

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5633059号
(P5633059)

(45) 発行日 平成26年12月3日(2014.12.3)

(24) 登録日 平成26年10月24日(2014.10.24)

(51) Int.Cl.

F I

GO 1 N 29/30 (2006.01)

GO 1 N 29/22 5 0 6

請求項の数 10 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2009-121021 (P2009-121021)	(73) 特許権者	000006013 三菱電機株式会社
(22) 出願日	平成21年5月19日 (2009.5.19)		東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(65) 公開番号	特開2010-54497 (P2010-54497A)	(73) 特許権者	392036153 菱電湘南エレクトロニクス株式会社
(43) 公開日	平成22年3月11日 (2010.3.11)		神奈川県鎌倉市山崎25番地
審査請求日	平成24年3月23日 (2012.3.23)	(73) 特許権者	301031392 独立行政法人土木研究所
(31) 優先権主張番号	特願2008-198218 (P2008-198218)		茨城県つくば市南原1番地6
(32) 優先日	平成20年7月31日 (2008.7.31)	(74) 代理人	100110423 弁理士 曾我 道治
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(74) 代理人	100084010 弁理士 古川 秀利
		(74) 代理人	100094695 弁理士 鈴木 憲七

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超音波探傷の感度設定方法および超音波探傷装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

送信用の超音波探触子によって超音波を基準となる試験片中に送信し、
前記試験片中を拡がって伝搬する横波に伴い表面に発生する回転運動の波動を前記送信用の超音波探触子と離隔して設けられた受信用の超音波探触子で受信して受信信号の受信感度を記憶し、

前記送信用の超音波探触子と前記受信用の超音波探触子と間の距離を同じにして、前記試験片の代わりに実際の試験体を用い、前記送信用の超音波探触子によって超音波を前記試験体中に送信し、

前記試験体中を拡がって伝搬する横波に伴い表面に発生する回転運動の波動を前記受信用の超音波探触子で受信して受信信号の受信感度を記憶し、

前記2つの受信信号の受信感度の比または差に基づいて、基準となる前記試験片と実際の前記試験体との間における超音波の伝達効率の差を補正することで、超音波探傷の感度補正を行う

ことを特徴とする超音波探傷の感度設定方法。

【請求項2】

請求項1に記載の超音波探傷の感度設定方法において、

前記送信用の超音波探触子の角度及び前記受信用の超音波探触子の角度を、前記試験片中及び実際の試験体中を拡がって伝搬する横波に伴い表面に発生する回転運動の波動による受信信号の振幅が最大となるように調整して、前記2つの受信信号の受信感度をそれぞれ

10

20

れ記憶する

ことを特徴とする超音波探傷の感度設定方法。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載の超音波探傷の感度設定方法において、

前記受信用の超音波探触子の角度を、前記試験片及び前記試験体中を拡がって伝搬する横波に伴い表面に発生する回転運動の波動が前記受信用の超音波探触子のくさび内に形成する波面に対し、前記受信用の超音波探触子に用いられている振動子が平行となるように角度を調整すると共に、前記送信用の超音波探触子の角度を、前記受信用の超音波探触子と同様に調整して、前記 2 つの受信信号の受信感度をそれぞれ記憶する

ことを特徴とする超音波探傷の感度設定方法。

10

【請求項 4】

請求項 2 または 3 に記載の超音波探傷の感度設定方法において、

前記送信用の超音波探触子または前記受信用の超音波探触子のどちらか一方を、送受兼用の超音波探触子として用い、

前記送受兼用の超音波探触子の角度を、前記試験片中を拡がって伝搬する横波に伴い表面に発生する回転運動の波動の受信信号の振幅が最大となるように調整した状態で固定しておく、

前記試験片中の基準となる反射源からエコーを受信し、前記送受兼用の超音波探触子を走査して前記反射源からのエコー高さとの関係とその時の感度を記憶し、

前記エコー高さとの関係を求めた時の感度の補正を、前記 2 つの受信信号の受信感度の比または差に基づいて行う

ことを特徴とする超音波探傷の感度設定方法。

20

【請求項 5】

請求項 2 または 3 に記載の超音波探傷の感度設定方法において、

前記送信用の超音波探触子の角度および前記受信用の超音波探触子の角度を、前記試験片中を拡がって伝搬する横波に伴い表面に発生する回転運動の波動の受信信号の振幅が最大となるようにそれぞれ調整した状態で固定しておく、

前記送信用の超音波探触子あるいは受信用の探触子を前記試験片の表面で走査して、前記試験片中を拡がって伝搬する横波に伴い表面に発生する回転運動の波動の受信信号の振幅とビーム路程との関係と、その時の感度を記憶し、

前記受信信号の振幅とビーム路程との関係を求めた時の感度の補正を、前記 2 つの受信信号の受信感度の比または差に基づいて行う

ことを特徴とする超音波探傷の感度設定方法。

30

【請求項 6】

電気信号によって駆動され超音波を基準となる試験片及び実際の試験体中に送信する送信用の超音波探触子と、

前記送信用の超音波探触子と離隔して設けられ、前記試験片及び前記試験体中を拡がって伝搬する横波に伴い表面に発生する回転運動の波動を電気信号として受信する受信用の超音波探触子と、

前記送信用の超音波探触子を励振し、かつ、前記受信用の超音波探触子からの電気信号を受信する送受信器と

を備え、

前記送受信器は、前記試験片中を拡がって伝搬する横波に伴い表面に発生する回転運動の波動に基づく受信信号の受信感度と、前記送信用の超音波探触子と前記受信用の超音波探触子との間の距離を同じにして、前記試験片の代わりに前記試験体を用いた際の、前記試験体中を拡がって伝搬する横波に伴い表面に発生する回転運動の波動に基づく受信信号の受信感度とをそれぞれ記憶し、2 つの受信信号の受信感度の比または差に基づいて、基準となる前記試験片と実際の前記試験体との間における超音波の伝達効率の差を補正することで、超音波探傷の感度補正を行う

ことを特徴とする超音波探傷装置。

40

50

【請求項 7】

請求項 6 に記載の超音波探傷装置において、

前記送信用の超音波探触子及び前記受信用の超音波探触子の角度を、前記試験片中及び前記試験体中を拡がって伝搬する横波に伴い表面に発生する回転運動の波動による受信信号の振幅が最大となるようにそれぞれ調整するための角度調整機構をさらに備えた

ことを特徴とする超音波探傷装置。

【請求項 8】

請求項 6 または 7 に記載の超音波探傷装置において、

前記角度調整機構は、前記受信用の超音波探触子の角度を、前記試験片中及び前記試験体中を拡がって伝搬する横波に伴い表面に発生する回転運動の波動が前記受信用の超音波探触子のくさび内に形成する波面に対し、前記受信用の超音波探触子に用いられている振動子が平行となるように角度を調整すると共に、前記送信用の超音波探触子の角度を、前記受信用の超音波探触子と同様に調整する

ことを特徴とする超音波探傷装置。

【請求項 9】

請求項 7 または 8 に記載の超音波探傷装置において、

前記送信用の超音波探触子または前記受信用の超音波探触子のどちらか一方を、送受兼用の超音波探触子として用い、

前記角度調整機構は、前記送受兼用の超音波探触子の角度を、前記試験片中を拡がって伝搬する横波に伴い表面に発生する回転運動の波動の受信信号の振幅が最大となるように調整した状態で固定しておき、

前記送受信器は、前記試験片中の基準となる反射源からエコーを受信し、前記送受兼用の超音波探触子を走査して前記反射源からのエコー高さとビーム路程との関係とその時の感度を記憶し、

前記エコー高さとビーム路程との関係を求めた時の感度の補正を、前記 2 つの受信信号の受信感度の比または差に基づいて行う

ことを特徴とする超音波探傷装置。

【請求項 10】

請求項 7 または 8 に記載の超音波探傷装置において、

前記角度調整機構は、前記送信用の超音波探触子および受信用の探触子の角度を、前記試験片中を拡がって伝搬する横波に伴い表面に発生する回転運動の波動の受信信号の振幅が最大となるようにそれぞれ調整した状態で固定しておき、

前記送受信器は、前記送信用あるいは受信用の超音波探触子を走査して前記試験片中を拡がって伝搬する横波に伴い表面に発生する回転運動の波動の受信信号の振幅とビーム路程との関係と、その時の感度を記憶し、

前記受信信号の振幅とビーム路程との関係を求めた時の感度の補正を、前記 2 つの受信信号の受信感度の比または差に基づいて行う

ことを特徴とする超音波探傷装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、固体に発生したきずを非破壊で検査する超音波探傷に関するものであり、特に、探傷に先立って行われる超音波探傷の感度設定方法および超音波探傷装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

