		16℃~4℃
№ 4	①	-0.4 dB
	②	-1.2 dB
	④	-1.6 dB
№ 5	①	-1.6 dB
	②	-1.8 dB
	③	-1.3 dB
№ 6	①	-1.4 dB
	③	-1.0 dB
	④	0 dB
平 均		-1.1 dB

全体平均 = +0.2 dB

油圧シリンダの超音波探傷による 現地測定要領（案）

建設省土木研究所
機械施工部機械研究室



目 次

実施要領書（案）

1. 総 則	103
1.1 適用範囲	103
1.2 試験の目的と試験方法	103
1.3 準拠図書	103
1.4 試験技術者	103
1.5 協議事項	104
2. 試験体の調査及び探傷用器材の準備	105
2.1 試験体の調査項目と準備	105
2.2 探傷装置	106
2.3 試 験 片	106
2.4 接触媒質	109
3. 探 傷	110
3.1 探傷すべき部位	110
3.2 探傷面及び探傷方向	111
3.3 探傷装置の調整	113
3.4 エコー高さ区分線とその名称	114
3.5 基準感度	115
3.6 感度補正	115
3.7 探傷感度	117
3.8 検出レベル	117
3.9 記録レベル	118
3.10 エコー高さの測定	118
3.11 欠陥の横断面位置の測定	119
3.12 欠陥寸法測定	120
3.13 欠陥位置の表示	121
3.14 欠陥の確認	121
4. 記 録	122
5. 探傷結果の評価	123

実施要領書（案）

1. 総則

1.1 適用範囲

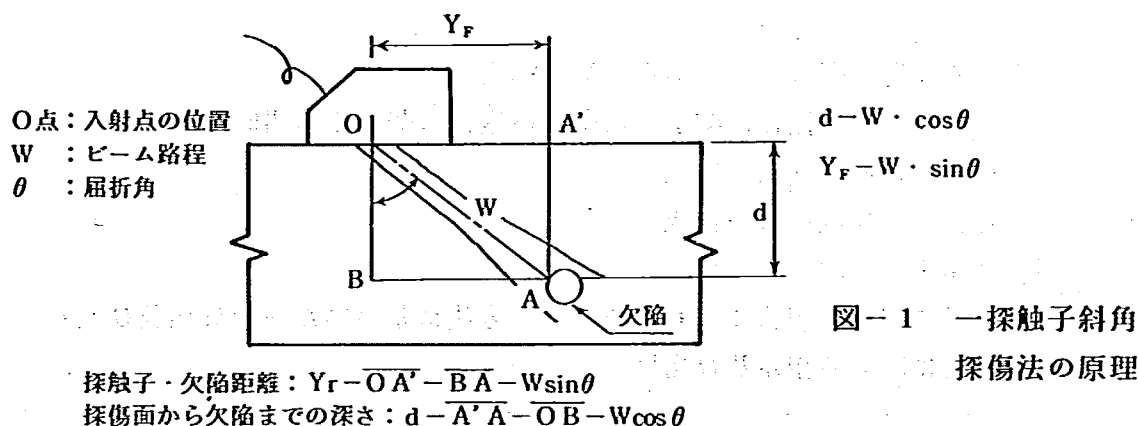
この要領書は、ダムゲートに使用されている遠心铸造鋼管製油圧シリンダチューブを対象とした現地での超音波探傷試験に適用する。

1.2 試験の目的と試験方法

超音波探傷試験は、シリンダチューブの内面表層部及び内部の欠陥検出を目的とし、一探触子斜角探傷法で行う。

【解説】

本要領書による超音波探傷試験は、シリンダチューブの内面表層部及び内部の欠陥、特に内面から垂直方向（板厚方向）に発生した割れの検出を主な目的とするため、図-1に示すような、一探触子斜角探傷法で行うものとする。



1.3 準拠図書

- 1) JIS Z 2344-1987「金属材料のパルス反射法による超音波探傷試験方法通則」
- 2) JIS Z 3060-1988「鋼溶接部の超音波探傷試験方法及び試験結果の等級分類」

1.4 試験技術者

超音波探傷試験の試験作業、試験結果の判定及び試験成績表の作成は、（社）日本非破壊検査協会が認定した超音波検査2種技術者が行い、超音波検査3種技術者がこれを確認する。

【解説】

（社）日本非破壊検査協会規定 NDIS 0601-88「非破壊検査技術者技量認定規定」では、次の表-1に示すように、非破壊検査技術者の種類と試験の内容が定められている。この表を基に、超音波探傷試験の試験作業、試験結果の判定及び試験成績表の作成は超音波検査2種技術者が行い、超音波検査3種技術者がこれを確認することとした。

表－１ 非破壊検査技術者の種類と試験の内容

種 類	試 験 の 内 容
3 種 技 術 者	非破壊試験概論（該当する技術部門以外の非破壊試験に関する基礎知識） 検査計画の立案及び実施 該当する技術部門の試験の原理、設置及び試験方法 該当する技術部門の仕様書、要領書及び手順書の作成、審査、承認 試験結果の解読、評価及び判定 試験成績書の作成又は判定 国内及び国外規格に関する知識 1種及び2種技術者の教育計画の立案又は承認 安全管理
2 種 技 術 者	非破壊試験概論（該当する技術部門以外の非破壊試験の簡単な原理及び特徴） 該当する技術部門の試験に関する基礎知識 装置の保守点検、操作に関する知識及び施行に関する専門的知識 試験作業の管理と試験の実施 手順書及び試験成績書の作成 規格に関する知識 試験結果の解読、規格により定められた方法に基づいた等級分類及び判定 安全衛生に関する指示及び指導
1 種 技 術 者	該当する技術部門の試験技術の基本並びに必要とする取扱い試験手順 試験作業の実施 定められた方法に基づいた等級分類 試験記録の作成 安全衛生に関する注意事項

1.5 協議事項

本要領書に規定している事項によって、処理し得ないような事情又は事態が発生したと判断したときには、可及的速やかに監督職員に報告し、協議を行うものとする。

2. 試験体の調査及び探傷用器材の準備

2.1 試験体の調査項目と準備

試験に先立ち、試験体について、次に示す項目の調査及び準備を行う。

1) チューブ肉厚の測定

試験体の肉厚を垂直探触子を用いて垂直法により測定する。さらに、試験体の減衰状態を測定し、そのときの探傷器のブラウン管写真を記録する。

2) 探傷面の調査

原則として、塗膜を除去した状態で、探傷面の手入れを行う。

3) 探傷基準線のけがき

あらかじめ探傷基準線を探傷面にけがいておく。シリンダチューブの長手（軸）方向には50mmピッチで、円周方向には90度ピッチでけがき線を書いておく。

【解説】

1) チューブ肉厚の測定

垂直探触子5Z20Nを用いて、試験体の肉厚を計測する。さらに、試験体底面（内面）エコーを5本ブラウン管上に現し、減衰値を測定しておく。この減衰値は、遠心鑄造鋼管の偏析層を推定するのに用いる。

