

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-147770
(P2005-147770A)

(43) 公開日 平成17年6月9日(2005.6.9)

(51) Int. Cl.⁷

GO 1 N 29/20
GO 1 N 29/10

F I

GO 1 N 29/20
GO 1 N 29/10 5 0 6

テーマコード (参考)

2 GO 4 7

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2003-383066 (P2003-383066)
(22) 出願日 平成15年11月12日 (2003.11.12)

(71) 出願人 390023928
日立エンジニアリング株式会社
茨城県日立市幸町3丁目2番1号
(71) 出願人 501204525
独立行政法人海上技術安全研究所
東京都三鷹市新川6丁目38番1号
(74) 代理人 100074631
弁理士 高田 幸彦
(72) 発明者 境川 洋聖
茨城県日立市幸町三丁目2番1号
日立エンジニアリン
グ株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超音波探傷装置

(57) 【要約】

【課題】

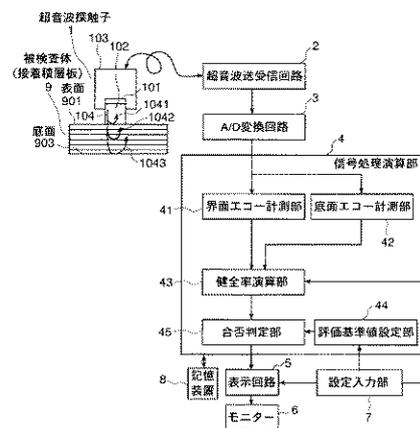
被検査体の正確な合否判定を安定して行うことができる超音波探傷装置を実現する。

【解決手段】

底面からの反射エコー強度ビーム路程と界面（剥離）からの反射エコー強度とビーム路程の値を計測し、探傷面積のうちで剥離がない界面部位からのエコー強度と剥離からのエコー強度の和を界面エコー強度とし、これと底面からの反射である底面エコー強度との比で表される評価演算式をもとに健全率を演算し、この健全率の値を判定基準値と比較して被検査体の合否判定を行う。

【選択図】 図 1

図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被検査体に当接させて超音波を発信および受信する超音波探触子と、パルス電圧を発生して前記超音波探触子に印加することによって該超音波探触子から超音波を発信させると共に前記超音波探触子が被検査体から受信した超音波に基づいて該超音波探触子から発生する受信信号を増幅する超音波送受信回路と、受信信号をデジタル化する A/D 変換手段と、デジタル化した受信信号を演算処理する信号処理演算手段と、演算結果を表示する表示手段とを備えた超音波探傷装置において、

前記信号処理演算手段に、被検査体内の界面から反射する超音波の界面エコー強度と該超音波のビーム路程の値を計測する界面エコー計測部と、底面から反射する超音波の底面エコー強度と該超音波のビーム路程を計測する底面エコー計測部と、界面エコー計測部と底面エコー計測部で得た計測データから評価演算式に従って健全率を演算する健全率演算部と、予め評価基準値を設定しておく評価基準値設定部と、健全率演算部で算出した健全率と評価基準値設定部に設定された評価基準値を比較して被検査体の合否を判定する合否判定部を設けたことを特徴とする超音波探傷装置。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超音波探傷装置に関する。

【背景技術】

20

【0002】

被検査体内部の傷（剥離）の有無を検査する超音波探傷探傷方法として、対比試験方式と底面エコー方式が知られている。

【0003】

対比試験片方式は、検査範囲の代表的深さ 1 点または数点に合否判定基準の剥離（傷）と同じ大きさの模擬剥離欠陥を付与した試験片について、予め垂直探傷方法で超音波探傷してエコー強度を計測する。剥離が 1 点の場合このエコー強度を基準エコー強度とする。剥離が数点の模擬剥離欠陥がある場合には、各剥離についてそれぞれ計測し、横軸に深さ、縦軸にエコー強度（高さ）をプロットして各プロット点を直線または曲線で結んで基準エコー曲線とする。そして、被検査体を探傷したときに基準のエコー強度または基準エコー曲線を超えるエコーが検出された場合に該部に剥離有りと判定する。このときのエコー強度の検出は、超音波探傷器のモニター画面にエコー計測波形を表示し、この波形を検査員が目視で観察して剥離からのエコーが否かを判断する構成である。

30

【0004】

底面エコー方式は、超音波探傷器のモニター画面に表示されるエコー計測波形を検査員が目視で観察して剥離からのエコーが否かを判断し、剥離からエコー波高値 F を読み取る。次に、同様にして、検査員が底面からのエコーが否かを判断して底面からのエコー波高値 B を読み取る。そして、剥離からのエコー波高値 F と底面からのエコー波高値 B との比 F/B を計算し、予め決められた合否判定基準値をもとに合否を決める方法である。

【0005】

40

【非特許文献 1】非破壊検査技術シリーズ 超音波探傷試験 II 編集および発行所 社団法人 日本非破壊検査協会

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

従来の超音波探傷装置は、被検査体内に放射した超音波のエコー計測波形をモニター画面に表示し、その波形の高さ（エコー強度）を検査員が目視観察して判定する工程を含む構成であることから、検査結果の正確性や安定性に欠ける問題がある。