超音波探傷は、探触子から試験体へ超音波ビームを伝搬させ、試験体内のきずで反射される反射波を探触子でエコーとして受信することにより、きず性状を判定するものである。きず性状の判定は、探傷前に設定した感度を基準にする。この感度設定は、例えば、非特許文献 1 に示されているように、基準となる試験片を用いて行われる。非特許文献 1 で

10

20

30

40

50

は、横穴を含んだ鋼試験片を用い、横穴からのエコーの高さとビーム路程との関係を実験的に求め、エコー高さ区分線を作成する方法を示している。実際の試験体で探傷を行う時には、きずのエコー高さとはエコー高さ区分線とを比較して、きず性状を判定する。

【 0 0 0 3 】

また、基準となる試験片は、表面が滑らかである。これに対し、実際の試験体は、表面が荒れているケースや、表面に塗装があるケースがある。すなわち、超音波の伝達効率が、基準となる試験片と実際の試験体とでは、異なる場合がある。このような場合には感度の補正を行って、きず性状の判定精度の向上を図る。感度の補正方法としては、例えば、非特許文献 2 に示されている。非特許文献 2 に示されている方法は、送信用と受信用の探触子を用いて、表面が滑らかな試験片及び実際の試験体の底面で反射された透過パルスを受信し、この透過パルス高さの比（または差）から感度補正量を算出するというものである。

10

【 0 0 0 4 】

なお、この明細書において、感度補正は、大きな意味では感度設定に含まれる概念であるので、感度設定として説明する。また、「探触子」として記述するものは、全て超音波探触子を意味するものである。さらに、超音波探傷装置とは、感度設定機能を有する超音波探傷装置を意味するものである。

【 先行技術文献 】

【 非特許文献 】

【 0 0 0 5 】

20

【 非特許文献 1 】 JIS Z 3060:2002 鋼溶接部の超音波探傷試験方法、8.14 エコー高さ区分線の作成

【 非特許文献 2 】 JIS Z 3060:2002 鋼溶接部の超音波探傷試験方法、付属書 2（規定）平板継手溶接部の探傷方法

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 6 】

このように、従来では基準となる反射源を含んだ試験片を用いてエコー高さ区分線を作成し、感度設定を行っていた。また、試験片及び試験体の底面反射を利用して感度の補正を行い、より精度の高い感度設定を行っていた。しかし、非特許文献 1 に示されているような感度設定方法では、基準となる試験片の音速と実際の試験体の音速が異なると、超音波の伝搬方向が異なるので、特に屈折角が大きい斜角探触子の場合、試験片で作成したエコー高さ区分線をそのまま実際の試験体での探傷に適用すると感度設定の精度が低下すると考えられる。また、非特許文献 2 に示されている感度補正方法では、試験体底面が試験片と同様に平坦であることが必要であり、試験体底面の状態が不明である場合には適用困難であると考えられる。

30

【 0 0 0 7 】

この発明は上述した課題を解決するためになされたものであり、基準となる試験片の音速と実際の試験体の音速が異なる場合でも、精度の良いエコー高さ区分線を得ることが可能な超音波探傷の感度設定方法を提供するものである。また、試験体底面の状態が不明である場合にも精度の良い感度補正を行うことができる超音波探傷の感度設定方法を提供するものである。さらに、これらの感度設定を用いて探傷を行う超音波探傷装置を提供するものである。

40

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 8 】

この発明に係る超音波探傷の感度設定方法は、送信用の超音波探触子によって超音波を基準となる試験片中に送信し、前記試験片中を拡がって伝搬する横波に伴い表面に発生する回転運動の波動を前記送信用の超音波探触子と離隔して設けられた受信用の超音波探触子で受信して受信信号の受信感度を記憶し、前記送信用の超音波探触子と前記受信用の超音波探触子と間の距離を同じにして、前記試験片の代わりに実際の試験体を用い、前記送

50

信用の超音波探触子によって超音波を前記試験体中に送信し、前記試験体中を拡がって伝搬する横波に伴い表面に発生する回転運動の波動を前記受信用の超音波探触子で受信して受信信号の受信感度を記憶し、前記2つの受信信号の受信感度の比または差に基づいて、基準となる前記試験片と実際の前記試験体との間における超音波の伝達効率の差を補正することで、超音波探傷の感度補正を行うことを特徴とする。

【0010】

また、この発明に係る超音波探傷装置は、電気信号によって駆動され超音波を基準となる試験片及び実際の試験体中に送信する送信用の超音波探触子と、前記送信用の超音波探触子と離隔して設けられ、前記試験片及び前記試験体中を拡がって伝搬する横波に伴い表面に発生する回転運動の波動を電気信号として受信する受信用の超音波探触子と、前記送信用の超音波探触子を励振し、かつ、前記受信用の超音波探触子からの電気信号を受信する送受信器とを備え、前記送受信器は、前記試験片中を拡がって伝搬する横波に伴い表面に発生する回転運動の波動に基づく受信信号の受信感度と、前記送信用の超音波探触子と前記受信用の超音波探触子との間の距離を同じにして、前記試験片の代わりに前記試験体を用いた際の、前記試験体中を拡がって伝搬する横波に伴い表面に発生する回転運動の波動に基づく受信信号の受信感度とをそれぞれ記憶し、2つの受信信号の受信感度の比または差に基づいて、基準となる前記試験片と実際の前記試験体との間における超音波の伝達効率の差を補正することで、超音波探傷の感度補正を行うことを特徴とする。

【発明の効果】

【0012】

この発明によれば、基準となる試験片の音速と実際の試験体の音速が異なる場合でも、精度の良いエコー高さ区分線を得ることができ、また、試験体底面の状態が不明である場合にも精度の良い感度補正を行うことができ、さらに、これらの感度設定を用いて探傷を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】この発明に係るもので、探触子からきずまでの超音波の伝搬を説明するための図である。

【図2】この発明に係るもので、きずから探触子までの超音波の伝搬を説明する図である。

【図3】この発明に係るもので、アクリルと鋼との境界面における平面波の往復透過率を示す図である。

【図4】この発明に係るもので、探触子のくさび内及び試験体内を伝搬する波動のシミュレーション結果である。

【図5】この発明に係るもので、探触子のくさび内及び試験体内を伝搬する波動のシミュレーション結果である。

【図6】この発明に係るもので、横波に伴い表面に沿って伝搬する波動の説明図である。

【図7】この発明に係るもので、くさび内の音場を説明する図である。

【図8】この発明に係るもので、角度調整機構を説明する図である。

【図9】この発明の実施の形態1における超音波探傷装置の構成及び動作を示す図である。

【図10】図9に示す表面が滑らかな試験片10で受信される疑似表面SV波の透過パルスを示す図である。

【図11】図9に示す探傷器5の設定を一探触子法とした場合の構成及び動作を示す図である。

【図12】図11に示す横穴15からのエコーのMAスコープを示す図である。

【図13】図11に示す探傷器5の設定を再び二探触子法にした場合の構成及び動作を示す図である。

【図14】図13に示す表面が粗い試験体3で受信される疑似表面SV波の透過パルスを示す図である。

10

20

30

40

50

【図 15】図 13 に示す探傷器 5 の設定を再び一探触子法とした場合の構成及び動作を示す図である。

【図 16】きず性状の評価を説明する図である。

【図 17】この発明の実施の形態 2 における超音波探傷装置の構成及び動作を示す図である。

【図 18】図 17 に示す透過パルス 20 の M A スコープを説明する図である。

【図 19】きず性状の評価を説明する図である。

【図 20】この発明の実施の形態 3 における超音波探傷装置の構成及び動作を示す図である。

【図 21】図 20 に示す透過パルス 22 の M A スコープを説明する図である。

10

【図 22】きず性状の評価を説明する図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

この発明における超音波探傷の感度設定方法及び超音波探傷装置を説明する前に、この発明で想定している探傷について説明する。この発明で想定している探傷は、試験体表面近傍にあるきずを横波斜角探触子を用いて探傷するものであるが、従来の方法とは異なり、試験体表面に沿って伝搬する波動を用いて探傷を行うというものである。この探傷について、図 1 ~ 図 8 を参照しながら詳細に説明する。

【0015】

図 1 は、探触子からきずまでの超音波の伝搬を説明するための図である。図 2 は、きずから探触子までの超音波の伝搬を説明する図である。図 3 は、アクリルと鋼との境界面における平面波の往復透過率を示す図である。図 4 及び図 5 は、探触子のくさび内及び試験体内を伝搬する波動のシミュレーション結果である。図 6 は、横波に伴い表面に沿って伝搬する波動の説明図である。図 7 は、くさび内の音場を説明する図である。図 8 は、角度調整機構を説明する図である。