肉厚計測及び減衰測定を行う箇所は、シリンダチューブの長手方向1/4、2/4及び3/4長さの位置において、周方向に90度ピッチの計12箇所を原則とする。

2) 探傷面の調査

塗膜が浮いたり剥離している場合や、塗膜の厚さによる補正が困難と思われる場合を考慮し、原則として、最初から塗膜をはがして探傷することとする。この場合、探触子の走査を妨げるような、塗膜の残査を無くすように、探傷面の手入れを行うこととする。

3) 探傷基準線のけがき

超音波探傷時に、探触子の位置がスケール等で計れるように、あらかじめ探傷基準線を探傷面にけがいておく。

2.2 探傷装置

1) 超音波探傷器

現地測定に使用する超音波探傷器は、ポータブル型パルス反射式超音波探傷器とする。超音波探傷器の性能及び点検方法は、JIS Z 2344-1987 に準拠するものとする。

2) 超音波探触子

現地測定に使用する超音波探触子は、下記に示すものを使用する。また、超音波探触子の性能及び点検方法は、JIS Z 2344-1987 に準拠するものとする。

① 垂直探触子：

5Z20N （肉厚測定、減衰測定及び測定範囲の予備調整に使用）

② 斜角探触子：

5Z10X10A45 （軸方向探傷用に接触面を加工する）

5Z10X10A45 （周方向探傷用に接触面を加工する）

接触面の加工は、探傷方向と試験体曲率半径によって行うものとする。

【解説】

2) 超音波探触子

現地測定に使用する超音波探触子は、試験体内面からの割れを検出するのに適した、周波数5MHzで屈折角45度の横波斜角探触子を用いる。ただし、探触子と試験体表面との接触状態をよくするため、探触子の接触面の加工を、探傷方向と試験体曲率半径（外径）及び肉厚によって行うものとする。

2.3 試験片

1) 標準試験片

JIS Z 2345「超音波探傷用標準試験片」に規定するSTB-A1又はSTB-A3を使用する。

2) 対比試験片（RB）

遠心鑄造鋼管製油圧シリンダから作製したRB-I及びRB-IIの対比試験片を使用する。

3) 現地計測用対比試験片（現地RB）

曲率半径（外径）及び肉厚を試験体と同じくした炭素鋼SS400製のRB-Iタイプ及びRB-IIタイプの対比試験片を使用する。

【解説】

1) 標準試験片

あらかじめ垂直探触子を用い、STB-A1の91mm又はSTB-A3の45.5mmの長さの部分を用いて、横波の測定範囲125mmに時間軸を予備調整するために使用する。

2) 対比試験片(RB) (図-2 および図-3)

a) 周方向欠陥を探傷する場合

JIS Z 3060-1988附属書2に準拠すれば、RB-Iは曲率半径が203~337mmで肉厚が20~45mmまでの試験体に適用することができる。また、このとき探触子の曲面加工はしなくて良い。

ここで、表-2の遠心鑄造鋼管製油圧シリンダの設置状況に示すように、鹿の子ダム及び生見川ダムの2ダムがRB-Iの適用範囲からはずれ、曲率半径はそれぞれ127mmと170mmである。この2ダムを検査対象とするには、曲率と肉厚の関係から対比試験片を新たに2体作製せざるをえない。

b) 長手方向(軸方向)欠陥を探傷する場合

JIS Z 3060-1988附属書3に準拠すれば、曲率半径が250mm未満の場合にはRB-IIのように、試験体と同一鋼材、同一形状・寸法の対比試験片を使用し、また、このとき探触子の曲面加工を行うことになっている。

一方、曲率半径が250mm以上の場合には、平板状の対比試験片を使用し、探触子の曲面加工はしなくて良い。

ここで、a)と同様に表-2の遠心鑄造鋼管製油圧シリンダの設置状況によれば、石手川ダム及び高山ダムの2ダム以外は試験体と同一鋼材、同一形状・寸法の対比試験片を使用しなければならない。

3) 現地計測用対比試験片(現地RB)

表-2の遠心鑄造鋼管製油圧シリンダを現地で超音波探傷するためには、上述のように、本来は試験体と同一鋼材で作製したRB-Iタイプの対比試験片を3体、RB-IIタイプの対比試験片を5体とRB-4を1体必要とする。しかしながら、試験体と同一鋼材の対比試験片が作製不可と考えられるので、その対策として、検査対象のシリンダと曲率半径(外径)及び肉厚を試験体と同じくした炭素鋼SS400製の現地計測用対比試験片を作製し、補正用対比試験片として使用することとした。