【0007】

また、エコー強度は、被検査体内での超音波の減衰率（減衰定数）によって異なること

50

から、合否判定基準が同じであっても、合否を決める F / B 値は被検査体の材質によって異なることになる。更に、被検査体内での超音波の減衰量が該超音波の伝播路程によって異なることから、エコーの反射深さが異なると、浅いところでは過大評価し、深いところでは過少評価する傾向となる。従って、被検査体が接着積層板のように積層境界面からも超音波が反射する部材に対する検査では、健全部材であっても板材と接着材の音響インピーダンスの差によって接着境界面からもエコーが発生することから、接着積層板を被検査体とする超音波探傷では、モニター画面に表示されたエコー計測波形を目視で観察して剥離からのエコーと境界面からのエコーを識別することが困難になることがあり、正確な検査（合否判定）を行うことができなくなる。

【 0 0 0 8 】

本発明の 1 つの目的は、安定して正確な超音波探傷を実現することができる超音波探傷装置を提供することにある。

【 0 0 0 9 】

本発明の他の目的は、内部に接着境界面を有する接着積層板のような被検査体において接着境界に発生する剥離傷による該被検査体の合否を正確に判定することができる超音波探傷装置を提供することにある。

【 0 0 1 0 】

本発明の更に他の目的は、内部に接着境界面を有する接着積層板のような被検査体において接着境界に発生する剥離傷による該被検査体の合否を自動的に判定することができる超音波探傷装置を提供することにある。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 1 】

本発明は、被検査体に当接させて超音波を発信および受信する超音波探触子と、パルス電圧を発生して前記超音波探触子に印加することによって該超音波探触子から超音波を発信させると共に前記超音波探触子が被検査体から受信した超音波に基づいて該超音波探触子から発生する受信信号を増幅する超音波送受信回路と、受信信号をデジタル化する A / D 変換手段と、デジタル化した受信信号を演算処理する信号処理演算手段と、演算結果を表示する表示手段とを備えた超音波探傷装置において、

前記信号処理演算手段に、被検査体内の界面から反射する超音波の界面エコー強度と該超音波のビーム路程の値を計測する界面エコー計測部と、底面から反射する超音波の底面エコー強度と該超音波のビーム路程を計測する底面エコー計測部と、界面エコー計測部と底面エコー計測部で得た計測データから評価演算式に従って健全率を演算する健全率演算部と、予め評価基準値を設定しておく評価基準値設定部と、健全率演算部で算出した健全率と評価基準値設定部に設定された評価基準値を比較して被検査体の合否を判定する合否判定部を設けたことを特徴とする。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 2 】

本発明の超音波探傷装置は、安定して正確な超音波探傷を実現することができ、内部に接着境界面を有する接着積層板のような被検査体において接着境界に発生する剥離傷に起因する該被検査体の合否をも正確に自動的に判定することができる。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 1 3 】

被検査体内に剥離（傷）が含まれる探傷部位に発信された探傷用超音波で該被検査体の底面から反射してくる超音波（エコー）である底面エコー強度を E_b とし、界面および剥離（傷）から反射してくる超音波（エコー）である界面エコー強度を E_f とする。被検査体が接着積層板の場合には、健全な接着境界面から反射してくる超音波（エコー）も界面エコー強度 E_f に含まれる。

【 0 0 1 4 】

探傷面積 S なる探触子を用いて超音波探傷を行う場合、剥離が含まれる探傷部位で底面から反射してくる超音波の底面エコー強度は、 $S_b e^{-2 \cdot x \cdot B}$ で表される。ここで、 S

10

20

30

40

50

S_g は剥離がない健全部の面積、 α は被検査体の減衰定数、 X_B は底面エコーのビーム路程である。すなわち、探傷面積 S のうちで剥離のない健全部の面積 S_g の範囲の探傷用超音波が底面に到達し、この底面から反射してくる底面エコーの強度は、減衰係数 α と伝播距離 X_B の関数で表される。

【0015】

また、剥離部位から反射してくる超音波のエコー強度は、剥離がない健全界面部位からの反射と剥離面からの反射との和となる。剥離がない健全界面部位から反射してくる界面エコー強度は、 $S_g r_{if} e^{-2\alpha X_f}$ となる。ここで、 S_g は剥離がない健全部の面積、 r_{if} は界面での反射率、 α は被検査体の減衰定数、 X_f は剥離がある部位からの界面エコーのビーム路程である。一方、剥離から反射してくる超音波の剥離エコー強度は $(S - S_g) e^{-2\alpha X_f}$ で表せる。すなわち、剥離部〔面積 $(S - S_g)$ 〕に超音波が到達し、剥離面から反射してくる超音波の剥離エコー強度は、減衰係数 α と伝播路程 X_f の関数で表される。

10

【0016】

従って、剥離がある部位で底面から反射する超音波のエコー強度 E_B と、剥離から反射する超音波のエコー強度 E_f の比は、次式で表される。

$$E_B / E_f = (S_g e^{-2\alpha X_B}) / (S_g r_{if} e^{-2\alpha X_f} + (S - S_g) e^{-2\alpha X_f}) \quad (\text{数 1})$$