20

【0016】

まず、探傷を行う装置の構成について、図 1 を参照しながら説明する。図 1 中、1 は探触子に用いられている振動子、2 は探触子のくさび、3 は試験体、4 は試験体 3 の表面にあるきずである。5 は探傷器である。振動子 1 とくさび 2 で、探触子を構成する。この発明で想定している探傷に用いられる探触子は、送受信する主たる波動が S V 波となるように設計された横波斜角探触子である。探触子は探傷器 5 に接続されている。探傷器 5 は、探触子を励振し、また、探触子からの信号を受信する送受信器である。また、探触子ときず 4 との間には、図 1 に示すように表面波の伝搬を妨げるような形状があるとす。

30

【0017】

次に、探傷の具体的な手順について説明する。探傷器 5 からは励振信号が発せられ、探触子内の振動子 1 を励振する。振動子 1 からは、くさび 2 の内部に縦波を伝搬させる。くさび 2 と試験体 3 との境界面に達した縦波は、モード変換され、試験体 3 中には主に横波が伝搬していく。この横波は、S V 波と呼ばれるモードである。また、試験体 3 中には、モード変換によって発生した表面波も伝搬していくが、説明を簡単にするため、図 1 中には表面波は示していない。

40

【0018】

図 1 には、スネルの法則で決まる屈折角の方向を矢印を付して示している。屈折角が小さい場合、試験体 3 中を伝搬していく S V 波は試験体 3 の表面の影響を殆ど受けずに伝搬する。一方、図 1 に示すように屈折角が 90° に近いような場合には、試験体 3 中を伝搬していく S V 波は伝搬するに従い、試験体 3 の表面の影響を受ける。すなわち、S V 波は広がって伝搬しようとするが、試験体 3 の表面によって広がることのできないような状態になる。この結果、試験体 3 の表面には、S V 波の伝搬に伴い表面に沿って伝搬する波動が発生する。S V 波は固体と気体との境界面で存在することができないので、この波動は正確には S V 波ではない。また、表面波でもない。したがって、ここでは、この波動を、「疑似表面 S V 波」と呼ぶことにする。図 1 には、S V 波と疑似表面 S V 波の波面が伝搬

50

していく様子を示している。

【 0 0 1 9 】

疑似表面 S V 波は、試験体 3 の表面が存在することにより存在する波動である。このため、伝搬経路に障害物がある場合、例えば図 1 に示すような形状が存在する場合には、一旦 S V 波に吸収されるような形で消失する。しかし、再び表面がある領域に S V 波が伝搬すると、また発生する。このように、疑似表面 S V 波は、常に S V 波に伴って伝搬する。

【 0 0 2 0 】

図 1 に示すように、屈折角が大きい斜角探触子では、試験体 3 の表面付近を S V 波及び疑似表面 S V 波が伝搬していく。すなわち、横波斜角探触子の屈折角が 90° に近い大きな値であれば、試験体 3 の表面付近にも波動を伝搬させることができる。S V 波及び疑似表面 S V 波は、表面付近のきず 4 に入射し、反射波が発生する。この反射波のモードは、きず 4 の大きさにもよるが、多くの場合は S V 波が主となる。

【 0 0 2 1 】

きず 4 による反射波 (S V 波) は、図 1 とは逆の経路を辿って振動子 1 で受信される。この様子を、図 2 を用いて説明する。きず 4 で発生した S V 波は、くさび 2 の方向に広がりながら伝搬する。この時、送信の場合と同様に、S V 波は広がって伝搬しようとするが、試験体 3 の表面によって広がるできないような状態になる。結果として、S V 波の伝搬に伴い表面に沿って伝搬する波動、すなわち疑似表面 S V 波が発生する。

【 0 0 2 2 】

S V 波はくさび 2 の下部領域まで到達しても、伝搬方向が図 2 に示すように試験体 3 の表面に対してほぼ平行であるために、くさび 2 内に波動を形成することはない。しかし、疑似表面 S V 波がくさび 2 の下部領域に到達すると、振動のエネルギーをくさび 2 内に放出しながら伝搬する。このため、くさび 2 内にはモード変換により縦波が発生する。この縦波を振動子 1 で受信することで、探傷器 5 にはエコー信号が伝達される。このような作原理により、試験体 3 付近の表面付近にあるきず 4 を探傷することが可能である。

【 0 0 2 3 】

ここで示した探傷は、探触子 1 ときず 4 との間に障害物があり、表面波法やクリーピング波法では探傷困難であるような場合でも、疑似表面 S V 波を送受信することにより、きず 4 からのエコーを受信できる。したがって、表面波法やクリーピング波法では探傷困難な場合でも探傷可能となる。また、S V 波が主たる波動の横波斜角探触子を用いるので、粘性の大きな接触媒質を用いる必要はなく、水を接触媒質としても十分探傷可能である。このため、表面 S H 波法と比べて作業効率が大幅に改善できるという特徴がある。

【 0 0 2 4 】

なお、通常の横波斜角探触子は、疑似表面 S V 波が発生するような構成とはなっていない。その理由は、くさび 2 と試験体 3 との往復透過率にある。図 3 に、くさび 2 をアクリル、試験体 3 を鋼とした場合の往復透過率を示す。図 3 の横軸は屈折角であり、縦軸は振幅である。図 3 から分かるように、屈折角が 80° を超えた付近から急激に往復透過率が減少し、屈折角 90° で零になる。この現象は、超音波探傷に携わる者の間で、広く知られている現象である。したがって、通常の横波斜角探触子の屈折角は 70° 以下である場合が多く、 80° を超えるものは殆どない。これに対し、屈折角が 80° を超えるような探触子構成にすると、疑似表面 S V 波の発生が顕著に現れてくる。このため、疑似表面 S V 波を用いて超音波探傷を行うという発想が従来なかったものと思われる。

【 0 0 2 5 】

これまで説明してきた波動の伝搬を確認するため、2次元弾性波 F D T D 法によるシミュレーションを行い、くさび 2 内及び試験体 3 内をどのように超音波が伝搬していくのかを求めた。シミュレーションでは、くさびをポリスチロール (縦波音速 2360 m/s) 、試験体を鋼 (横波音速 3230 m/s) とした。周波数は 5 MHz とした。音場シミュレーション結果を、図 4 及び図 5 に示す。図 4 及び図 5 では、振動子 1 を励振してか $20\text{ }\mu\text{s}$ までの音場を $4\text{ }\mu\text{s}$ ごとに示している。

【 0 0 2 6 】

4 μs の音場で示すように、くさび内に縦波が励振されている。8 μs の音場からは、モード変換によって生じたSV波と表面波が伝搬する様子が分かる。この表面波はRayleigh波と呼ばれるものである。また、12 μs 及び16 μs の音場から分かるように、表面波は試験体形状に沿って伝搬し、きずの方向に伝搬しない。このことから、図1に示したような試験体3の形状では、表面波による探傷が困難であることが分かる。

【0027】

16 μs の音場から、SV波だけでなく表面付近に波動が生じていることが分かる。これが疑似表面SV波である。20 μs の音場では、きずで反射されたSV波が伝搬していく様子を示している。

【0028】

図4及び図5に示した音場シミュレーション結果だけでは疑似表面SV波は分かりにくいので、疑似表面SV波の説明図を改めて図6に示す。図6は、図5に示した16 μs の音場の内、疑似表面SV波付近を拡大して示したものである。また、表示感度も変えて示している。弾性波FDTD法では試験体中の粒子速度を計算するので、振動をベクトルとして求めることができる。図6では、小さな矢印によるベクトル図及びベクトルの概念図を併せて示している。ベクトル図から分かるように、試験体表面の粒子は回転している。この様子をベクトルの概念図に矢印で示している。このように粒子が回転する波動は、SV波とは呼べない。どちらかと言えば、表面波(Rayleigh波)の振動に近い現象である。しかし、SV波に伴い表面に沿って伝搬する波動であるので、伝搬速度はSV波と同じである。このような波動であるので、この発明では、この波動を「疑似表面SV波」と呼んで説明した。

【0029】

ここまで、疑似表面SV波を用いた探傷について説明したが、最後に、疑似表面SV波がくさび2内に形成する波動について説明する。くさび2内の波動は、図4及び図5に示した音場シミュレーションでは分かりづらい。そこで、新たに音場シミュレーションを行った。シミュレーションは、図4及び図5と同じ探触子を対向させ、二探触子法として用いた場合について行った。くさびはポリスチロール(縦波音速2360 m/s)、試験体は鋼(横波音速3230 m/s)とした。周波数は5 MHzとした。図7に、二探触子法として用いた場合の受信用探触子内部の音場を示す。図から、疑似表面SV波がくさび内に波動を形成する様子が分かる。この波動は縦波である。また、図7には、探触子の入射角を変えた場合のくさび内音場を示している。図から分かるように、入射角を変えても受信用探触子内部における波面の角度は変わらない。この波面と送信用探触子の振動子とが平行であると、効率良く疑似表面SV波を送信でき、受信用探触子の振動子と平行であると、効率良く疑似表面SV波を受信できる。すなわち、疑似表面SV波を効率良く送受信する入射角が存在する。