このとき、探触子は各試験体に合わせて周方向及び軸方向の曲面加工を行うものとする。

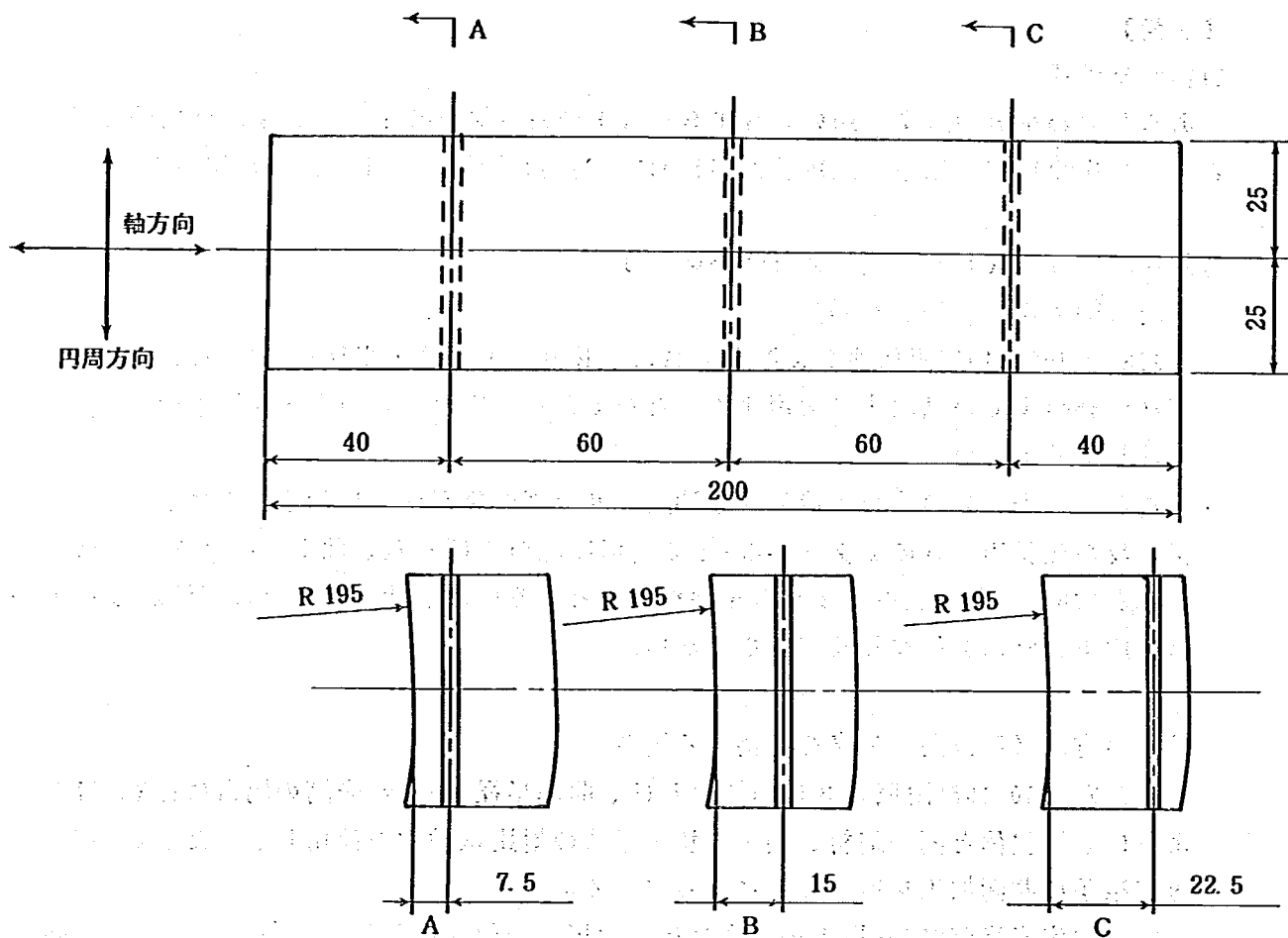


图-2 RB-I

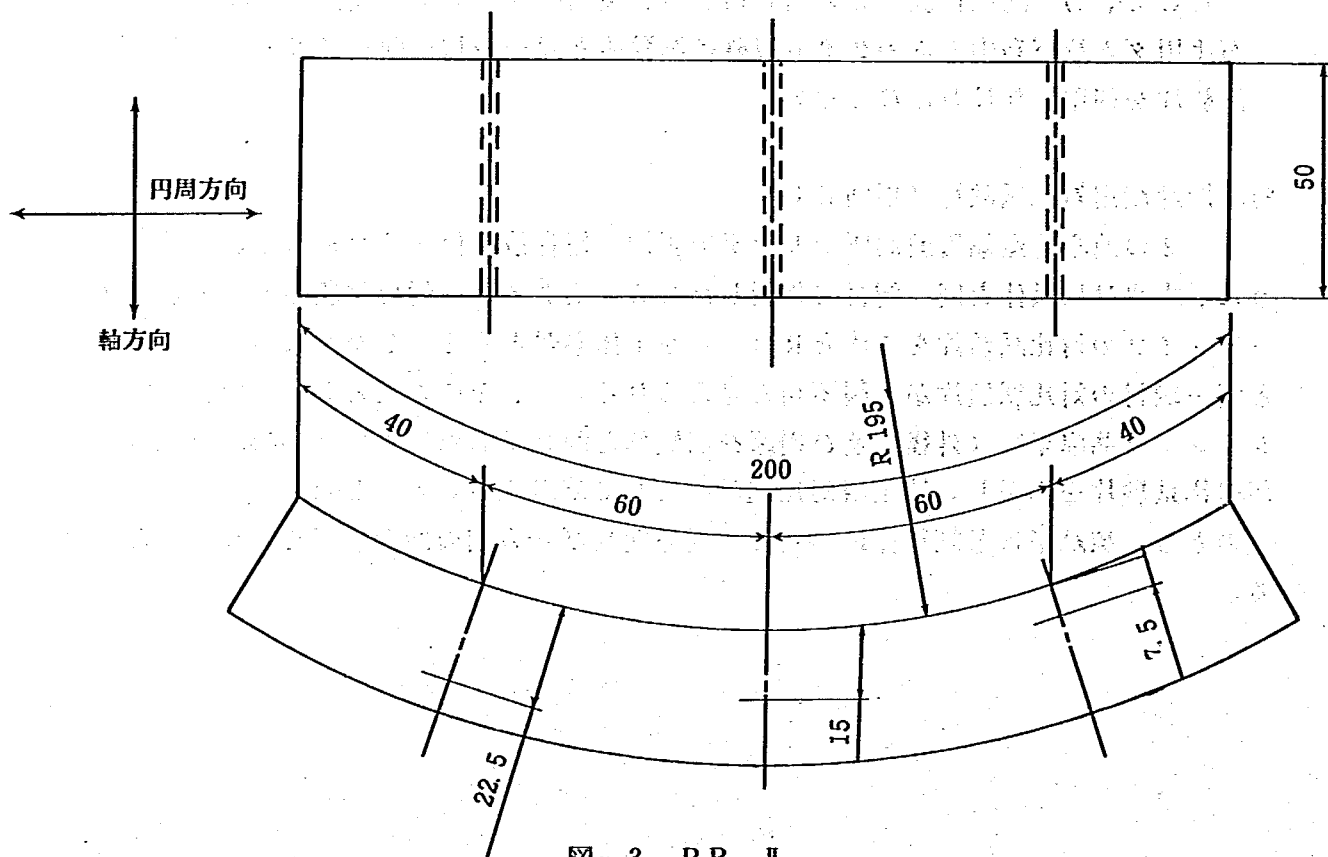


图-3 RB-II

表-2 遠心铸造鋼管製油圧シリンダチューブ使用ダムと
対比試験片使用の可否

検査対象 ダム名	形式	曲率 半径	肉厚	R B - I 使用可否	現地 R B 作製要否	R B - II 使用可否	現地 R B 作製要否
鹿の子ダム	揺動	127	12	×	必要	×	必要
四十四田 ダム	固定	225	30	○	必要	○	必要
石手川ダム	揺動	229	35	○	×	○	×
高山ダム	揺動	260	30	○	×	○	×
笠堀ダム	固定	203	18	○	×	×	必要
生見川ダム	揺動	170	30	×	必要	×	必要
祝子川ダム	揺動	220	30	○	×	×	必要

○印は R B - I 又は R B - II が使用でき、×印は使用できないシリンダチューブを、
また、「必要」は炭素鋼 S S 4 0 0 製現地測定用対比試験片の作製が必要なシリンダ
チューブを示す。