【0030】

なお、疑似表面SV波を効率良く送受信する角度は、試験体の音速によって変化する。このため、試験体に対応して、振動子1とくさび2内の波面が平行になるように調整して探傷すれば、感度が向上する。この構成及び動作について、図8を参照しながら説明する。図中、1は振動子、2はくさび、6は接触媒質、7は角度調整機構である。接触媒質6は、水、油、グリセリンなどである。図8は、角度調整機構7により振動子1を傾斜させ、疑似表面SV波による波動を受信する様子を示したものである。図8では接触媒質6及びくさび2内を伝搬する縦波の波面を併せて示している。図8に示すように、角度調整機構7により振動子1の角度を調整することにより、くさび2内の波面と振動子1を平行にすることができ、効率良く疑似表面SV波を受信することができる。すなわち、SN比を向上させることができる。送信についても同様である。このような角度調整は、直接接合法では困難であるが、水ギャップ法や水浸法であれば可能である。

【0031】

逆に、角度調整機構7を用いて振動子1の角度を変化させ、角度変化に対するエコー高さを求めることにより、試験体3の横波音速測定を行うことも可能である。

10

20

30

40

50

【0032】

以上がこの発明で想定している探傷である。この発明の実施の形態1では、この探傷における感度設定方法として、例えば非特許文献1に示されているような方法よりも高精度にエコー高さ区分線を作成する感度設定方法について示し、また、非特許文献2に示されている方法とは異なり、試験体底面の反射を利用しないで補正量を求めて感度補正を行う感度設定方法について示す。さらに、これらの感度設定を行って探傷を行う超音波探傷装置について示す。

【0033】

実施の形態1.

この発明の実施の形態1における超音波探傷の感度設定方法及び超音波探傷装置について、図9～図16を参照しながら説明する。図9は、この発明の実施の形態1における超音波探傷装置の構成及び動作を示す図である。図10は、表面が滑らかな試験片10で受信される疑似表面SV波の透過パルスを示す図である。図11は、探傷器5の設定を一探触子法とした場合の構成及び動作を示す図である。図12は、横穴15からのエコーのMAスコープを説明する図である。図13は、探傷器5の設定を再び二探触子法にした場合の構成及び動作を示す図である。図14は、表面が粗い試験体3で受信される疑似表面SV波の透過パルスを示す図である。図15は、この発明の超音波探傷装置の動作を説明する図である。図16は、きず性状の評価を説明する図である。

【0034】

まず、この発明の実施の形態1における超音波探傷装置の構成について、図9及び図11を用いて説明する。図9は、探傷器5の設定を二探触子法とし、表面が滑らかな試験片10を伝搬する疑似表面SV波の透過パルスを受信する様子を示したものである。図9において、1と2は送信用の探触子に用いられている振動子とくさびであり、振動子1とくさび2とで、電気信号によって駆動される超音波を送信する送信用の超音波探触子を構成する。5は探傷器である。また、8と9は受信用の探触子に用いられている振動子とくさびであり、振動子8とくさび9とで、超音波を電気信号として受信する受信用の超音波探触子を構成するもので、送信用の超音波探触子とは離隔して設けられる。6は接触媒質、7は送信用探触子の角度調整機構、11は受信用探触子の角度調整機構である。送信用及び受信用の探触子は、送受信する主たる波動がSV波となるように設計された横波斜角探触子である。送信用及び受信用の探触子は探傷器5に接続されている。探傷器5は、送信用の探触子を励振し、受信用の探触子からの電気信号を受信する送受信器である。

【0035】

図9において、10はきず性状を判定するための反射源を有する基準となる試験片であり、その表面は滑らかである。また、15は横穴である。この発明における形態1では、反射源として横穴15を用いた場合について説明する。なお、反射源の形状は横穴15のような円形である必要はなく、他の形状であっても構わない。

【0036】

また、図11は、探傷器5の設定を一探触子法とし、表面が滑らかな試験片10に設けられた横穴15からのエコーを受信する様子を示したものである。装置の構成として、図9と異なる点は、受信用の斜角探触子が無い点及び探傷器5の設定が一探触子法となっている点である。この発明の実施の形態1における超音波探傷装置の構成としては、図9に示した二探触子法の構成及び図11に示した一探触子法による構成の2種類がある。

【0037】

次に、この発明の実施の形態1の動作について説明する。まず、図9に示すように、横穴15を有する試験片10の表面に、送信用の探触子及び受信用の探触子を、接触媒質6を介して設置する。先に説明した場合と同様に、探傷器5からの励振信号により送信用の探触子から超音波が送信され、試験片10には疑似表面SV波が伝搬し、図7で説明したように、疑似表面SV波は受信用の探触子で受信される。このときの探傷器5の表示器には、図10に示すように、疑似表面SV波による透過パルス20が表示される。

【0038】

10

20

30

40

50

図10に示す探傷器5の表示器に表示された透過パルス20を観測しながら、送信用の探触子の角度調整機構7及び受信用の探触子の角度調整機構11を用いてそれぞれの探触子の角度を調整し、透過パルス20の高さが最大となる、つまり受信信号の振幅が最大となるところで角度を固定する。この状態で探傷器5のゲインを調節し、透過パルス20のエコーの高さを例えば80%にする。このときの探傷器5の受信感度(探傷器のゲイン)をAデシベルとする。この感度Aを記録しておく。受信感度の記録は、探傷器5の内蔵メモリに記録しても良いし、紙にメモしておいても良い。作業者の頭の中に記憶しておいても構わない。要するに、このときの透過パルス高さを再現できれば良い。

【0039】

感度Aを記録した後、超音波探傷装置を図11に示す構成にする。すなわち、送信用の探触子または受信用の探触子のどちらか一方を用いて送受兼用の探触子とし、角度調整機構7(または11)は動かさず送受兼用の探触子の角度を感度Aを求めた時の角度に固定したままで、探傷器5の設定を一探触子法に切り替える。図11では、送信用の探触子を送受兼用の探触子とした例を示している。試験片10の表面に、接触媒質6を介して送受兼用の探触子を設置する。試験片10の表面で送受兼用の探触子を図面に対して水平方向に走査し、横穴15からのエコーの高さとビーム路程との関係(MAスコープ)を実験で求める。

【0040】

この様子を図12に示す。図12では、探傷器5の表示器上に曲線が描かれており、これが横穴からのエコーのMAスコープ21である。このときの探傷器5の感度をBデシベルとする。この感度Bを記録しておく。この記録は感度Aと同様に、探傷器5の内蔵メモリに記録しても良いし、紙にメモしておいても良い。作業者の頭の中に記憶しておいても構わない。また、MAスコープも記録しておく。また、ガラスなどの透明な板などに描いておいても構わない。感度設定後に行う探傷時に読み出せる形で記録しておけば良い。なお、探触子の走査は、手で走査しても良いし、走査用のスキャナを用いても良い。

【0041】

感度B及びMAスコープを記録した後、図13に示すように超音波探傷器の構成を再び二探触子法の構成にする。図13において、3は試験片10の代わりに用いられる実際の試験体である。この発明の実施の形態1では、実際の試験体3の表面が荒れている場合について説明する。図13に示すように、送信用の探触子及び受信用の探触子を、接触媒質6を介して試験体3の表面に設置する。この時、探触子間の距離は図9に示した構成と同じとする。そして、図9と同様にして、試験体3に疑似表面SV波を伝搬させ、透過パルスを受信する。このときの探傷器5の表示器には、図14に示すように、疑似表面SV波による透過パルス22が表示される。

【0042】

探傷器5の表示器に表示された透過パルス22を観測しながら、送信用の探触子の角度調整機構7及び受信用の探触子の角度調整機構11を用いて角度を調整し、透過パルス22の高さが最大となる、つまり受信信号の振幅が最大となるところで角度を固定する。この状態で探傷器5のゲインを調節し、透過パルス22の高さを試験片10のときの透過パルス20と同じにする。すなわち、試験片10のときの透過パルス20を80%にしたならば、試験体3の透過パルス22も同じく80%にする。このときの探傷器5の感度をCデシベルとする。この感度Cを記録しておく。記録は、探傷器のメモリに記録しても良いし、紙にメモしておいても良い。作業者の頭の中に記憶しておいても構わない。要するに、このときの透過パルス高さを再現できれば良い。