2.4 接触媒質

グリセリン又は音響結合がこれと同等以上の接触媒質を使用する。

3. 探傷

3.1 探傷すべき部位

遠心铸造鋼管製油圧シリンダチューブのうち、以下に示す探傷除外部分を除く全てを探傷部位とする。

探傷除外部分：ヘッドカバー、ロッドカバー、フランジハブ部、

揺動シリンダのピン取付補強部、

油圧配管、梯子などの取付金物、バンドが設置されている部分、

探触子を走査する空間がない部分

ただし、これらの探傷除外部位の中で、取り外せるものは取り外して探傷を実施しなければならない。

【解説】

水門扉の開閉用に用いられる油圧シリンダは、大別して次の2つの支持形式を持つ。

a) 固定シリンダ式

本方式はシリンダを所定の位置に固定して扉体の開閉を行うもので、ピストンロッドの移動に伴うシリンダチューブの動きのない形式である。

本方式の設置例を図-4に示す。

b) 揺動シリンダ式

本方式は、シリンダを回転可能なように支承ピンなどにより支持し、扉体の開閉を行うもので、ピストンロッドの移動に伴いシリンダチューブが揺動する形式である。本方式の設置例を図-5に示す。

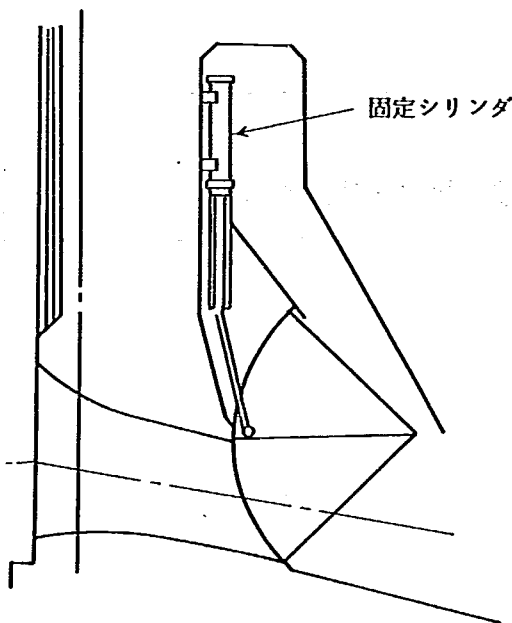


図-4 固定シリンダ式

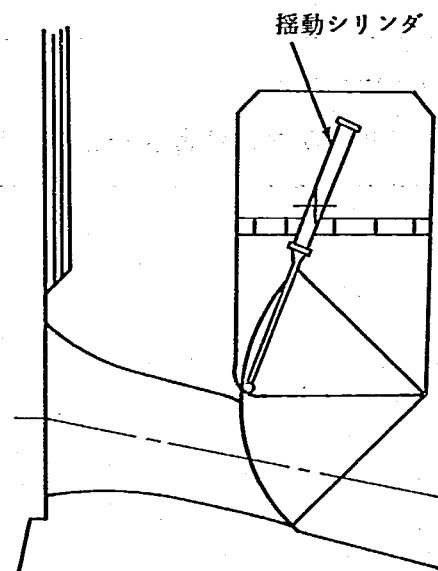


図-5 揺動シリンダ式

建設省直轄（北海道開発局、沖縄総合開発局、水資源開発公団を含む）及び補助ダムで、洪水調節機能を有するゲート設備と、フィルダムの緊急放流設備を対象として、開閉装置に遠心鋳造鋼管製の油圧シリンダチューブを用いているものを調査した結果、表－２に示すように、固定シリンダ式が２ダム、揺動シリンダ式が５ダムであった。これらの遠心鋳造鋼管製のシリンダチューブを現地で超音波探傷する場合、図－６のＡからＦに示す部分を探傷の対象部位から除くこととした。

Ａ：ヘッドカバー

Ｂ：ロッドカバー

Ｃ：シリンダチューブフランジハブ部

Ｄ：揺動シリンダのピン取付補強部

Ｅ：油圧配管、梯子などの取付金物、バンドが設置されている部分

Ｆ：揺動シリンダと開閉装置架台がラップし、十分な空間が確保されていないために超音波探傷作業が不可能な部分

これらのうち、Ａ、Ｂ、Ｃは材質、製造方法が遠心鋳造と異なるため除外した。また、Ｄ、Ｅは他の金属により覆われているため除外したものであるが、これらのうちで取り外しができるものは取り外して探傷部位に加えることとした。

3.2 探傷面及び探傷方向

探傷はシリンダの外表面から行い、周方向探傷は時計方向と反時計方向から、軸方向探傷は上下方向から全面積を探傷する。

尚、斜め方向からの探傷は行わない。

【解説】

1) 超音波探傷の可能な範囲に対して、周方向及び軸方向から全面積を探傷するものとしたのは、次の理由による。

a) 欠陥の発生原因が鋳造時の冷却過程にあることが明らかになっている。もしも亀裂状欠陥が油圧シリンダチューブに存在しているとした場合、必ずしもシリンダチューブの確定された部分に発生しているとは確定できない。

b) 遠心鋳造鋼管製油圧シリンダチューブは、肉厚方向に金属の結晶組織が変化しており、凝固組織が内面側に、微細組織が外面側に存在していることが明らかになっている。これは、遠心鋳造独特の鋳造方法から、このような肉厚方向の結晶組織変化がシリンダチューブ全長にわたって一様に存在しているものと推定され、もしも亀裂状欠陥が油圧シリンダチューブに存在しているとする、その深さは結晶組織の変化部まで達している可能性が高い。このような欠陥が存在している可能性が否定できない限り、部分的な探傷に限ることはできない。

2) 斜め方向の探傷は、曲面加工した探触子では不可能であること、並びに周方向及び軸方向の探傷結果で欠陥がない場合には、遠心鋳造管の製造過程及び実機使用条件を考えると斜め方向に欠陥が発生しているとは考えにくいので、斜め方向探傷は行わないこととした。

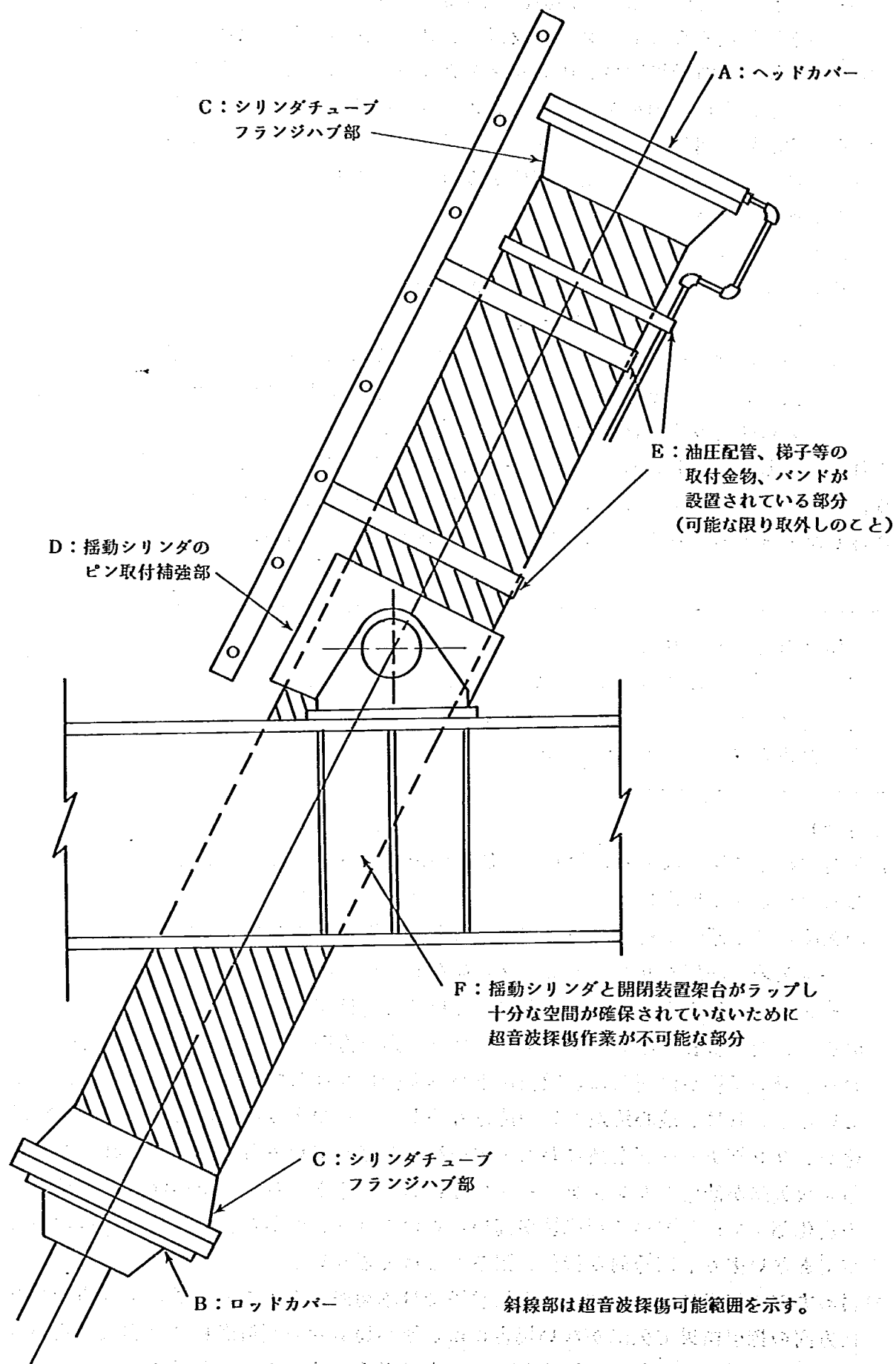


図-6 シリンダチューブへの超音波探傷可能領域

3.3 探傷装置の調整

1)測定範囲の調整

a)予備調整

あらかじめ垂直探触子を用い、STB-A1の91mm又はSTB-A3の45.5mmの長さの部分を用いて、横波100mmの測定範囲に時間軸を予備調整しておく。

b)原点の調整

探傷に使用する対比試験片又は現地計測用対比試験片と斜角探触子を用いてゼロ点調整だけを行って原点を調整する。

2)入射点及び探傷屈折角の測定

探傷に使用する対比試験片又は現地計測用対比試験片と斜角探触子を用いて、探触子の入射点及び探傷屈折角を測定する。

【解説】

1)測定範囲の調整

a)予備調整

垂直探触子をSTB-A1の91mmの長さの部分に当てて、底面エコーを2本以上探傷器のブラウン管上に出したとき、このエコーの間隔は横波で50mmに相当し、またSTB-A3の45.5mmの長さの部分に当てたときには25mmに相当するので、この間隔を利用して、横波100mmの測定範囲に時間軸を予備調整する。

b)原点の調整

対比試験片(RB)が使用できる場合は対比試験片と、また対比試験片が使用できない場合は現地計測用対比試験片(現地RB)と、探傷に使用する斜角探触子を用い、以下のように原点を調整する。

*予備調整をしたままの状態、探触子を図-7に示すGとHの位置において、それぞれのエコー高さが最大となる時の見かけのビーム路程 W_G と W_H を読みとる。ここで、探触子をGとHに置いたのは、検出したい欠陥が主としてシリンドチューブの内面側にあるためである。

*次に、探触子を再びGの位置に置き、エコー高さが最大値を示す位置でのエコーの立ち上がり位置が

$$2(W_H - W_G) - 1.5$$

の値に一致するようにゼロ点調整だけを行って原点を調整する。

ここで、1.5mmを引いたのは、基準穴の半径分である。

2) 入射点及び探傷屈折角の測定

図のGおよびHの位置において、それぞれの試験片の端面から探触子までの距離 g と h とを測定する。接近限界長さ L を次式によって計算し、入射点の位置を決定する。

$$L = 2h - 3g$$

探傷屈折角は、上述の原点調整及び入射点の測定が終了したのち、再び探触子を図のHの位置に置いたときのビーム路程 W と $h + L$ を用いて次式により算出する。

$$\theta = \sin^{-1} \{ (h + L) / W \}$$

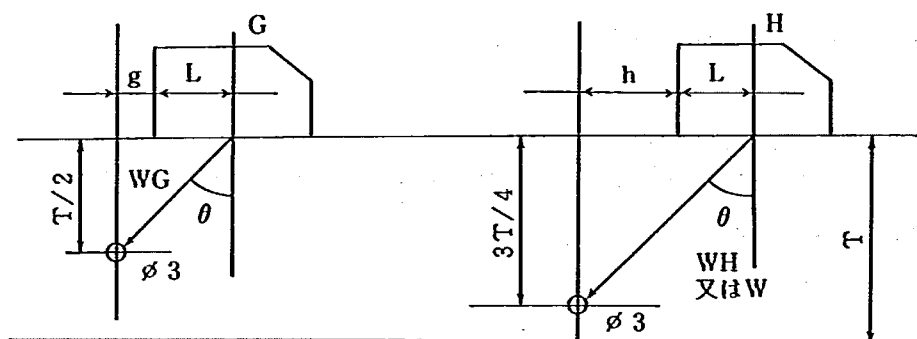


図-7 原点調整、入射点及び探傷屈折角の測定法

3.4 エコー高さ区分線とその名称

対比試験片 (RB) 又は現地計測用対比試験片 (現地RB) を用いて、超音波探傷器のブラウン管目盛板上に距離振幅特性曲線を作成し、これをエコー高さ区分線として用いる。