【0043】

感度Cを記録した後、超音波探傷装置を、図15に示すように再び一探触子法の構成にする。このときの送受兼用の探触子は、MAスコープ21を作成した探触子であることが望ましいが、何らかの理由でMAスコープ21を作成した探触子が使用できない場合には、もう一つの探触子を用いても構わない。角度調整機構7(または11)は動かさず探触子の角度を固定したままで、探傷器5の設定を一探触子法に切り替える。そして、MAス

10

20

30

40

50

コープを読み出して、探傷器 5 の表示器上に表示する。MA スコープを求めたときの感度は B デシベルであったが、ここで、感度設定値を補正する。感度 A 及び感度 C を読み出して感度補正量 (A - C) を計算し、さらに、

$$B - (A - C)$$

の値を求める。この値を探傷感度として探傷器 5 に設定する。なお、感度補正量の計算は、作業者が行っても構わないが、探傷器 5 に補正量を計算する機能を設け、この機能を用いて補正量を計算しても良い。さらに、感度設定も、作業者が行っても構わないが、探傷器 5 に感度設定する機能を設け、この機能を用いて感度設定しても良い。

【 0 0 4 4 】

この発明の実施の形態 1 における超音波探傷装置は、B - (A - C) で求めた値を探傷感度として探傷器 5 に設定し、MA スコープ 2 1 をエコー高さ区分線として用いて、図 1 5 に示したような探傷を行うというものである。図 1 5 は、表面付近の複雑形状きず 1 6 を探傷している様子を説明する図である。この探傷については、既に詳細に説明したので省略する。図 1 6 は、MA スコープ 2 1 をエコー高さ区分線として、表面付近の複雑形状きず 1 6 からのエコー 2 4 を評価している例を示したものである。

【 0 0 4 5 】

ここまで、この発明の実施の形態 1 における動作について説明した。この動作で、精度の良い感度設定が可能となる理由を、以下に説明する。

【 0 0 4 6 】

まず、透過パルス 2 0 の高さ、と透過パルス 2 2 の高さが異なる理由について説明する。その理由は 2 つあり、1 つ目の理由は、試験片 1 0 と試験体 3 の S V 波の音速差があるためである。音速差があると、探触子の角度が同じであってもスネルの法則で決まる屈折角が試験片 1 0 と試験体 3 とで差異が生じるので、音場が異なる。その結果、疑似表面 S V 波の強度が異なり、透過パルスの高さが異なる。試験片 1 0 の音速と実際の試験体 3 の音速は、異なる場合が多々あるので、透過パルスの高さも異なる場合が多い。

【 0 0 4 7 】

2 つ目の理由は、超音波の伝達効率にある。図 1 0 の透過パルス 2 0 は、表面が滑らかな試験片 1 0 を伝搬して受信される。これに対し、図 1 4 の透過パルス 2 2 は、表面が粗い試験体 3 を伝搬して受信される。したがって、送信用の探触子から試験片 1 0 への伝達効率と、送信用の探触子から試験体 3 への伝達効率との間には差異が生じる。その結果、疑似表面 S V 波の強度が異なる。当然のことながら、試験片 1 0 から受信用の探触子への伝達効率と、試験体 3 から受信用の探触子への伝達効率も異なる。その結果、透過パルスの高さが異なる。また、このような表面状態による超音波の伝達効率の差異だけでなく、音響インピーダンスによる超音波の伝達効率の差異もある。ここで、音響インピーダンスとは、試験体の音速と密度とを乗算して得られる材料パラメータである。音響インピーダンスが異なると伝達効率も異なるので、やはり透過パルスの高さが異なる。

【 0 0 4 8 】

この発明の実施の形態 1 では、これら諸要因により透過パルスの高さが変化する現象を用いて感度設定を行い、探傷を行うものである。その方法は、上述した透過パルスの高さが異なる 2 つの理由にそれぞれ対応すべく、2 つの方法で対処する。まず、1 つ目の方法は、音速差への対処として、角度調整機構 7 及び 1 1 による探触子の角度調整である。これらの角度調整機構で探触子の角度を調整し、透過パルスの高さが最大となる角度を見出す。透過パルスの高さが最大になるということは、受信用の探触子のくさび 9 において疑似表面 S V 波による波面と受信用の振動子 8 が平行になることを意味している。波面と振動子 8 を常に平行にしておけば音速差による音場の变化を抑制できるので、疑似表面 S V 波の強度变化を抑制することができる。

【 0 0 4 9 】

2 つ目の方法は、伝達効率への対処として、探傷器 5 における探傷感度の設定である。図 9 に示した探触子間隔と図 1 3 に示した探触子間隔が同じであるので、角度調整機構 7 及び 1 1 で透過パルスを最大にした場合、透過パルス 2 0 の高さ、と透過パルス 2 2 の高さ

10

20

30

40

50

が異なる要因は、伝達効率だけとなる。すなわち、伝達効率の差がそのまま透過パルスの高さの差となって現れるので、この差または比を用いて探傷器 5 における探傷感度を補正すれば、精度の良い感度設定が可能となる。

【 0 0 5 0 】

以上をまとめると、この発明は、

(i) 音速の差異による音場変化の補正を、角度調整機構 7 及び 1 1 で行う、

(ii) 表面状態及び音響インピーダンスによる伝達効率の補正を、探傷器 5 の感度設定で行う、

という 2 段階の補正により、精度の良い感度設定を行うことが特徴である。この際、角度調整機構 7 及び 1 1 を用いた補正を先に行うことが重要である。何故なら、角度調整機構 7 及び 1 1 を用いて補正して始めて伝達効率による差異が明らかになるからである。

【 0 0 5 1 】

MA スコープ 2 1 は、実際の試験体 3 とは音速の異なる試験片 1 0 を用いて作成したものであるが、角度調整機構 7 及び 1 1 を用いて探触子の角度を調整するので、実際の試験体 3 を探傷する時にエコー高さ区分線として適用可能なものとなる。しかし、超音波の伝達効率の差はあるので、感度補正を行う必要がある。この補正を、透過パルス 2 0 と透過パルス 2 2 との感度差または比で行うことにより、精度の良い感度設定が可能となる。

【 0 0 5 2 】

以上説明したように、送信用の探触子及び受信用の探触子を、試験片 1 0 及び試験体 3 の表面に設置して、疑似表面 S V 波による透過パルスを受信し、透過パルスの高さが最大になるように角度調整機構 7 及び 1 1 を用いて探触子の角度を調整し、さらに、探傷器 5 の感度補正を行うことにより、精度の良い感度設定を行うことができるという効果がある。また、精度の良い探傷を行うことが可能な超音波探傷装置が得られるという効果がある。

【 0 0 5 3 】

なお、この発明の実施の形態 1 では、試験体 3 の表面が粗い場合について説明したが、ここで示した方法は、例えば試験体 3 に塗装が施してある場合にも適用できる。塗装の場合には、試験体 3 における透過パルス 2 2 の方が、試験片 1 0 における透過パルス 2 0 よりも大きくなる可能性もあるが、この場合にもこの発明の実施の形態 1 で示した方法及び装置で補正が可能である。

【 0 0 5 4 】

また、この発明の実施の形態 1 では、試験片 1 0 と実際の試験体 3 に音速差がある場合について説明したが、これらの音速差がないと予め分かっている場合には探触子の角度調整は必要ない。

【 0 0 5 5 】

また、この発明の実施の形態 1 では、探触子の角度調整に角度調整機構 7 及び 1 1 を用いて機械的に調整する場合について説明したが、他の方法で角度調整しても構わない。例えば、フェーズドアレイ探触子を用いて角度調整を行っても良い。また、透過パルスの高さが最大になるように探触子の角度を自動調整する機能を、角度調整機構 7 及び 1 1 に付けても構わない。

【 0 0 5 6 】

また、この発明の実施の形態 1 では、試験片 1 0 の場合と試験体 3 との場合で、接触媒質 6 を用いた場合について説明したが、異なる接触媒質を用いても構わない。例えば、試験片 1 0 の透過パルス 2 0 を受信するとき及び MA スコープ 2 1 を作成するときの接触媒質をマシン油とし、実際の試験体 3 の透過パルス 2 2 を受信するときの接触媒質をグリセリンとしても良い。接触媒質が異なると超音波の伝達効率が異なるが、この差異は補正量に含まれる。

【 0 0 5 7 】

最後に、超音波の伝達効率を補正する感度設定方法が、試験体表面に沿って伝搬する波動を用いた探傷だけでなく、通常の探傷にも適用可能であることを説明する。従来の感度

10

20

30

40

50

補正方法は非特許文献2に示されているが、この方法では斜角探触子の屈折角が大きい場合、適用が難しい。例えば屈折角が90度に近い場合、探傷面に対してほぼ平行に超音波ビームが伝搬するので、試験体の厚さにもよるが、送信用と受信用の探触子間距離を長くする必要はある。その結果、透過パルス高さがピークを示す位置を探すことが難しくなるという問題が発生する。また、試験体が小さい場合や探傷試験を行う空間が狭い場合、送信用と受信用の探触子間距離を物理的に長くできないという問題もある。さらに、試験体の底面が探傷面と平行でない場合や凸凹している場合には、非特許文献2に示されている方法で感度補正量を求めることはできない。

【0058】

このような場合においても、この発明における伝達効率を補正する感度設定方法は適用できる。すなわち、屈折角が90度に近ければ、疑似表面SV波による透過パルスとSV波による透過パルスは、試験体の表面状態の影響はほぼ同様に反映されている。したがって、疑似表面SV波による透過パルスを比較することにより、感度補正が可能となる。ただし、屈折角が90度に近くない場合には、この発明における感度設定方法では精度は低下したものとなるが、大まかな指標として用いることはできる。

【0059】

実施の形態2.

この発明の実施の形態2における超音波探傷の感度設定方法及び超音波探傷装置について、図17～図19を参照しながら説明する。図17は、探傷器5の設定を二探触子法とし、表面が滑らかな試験片10を用いてエコー高さ区分線を作成する装置の構成及び動作を示す図である。また、図18は、透過パルス20のMAスコープを説明する図であり、図19は、きず性状の評価を説明する図である。

【0060】

上述した実施の形態1では、横穴15からのエコーを用いてMAスコープ21を作成し、これをエコー高さ区分線とするものであるが、これに対し実施の形態2では、透過パルス20のMAスコープを作成し、これをエコー高さ区分線とするものである。その動作について、実施の形態1を参照しながら、以下に説明する。なお、感度Aおよび感度Cを求める装置構成および動作については、実施の形態1と同様であるので、省略する。

【0061】

実施の形態2の装置構成は実施の形態1と同様であるので省略し、動作について説明する。まず、実施の形態1と同様に、試験片10を用いて感度Aを記録した後、図17に示すように、受信用の探触子を走査する。勿論、送信用の探触子を走査しても動作としては同じである。このときの角度調整機構7および11は、感度Aを記録したときの角度、すなわち透過パルス20が最大となったときの角度で固定しておく。送信用の探触子から受信用の探触子を遠ざけるように走査すると、透過パルス20の高さは徐々に小さくなっていく。この特性を、MAスコープ25として記憶する。なお、一般的には、MAスコープはエコー高さとは異なるが、ここでは透過パルスとビーム路程との関係もMAスコープとして説明する。

【0062】

図18では、探傷器5の表示器上に曲線が描かれており、これが透過パルス20のMAスコープ25である。このときの探傷器5の感度をDデシベルとする。この感度Dを記録しておく。この記録は、感度Aと同様に、探傷器5の内蔵メモリに記録しても良いし、紙にメモしておいても良い。作業者の頭の中に記憶しておいても構わない。また、MAスコープ25も記録しておく。MAスコープ25は、ガラスなどの透明な板などに描いておいても構わない。感度設定後に行う探傷時に読み出せる形で記録しておけば良い。なお、探触子の走査は、手で走査しても良いし、走査用のスキャナを用いても良い。

【0063】

感度DおよびMAスコープ25を記録した後、実施の形態1と同様に、試験体3を用いて感度Cを記録する。角度調整機構7(または11)は、感度Cを求めたときの角度を固定したままで、探傷器5の設定を一探触子法に切り替える。このときの送受兼用の探触子

10

20

30

40

50

は、どちらの探触子を用いても構わない。そして、MAスコープ25を読み出して、探傷器5の表示器上に表示する。

【0064】

MAスコープ25を求めたときの感度はDデシベルであったが、ここで、感度設定値を補正する。感度A及び感度Cを読み出して感度補正量(A-C)を計算し、さらに、

$$D - (A - C)$$

の値を求める。この値を探傷感度として探傷器5に設定する。なお、感度補正量の計算は作業者が行っても構わないが、探傷器5に補正量を計算する機能を設け、この機能を用いて補正量を計算しても良い。さらに感度設定も作業者が行っても構わないが、探傷器5に感度設定する機能を設け、この機能を用いて感度設定しても良い。

10

【0065】

この発明の実施の形態2における超音波探傷装置は、D-(A-C)で求めた値を探傷感度として探傷器5に設定し、MAスコープ25をエコー高さ区分線として用いて探傷を行うというものである。図19は、MAスコープ25をエコー高さ区分線として、表面付近の複雑形状きず16からのエコー24を評価している例を示したものである。従来の超音波探傷では、実験で得られたエコーに基づいてエコー高さ区分線を作成していたが、透過パルスで作成したMAスコープをエコー高さ区分線としても、探傷可能である。

【0066】

実施の形態2では、感度Aを求めた装置構成のまま、エコー高さ区分線となるMAスコープ25を求めるので、実施の形態1の効果に加え、作業効率が向上するという効果がある。また、横穴15などの基準反射源からのエコーを用いないので、エコー高さ区分線は反射源形状の加工精度に依存しない。このため、さらに精度が向上するという効果がある。

20

【0067】

実施の形態3.

この発明の実施の形態3における超音波探傷の感度設定方法及び超音波探傷装置について、図20～図22を参照しながら説明する。図20は、探傷器5の設定を二探触子法とし、実際の試験体3を用いてエコー高さ区分線を作成する装置の構成及び動作を示す図である。また、図21は、透過パルス22のMAスコープを説明する図であり、図22は、きず性状の評価を説明する図である。

30

【0068】

上述した実施の形態1では、横穴15からのエコーを用いてMAスコープ21を作成し、これをエコー高さ区分線とするものである。また、実施の形態2では、表面が滑らかな試験片10を用いて疑似表面SV波による透過パルス20のMAスコープを作成し、これをエコー高さ区分線とするものである。これに対し、実施の形態3では、実際の試験体3による疑似表面SV波の透過パルス22のMAスコープを作成し、これをエコー高さ区分線とするものである。

【0069】

すなわち、送信用の超音波探触子によって超音波を実際の試験体3中に送信し、試験体3の表面に沿って伝搬する疑似表面SV波を送信用の超音波探触子と離隔して設けられた受信信用の超音波探触子で受信し、送信用の超音波探触子あるいは受信信用の超音波探触子を試験体3の表面で走査して、試験体3の表面に沿って伝搬する疑似表面SV波の受信信号の振幅とビーム路程との関係を示すMAスコープを求め、これを感度の基準とする。その動作について、実施の形態1を参照しながら、以下に説明する。

40

【0070】

実施の形態3の装置構成は、実施の形態1および実施の形態2と同様であるので省略し、動作について説明する。まず、図13と同様に実際の試験体3を用いて疑似表面SV波による透過パルス22を受信し、角度調整機構7および11を用いて透過パルス22の振幅が最大となるところで角度を固定し、受信信用の探触子を走査する。勿論、送信用の探触子を走査しても動作としては同じである。このときの角度調整機構7および11は、透過

50

パルス 2 2 の振幅が最大となったときの角度で固定しておく。送信用の探触子から受信用の探触子を遠ざけるように走査すると、透過パルス 2 2 の高さは徐々に小さくなっていく。この特性を、M A スコープ 2 6 として記憶する。

【 0 0 7 1 】

ここで、角度調整機構 7 は、受信用の超音波探触子の角度を、試験体 3 の表面に沿って伝搬する波動が受信用の超音波探触子のくさび 9 内に形成する波面に対し、受信用の超音波探触子に用いられている振動子 8 が平行となるように調整すると共に、送信用の超音波探触子の角度も、角度調整機構 1 1 により受信用の超音波探触子と同様に調整される。

【 0 0 7 2 】

図 2 1 では、探傷器 5 の表示器上に曲線が描かれており、これが透過パルス 2 2 の M A スコープ 2 6 である。このときの探傷器 5 の感度を E デシベルとする。この感度 E を記録しておく。この記録は、探傷器 5 の内蔵メモリに記録しても良いし、紙にメモしておいても良い。作業者の頭の中に記憶しておいても構わない。また、M A スコープ 2 6 も記録しておく。M A スコープ 2 6 は、ガラスなどの透明な板などに描いておいても構わない。感度設定後に行う探傷時に読み出せる形で記録しておけば良い。なお、探触子の走査は、手で走査しても良いし、走査用のスキャナを用いても良い。

【 0 0 7 3 】

角度調整機構 7 (または 1 1) は、感度 E を求めたときの角度を固定したままで、探傷器 5 の設定を一探触子法に切り替える。このときの送受兼用の探触子は、どちらの探触子を用いても構わない。そして、M A スコープ 2 6 を読み出して、探傷器 5 の表示器上に表示する。そして、探傷感度は E デシベルのまま、探傷を行う。M A スコープ 2 6 は、実際の試験体 3 を用いて作成するため、探触子から試験体 3 への超音波の伝達効率も含んだ特性となっている。このため、実施の形態 1 や実施の形態 2 とは異なり、感度補正が不要である。