この距離振幅特性曲線をH線と呼び、さらにこのH線から12dB下がったエコー高さとなるエコー高さ区分線を引き、これをL線とする。

この距離振幅特性曲線は、周方向用探触子及び軸方向用探触子を用いて、周方向探傷用と軸方向探傷用に2本別々に作成しなければならない。

【解説】

対比試験片を使用する場合は対比試験片の基準穴を、現地計測用対比試験片を用いる場合は現地計測用の基準穴を直射でとらえ、3つの基準穴の最大エコー高さを、超音波探傷器のブラウン管上にプロットする。これらの点を滑らかな線で結んで距離振幅特性曲線を描き、この曲線をH線とする。

さらに、小さな欠陥からのエコーも評価の対象にできるように、この距離振幅特性曲線から12dB下がった (感度が4倍に等しい) 曲線を引き、これをL線とする。距離振幅特性曲線の作成例を図-8に示す。

周方向用探傷と軸方向探傷では、距離振幅特性曲線が異なるので、必ず2本別々に作成することとした。

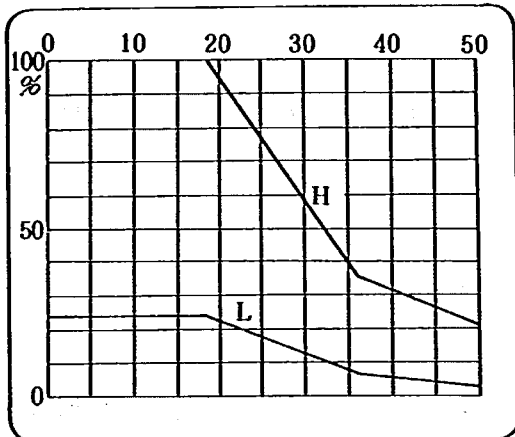


図-8 距離振幅特性曲線の作成例

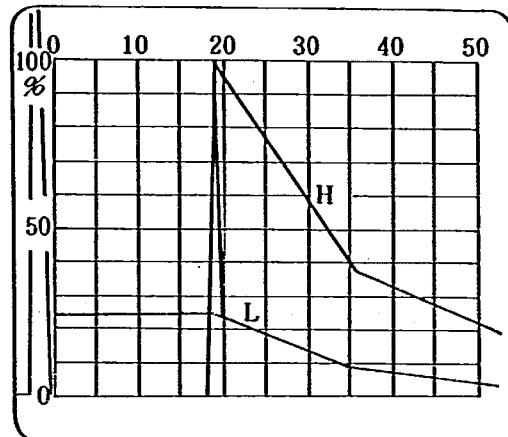


図-9 基準感度の合わせ方

3.5 基準感度

対比試験片（RB）又は現地用対比試験片（現地RB）の基準穴の最大エコー高さをH線に合わせ、これを探傷の基準感度とする。

【解説】

対比試験片を使用する場合は対比試験片の基準穴を、現地計測用対比試験片を用いる場合は現地計測用の基準穴を直射でとらえ、その最大エコー高さを図-9のようにH線に合わせ、これを探傷の基準感度とする。

3.6 感度補正

1) シリンダ内部の作動油の有無による補正

シリンダ内部の作動油が有るときの補正量として、1.7dB加える。

2) 塗膜の有無による補正

原則として塗膜をはがして探傷するため、補正は行わない。

3) 試験体の材質及び形状による補正

RB-I、RB-IIと、炭素鋼SS41で作製した同一形状・同一寸法の現地計測用対比試験片（現地RB）とのエコー高さの差を求め、そのデシベル値を基準感度に加えて補正する。

4) 試験温度による補正

試験温度による補正は行わない。

【解説】

1) シリンダ内部の作動油の有無による補正

現在までに実験等で最大1.7dBの感度低下が認められたので、欠陥見落としを防ぐため、基準感度をさらに1.7dB高める。

2) 塗膜の有無による補正

前述のように、探傷試験は原則として無塗装状態で行うことを原則とする。

この理由として、

a) 塗膜が存在する状態で超音波探傷を行ったところ、塗膜の厚さにより $0.01\text{dB}/\mu\text{m}$ の減衰が認められたので、基準感度をさらに(膜厚 $\mu\text{m} \times 0.01\text{dB}$) 高める必要がある。膜厚による補正を行い探傷試験を実施する方法としては、

*まず規準通り $150\mu\text{m}$ の塗膜厚さがあるとして、4.2dB感度を上げて指示エコーの検出(予備探傷)を行う。

*次に、指示エコーが検出された箇所で欠陥か否かを判定する精密探傷を行い、このときに探触子を当てる部分の膜厚を計測して適切な補正をする。

しかしながら、このように現場で1カ所ごとに膜厚を測定し、感度補正を行いながら全面積を探傷するやりかたは、作業が極めて煩雑で、かつ効率が悪く、非現実的である。

b) 現場の油圧シリンダチューブにおいて、塗膜の状態は千差万別であろうと推定される。さらに、経年変化した塗膜は剝離していることも予想され、このような箇所では超音波が試験体内に伝搬して行かない。塗膜剝離部分を確認、これを除去しながら探傷作業を進めることは、著しく作業効率を低下させる。

以上のように、塗膜がある状態でシリンダチューブの超音波探傷を行うと、欠陥検出精度の低下だけでなく、作業効率も劣る。このため、塗膜をはがして探傷することを原則とし、塗膜による補正は行わない。

3) 試験体の材質及び形状による補正

試験体と同一形状・同一寸法の炭素鋼SS400製対比試験片を用いる場合、曲率半径及び肉厚による補正は行わないが、材質の違いによる減衰の補正を行わなければならない。

この材質による減衰補正方法は、

*まず、図-10 に示すように、RB-I、RB-II及びこれと同一形状・同一寸法の現地計測用対比試験片との距離振幅特性曲線とのエコー高さの差をデシベル値で求めておく。