【 0 0 7 4 】

この発明の実施の形態 3 における超音波探傷装置は、実際の試験体 3 を用いて作成した M A スコープ 2 6 をエコー高さ区分線として用いて探傷を行うというものである。図 2 2 は、M A スコープ 2 6 をエコー高さ区分線として、表面付近の複雑形状きず 1 6 からのエコー 2 4 を評価している例を示したものである。実施の形態 2 と同様に、透過パルスで作成した M A スコープをエコー高さ区分線としても、探傷可能である。

【 0 0 7 5 】

実施の形態 3 では、実際の試験体 3 を用いてエコー高さ区分線となる M A スコープ 2 6 を求めるので、試験片 1 0 が不要となる。したがって、実施の形態 1 の効果に加え、探傷に必要な機材を少なくできるという効果もある。また、感度補正が不要となるので、作業効率が向上するという効果がある。また、横穴 1 5 などの基準反射源からのエコーを用いないので、実施の形態 2 と同様にエコー高さ区分線は反射源形状の加工精度に依存しない。このため、精度が向上するという効果がある。

【符号の説明】

【 0 0 7 6 】

1 振動子、2 探触子のくさび、3 試験体、4 きず、5 探傷器、6 接触媒質、7 角度調整機構、8 受信用の探触子に用いられている振動子、9 受信用の探触子のくさび、1 0 試験片、1 1 受信用探触子の角度調整機構、1 5 横穴 1 6 複雑形状きず、2 0 試験片における疑似表面 S V 波による透過パルス、2 1 横穴からのエコーの M A スコープ、2 2 試験片における疑似表面 S V 波による透過パルス、2 4 表面付近の複雑形状きずからのエコー、2 5 疑似表面 S V 波による透過パルスの M A スコープ。

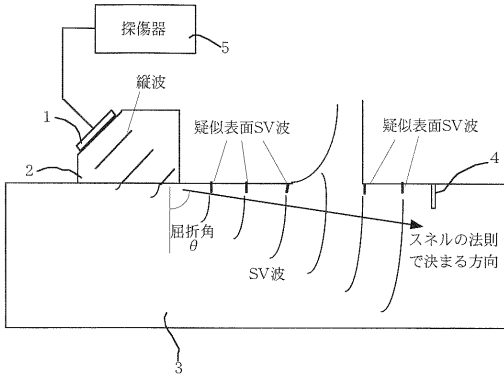
10

20

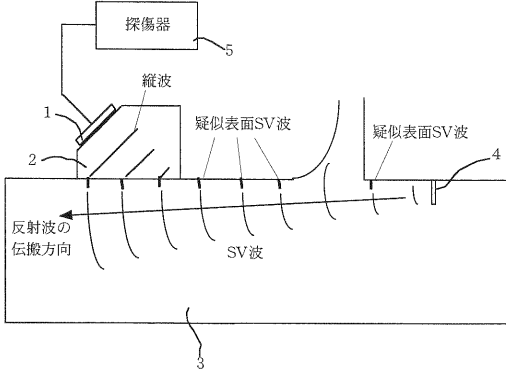
30

40

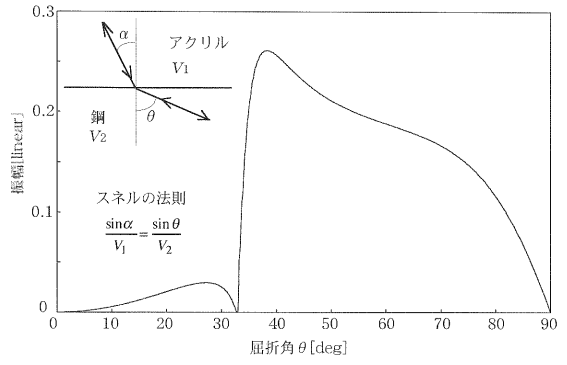
【図1】



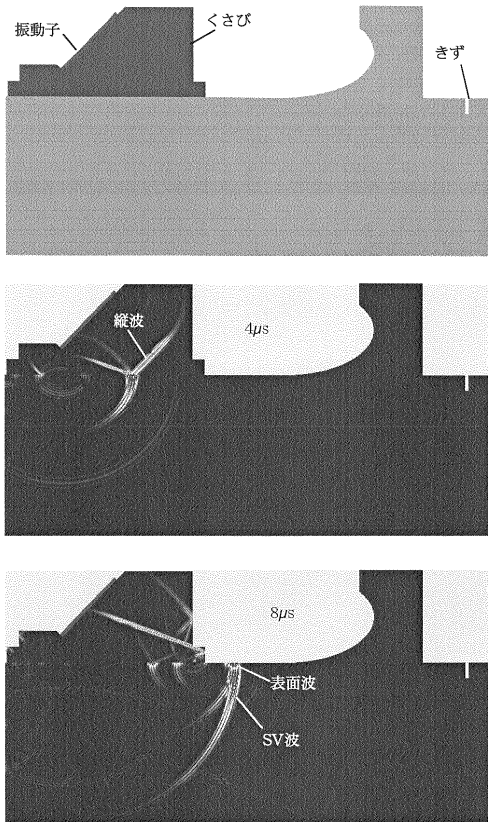
【図2】



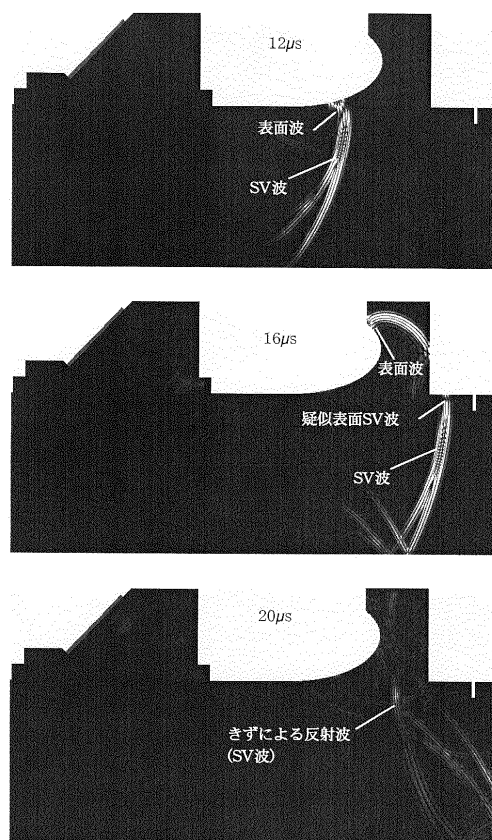
【図3】



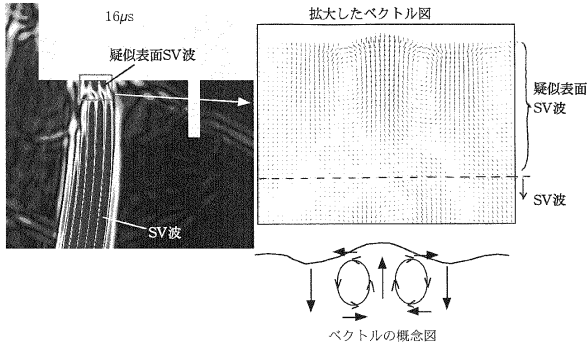
【図4】



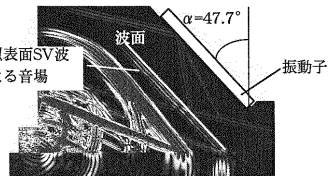
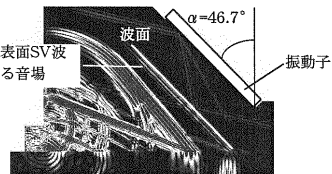
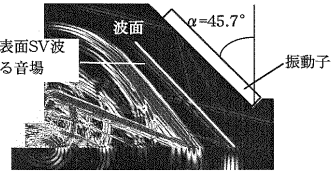
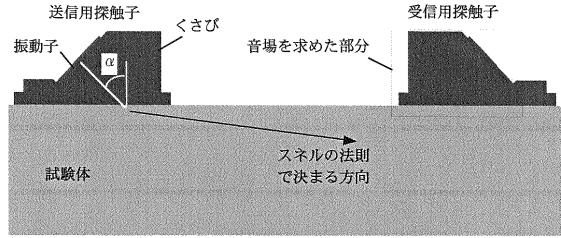
【図5】