*現地計測時、基準感度にこの材質の違いによる補正值を加える。

4) 試験温度による補正

試験温度16℃と4℃とのエコー高さの差は0.3dBと小さく誤差範囲内であるため、試験温度による補正は行わないこととする。

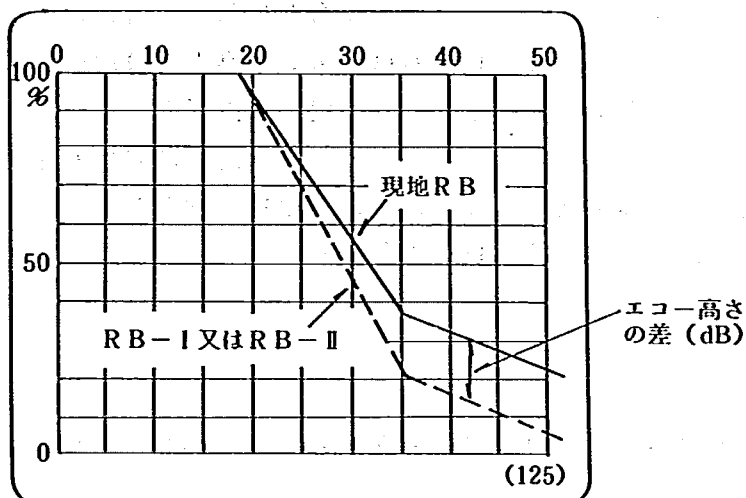


図-10 試験体の材質による減衰値の補正方法

3.7 探傷感度

基準感度に感度補正値を加え、これを探傷感度とする。欠陥の見落としを防ぐため、規定感度より高い感度（+6 dB）にゲイン調整して探傷することとする。ただし、エコー高さの測定や欠陥寸法の測定時には、規定の探傷感度に調整する。

【解説】

基準感度に各感度補正値を加え、これを探傷感度とする。欠陥の見落としを防ぐため、規定感度より高い感度（例えば+6 dB）にゲイン調整して探傷することとする。ただし、エコー高さの測定や欠陥寸法の測定時には、規定の探傷感度に調整する。基準感度及び感度補正値は必ず記録する。

3.8 検出レベル

基準感度に各感度補正値を加えた探傷感度に調整し、周方向及び長手（軸）方向探傷を行う。

エコー高さ区分線のH線を超える高さのエコーは欠陥を検出したエコーとみなし、これ以下の高さのエコーは欠陥からのエコーとみなさない。

【解説】

指示エコーを欠陥エコーとして評価するための検出レベルは、エコー高さ区分線のH線とする。

塗膜無しで直径2mmの縦穴を検出したときの最大エコー高さは17%であった。このときのビーム路程における距離振幅特性曲線（H線）のエコー高さは13%であったの

で、直径2mmの縦穴からのエコー高さはH線を超えていた。

この縦穴欠陥と同等以上の欠陥を検出することができるように、H線を検出レベルとした。

もしも塗膜をつけたままで探傷する場合が生じた場合には、指示エコーを欠陥エコーとして評価するための検出レベルは、エコー高さ区分線のL線とする。

前年度研究結果において、膜厚500 μ mの場合に直径2mmの縦穴を検出したときの最大エコー高さは3%であった。このときのビーム路程における距離振幅特性曲線（H線）のエコー高さは10%であったので、その差は10.5dBとなるが、欠陥の見落としを防ぐため、12dB下げたL線を検出レベルとする。

3.9 記録レベル

エコー高さ区分線のL線を超える高さのエコーが得られたときは、これを記録する。

【解説】

検出レベルはH線となっているが、欠陥の傾きによってはエコー高さが低くなることも有り得るし、またH線より低いエコーでも連続的に検出されれば、欠陥として疑ってみる必要がある。このため、検出レベルより低いエコーでも、L線を超えるエコーに関しては欠陥エコーとして記録することとする。

3.10 エコー高さの測定

記録レベルを超えるエコーが検出された場合、最大エコー高さを示す位置及び方向に探触子を置き、その最大エコー高さを読み、それを記録する。また、そのときの探触子位置（X，Y）及びビーム路程Wを0.1mm単位で記録する。

【解説】

最大エコー高さを示す位置及び方向に探触子を置き、その最大エコー高さを探傷器目盛板上のパーセントで読み、それを記録する。

また、そのときの探触子位置を、探傷基準線（けがき線）を基にして、周方向をX，長手（軸）方向をYとして0.1mm単位で測定し、ビーム路程Wとともに記録する。

3.11 欠陥の横断面位置の測定

最大エコー高さが得られた探触子位置（周方向X，長手（軸）方向Y）とビーム路程Wから、試験体横断面の位置を測定する。

【解説】

最大エコー高さが得られた探触子位置（周方向X，長手（軸）方向Y）とビーム路程Wおよび探触子の屈折角 θ を用いて、次の(1)及び(2)に示す式により、探傷面（外表面）から欠陥までの深さd及び探傷基準線から欠陥までの距離x又はyを計算で求め、欠陥の横断面位置を測定する。

(1)欠陥までの深さ

直射法の場合： $d = W \cdot \cos \theta$

一回反射法の場合： $d = 2t - W \cdot \cos \theta$

ここで、tは試験体の肉厚を示す。

(2)探傷基準線から欠陥までの距離x又はy

周方向探傷の場合： $x = X - W \cdot \sin \theta$

欠陥位置は（x，Y）で表す。

軸方向探傷の場合： $y = Y - W \cdot \sin \theta$

欠陥位置は（X，y）で表す。

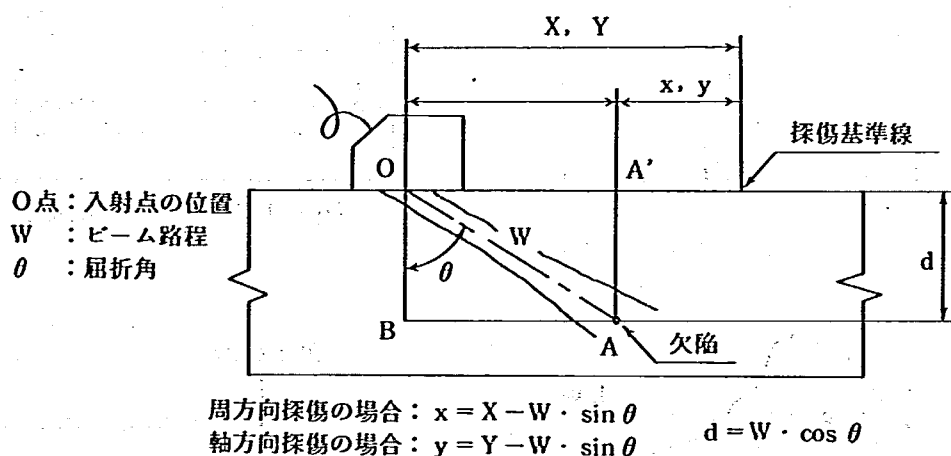


図-11 欠陥の横断面位置の求め方

3.12 欠陥寸法測定

最大エコー高さを示す位置を中心とした左右走査を行い、エコー高さがL線を超える範囲の探触子移動距離を1mm単位で測定して、欠陥指示長さとする。

一つの欠陥を両側から検出した場合は、各々の探傷面において、欠陥の端を求めそれらのすべてから欠陥が最も長くなるような両端を選んで、その距離を欠陥指示長さとする。

【解説】

最大エコー高さを示す位置及び方向に探触子を置き、その位置を中心として欠陥の長さに沿って探触子を若干の前後走査を行いながら左右方向に移動させ、欠陥からのエコー高さがL線の高さとも一致する探触子位置におけるビーム中心軸上の欠陥位置を欠陥の端とする。シリンダチューブ外表面上で欠陥の始端から終端までの距離を1mm単位で測定し、欠陥指示長さとする。(図-12, 図-13)