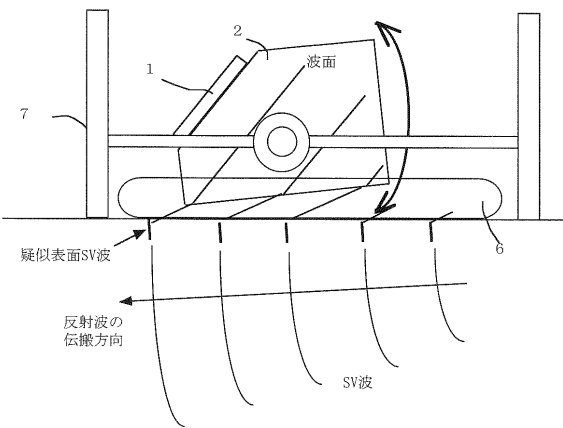
【図6】



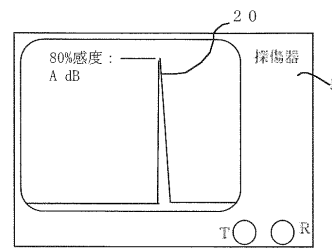
【図7】



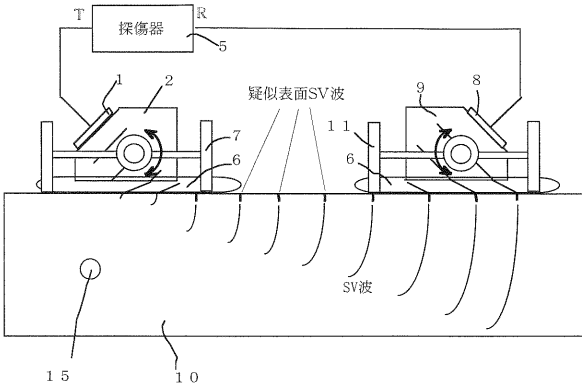
【図8】



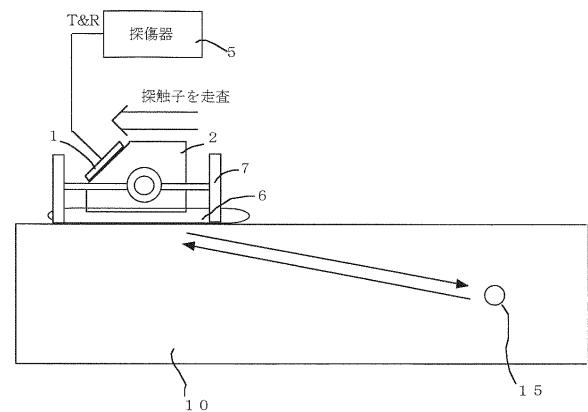
【図10】



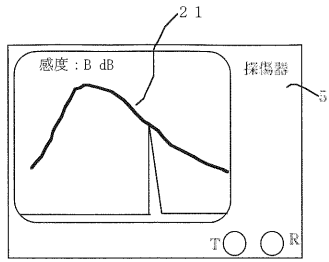
【図9】



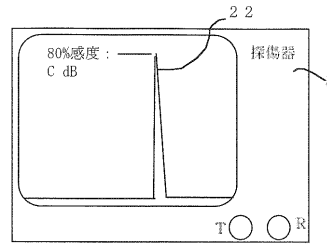
【図11】



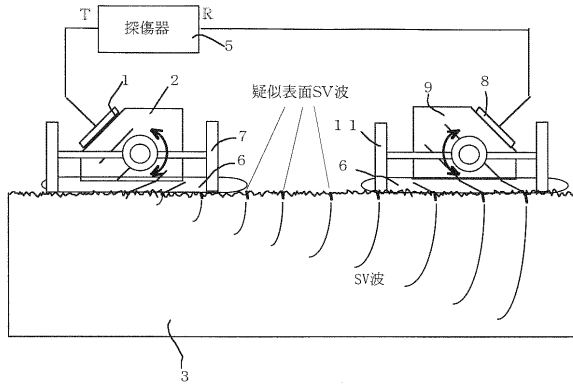
【図12】



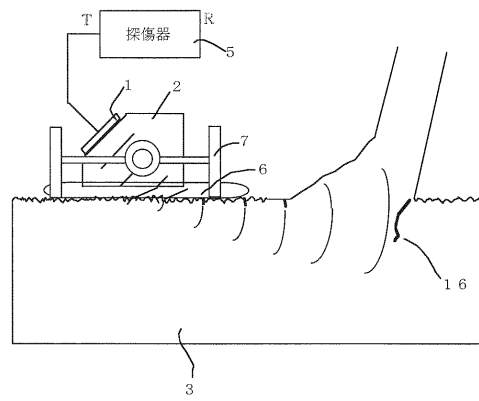
【図14】



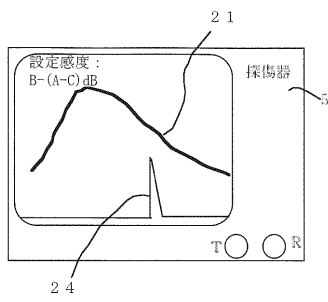
【図13】



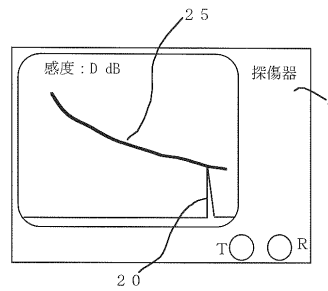
【図15】



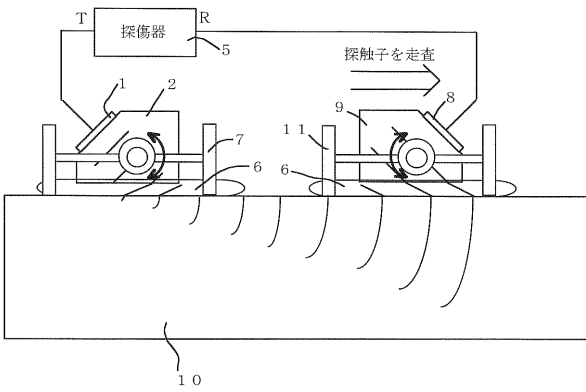
【図16】



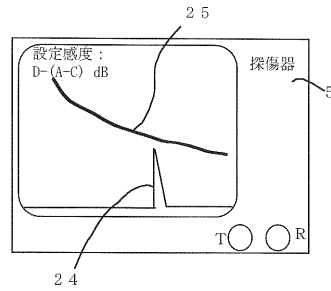
【図18】



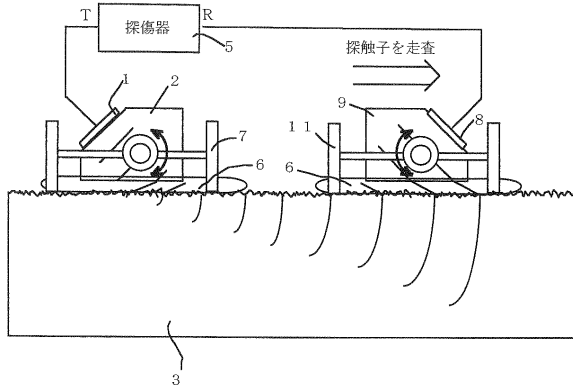
【図17】



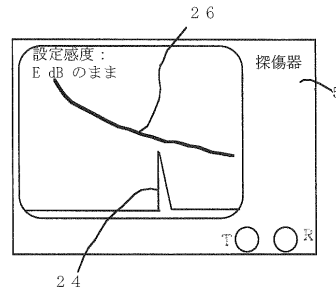
【図19】



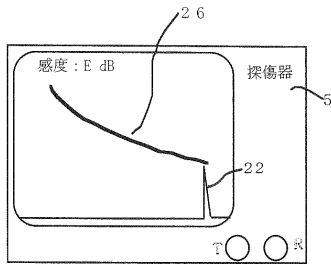
【図20】



【図22】



【図21】



フロントページの続き

- (74)代理人 100111648
弁理士 梶並 順
- (74)代理人 100122437
弁理士 大宅 一宏
- (74)代理人 100147566
弁理士 上田 俊一
- (72)発明者 木村 友則
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 小池 光裕
神奈川県鎌倉市山崎2番地 菱電湘南エレクトロニクス株式会社内
- (72)発明者 高橋 実
茨城県つくば市南原1番地6 独立行政法人土木研究所内
- (72)発明者 村越 潤
茨城県つくば市南原1番地6 独立行政法人土木研究所内

審査官 森口 正治

- (56)参考文献 特開昭63-222260(JP,A)
特開2005-061987(JP,A)
特開2006-038608(JP,A)
特開2008-014911(JP,A)
特開2000-019162(JP,A)
特開平03-289560(JP,A)
特開平11-051910(JP,A)
特開2004-361321(JP,A)
特開2002-243704(JP,A)
特開2007-205959(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01N 29/00-29/52