一つの欠陥を両側から検出した場合は、各々の探傷面において、欠陥の始端と終端を求め、そのうち欠陥の始端と終端との間隔が最も長くなるように欠陥指示長さを求める。(図-14)

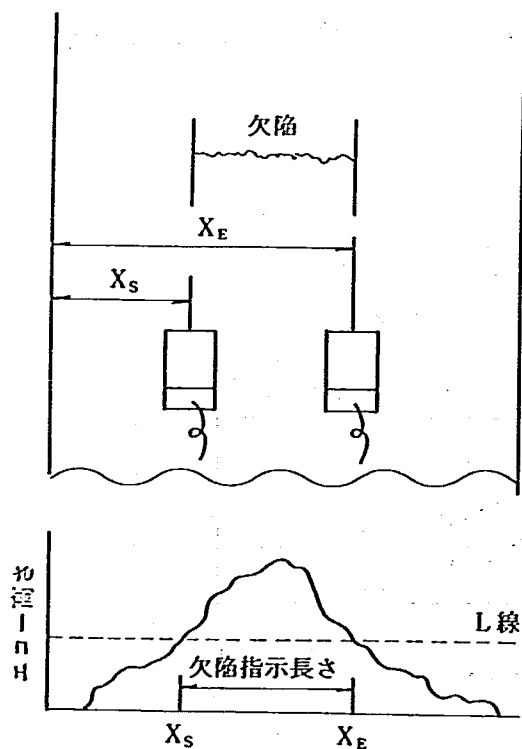


図-12 欠陥指示長さの測定方法

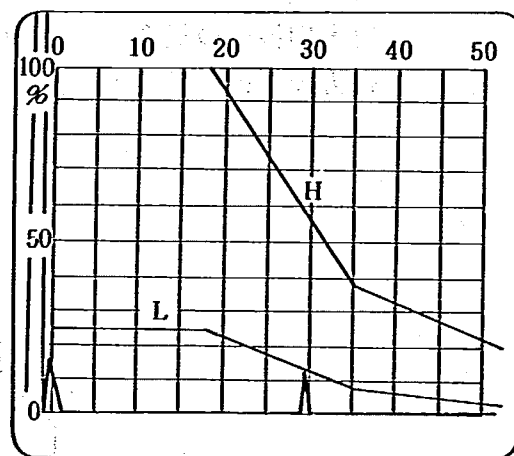


図-13 欠陥の端の求め方

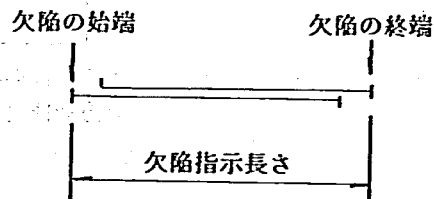


図-14 欠陥指示長さの求め方

3.13 欠陥位置の表示

欠陥の位置（探傷基準線からの距離及び探傷面からの深さ位置）及び欠陥指示長さを、試験体表面の展開図及び試験体断面図上に表示する。

3.14 欠陥の確認

欠陥が検出された場合は、欠陥の位置、形状、寸法をより正確に把握し、当該シリンダチューブの安全性を評価・検討するために、精密探傷を行うものとする。

【解説】

精密探傷による欠陥の確認は、全面放射線透過試験によるものとする。放射線透過試験は、JIS G 0581「鋳鋼品の放射線透過試験方法及び透過写真の等級分類方法」に準拠して実施するものとする。

なお、この精密探傷は、原則として納入メーカーの工場で実施する。したがって、シリンダチューブを現場から搬出することになるが、現場の諸条件により搬出が極めて困難な場合には、シリンダチューブの精密探傷を現場で行うことを検討するものとする。

4. 記録

探傷試験結果報告書には、以下の事項を記録する。

- 1) 施工業者名
- 2) ダム名
- 3) 油圧シリンダ番号
- 4) 試験年月日
- 5) 試験従事者の署名及び資格
- 6) 材質及び寸法
- 7) 使用した探傷器名、性能及び点検日時
- 8) 使用した探触子名、性能及び点検日時
- 9) 使用した標準試験片、対比試験片
- 10) 探傷部分の状態及び探傷基準線の位置
- 11) 探傷方向及び探傷範囲
- 12) 接触媒質
- 13) 基準感度及び感度補正量
- 14) 検出レベル
- 15) 最大エコー高さ
- 16) 欠陥指示長さ
- 17) 欠陥位置（円周方向の位置、軸方向の位置、ビーム路程）
- 18) 距離振幅特性曲線
- 19) シリンダチューブ、探傷風景、記録レベルを超えたエコーの探傷波形の写真
- 20) 協議事項内容

5. 探傷結果の評価

2.1【解説】1)で規定する超音波エコーの減衰状態を調べ、偏析層厚さを推定する。偏析層の厚さがシリンダチューブ厚さに占める割合が大きいものについては、亀裂の発生の規模が大きいと推定される。したがって、超音波探傷を行う場合、より十分な注意を払って実施することが重要と考えられる。

なお、亀裂欠陥の発生している油圧シリンダチューブが発見された場合には、現地又は工場にて解体し、精密検査を実施するものとする。最終的な強度評価や検査後の使用の可否等についての判断、評価は精密検査結果をもって行うものとする。

鋼構造物の超音波探傷による
点検・整備

I S S N 0386-5878
土 研 資 料 第3102号
平成4年3月 (1992)

杉山 篤, 茂木 正晴

要 旨 現在使用されている非破壊検査手法は主に工場内での検査を対象としており、現場に対応した簡便かつ信頼性の高い検査手法が確立されていないのが現状である。

そのため現場での溶接部の継手部、鋳鋼品等における検査基準及び手法の確立がされておらず、また施設管理における診断に関しては、目視による手法が現状である。そこで、現場での鋼構造物の内部診断を簡便に行う手法として有効な超音波探傷による検査手法について調査・実験し、適用における手法の確立を行った。

キーワード：点検・整備, 鋼構造物, 非破壊検査, 超音波探傷, 欠陥エコー

郵便はがき

郵便切手
は
っ
て
下
さ
い

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市大字旭一番地
建設省土木研究所
機械施工部機械研究室
行

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第3102号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印