ここで E_B ：底面エコー強度、 E_f ：界面エコー強度、 α ：減衰係数、 X_f ：界面エコーの路程（時間的位置）、 X_B ：底面エコーの路程（時間的位置）、 S ：探傷面積（探触子の接触面積）、 S_g ： S における健全界面面積、 r_{if} ：界面反射率である。

20

【0017】

探触子を被検査体に当接して超音波を発信し、そのエコーを検出することによって、界面エコー計測部と底面エコー計測部によって E_B 、 E_f 、 X_f 、 X_B を計測する。また、 r_{if} は、被検査体に特有の定数であるので、設定手段によって設定する。

【0018】

そこで、健全率を S_g / S と定義すれば、健全率は次式で表される。

$$S_g / S = -E_s e^{-2\alpha X_f} / A \quad (\text{数 2})$$

ここで A および E_s は、

$$A = E_s r_{if} e^{-2\alpha X_f} - E_s e^{-2\alpha X_f} - e^{-2\alpha X_B}$$

$$E_s = E_B / E_f$$

30

である。

【0019】

そして、計測した E_B 、 E_f 、 X_f 、 X_B に基づいて健全率演算部において健全率 S_g / S を算出し、予め評価基準値設定部に設定しておいた健全率 S_g / S の評価基準（判定基準）値と健全率 S_g / S を合否判定部において比較することによって剥離（傷）による被検査体の合否（傷の有無）を判定する。

【実施例1】

【0020】

本発明の実施例1を図面を参照して説明する。

40

【0021】

図1は、小型船舶やモーターボート等の船体に用いられているFRP接着積層板の剥離傷を検査する超音波探傷装置の機能ブロック図である。

【0022】

この実施例1における超音波探傷装置は、被検査体に当接させて超音波を送受信する超音波探触子1と、パルス電圧を発生して前記超音波探触子1に印加することによって該超音波探触子1から超音波を発信させると共に前記超音波探触子1が被検査体から受信した超音波（エコー）に基づいて該超音波探触子1から発生する受信信号を増幅する超音波送受信回路2と、超音波送受信回路2から出力する受信信号をデジタル化するA/D変換回

50

路 3 と、デジタル化された受信信号を演算処理する信号処理演算部 4 と、演算結果を表示する表示回路 5 と、モニター 6 と、設定入力部 7 と、記憶装置 8 を備える。

【 0 0 2 3 】

前記超音波探触子 1 は、超音波の送受信する電気機械変換素子である振動子 1 0 1 と、被検査体との接触性を良くするために前記振動子 1 0 1 の前面に取り付けたシリコン系の遅延材である接触子 1 0 2 と、これらを保持するハウジング 1 0 3 を備える。この超音波探触子 1 は、接触子 1 0 2 の先端面（探傷面積 S ）を被検査体である接着積層板 9 の探傷面（表面）に当接させた状態で、振動子 1 0 1 にパルス電圧を印加して該振動子 1 0 1 を振動させて探傷用の超音波を発生させると、この超音波は、振動子 1 0 1 から接触子 1 0 2 を介して接着積層板 9 に伝播する（探傷用の超音波の発信）。接着積層板 9 に伝播した超音波は、接着積層板 9 の表面 9 0 1、内部の接着界面 9 0 2 と底面 9 0 3 で反射して接触子 1 0 2 に戻り、この接触子 1 0 2 を介して振動子 1 0 1 に戻る（エコー超音波の受信）。振動子 1 0 1 は、受信した超音波（エコー）を電気信号に変換して受信信号として出力する。ここで、振動子 1 0 1 から発信した超音波を探傷用超音波 1 0 4、接着積層板 9 の表面 9 0 1 で反射して振動子 1 0 1 に戻った超音波を表面エコー 1 0 4 1、内部の接着界面（剥離面を含む）9 0 2 で反射して振動子 1 0 1 に戻った超音波を界面エコー 1 0 4 2、底面 9 0 3 で反射して振動子 1 0 1 に戻った超音波を底面エコー 1 0 4 3 と定義する。

10

【 0 0 2 4 】

前記超音波送受信回路 2 は、超音波探触子 1 の振動子 1 0 1 に超音波を発生させるために該振動子 1 0 1 に印加するパルス電圧を発生し、振動子 1 0 1 が各エコー 1 0 4 1 ~ 1 0 4 3 を受信することによって該振動子 1 0 1 に発生する受信信号を増幅して出力する。この受信信号は、エコー強度に応じた大きさのアナログ信号である。

20

【 0 0 2 5 】

A/D 変換回路 3 は、超音波送受信回路 2 から出力するアナログ信号形態の受信信号をデジタル信号に変換して出力する。

【 0 0 2 6 】

信号処理演算部 4 は、界面エコー計測部 4 1 と、底面エコー計測部 4 2 と、健全率演算部 4 3 と、評価基準値設定部 4 4 と、合否判定部 4 5 を備える。この信号処理演算部 4 の前記各機能部 4 1 ~ 4 5 は、マイクロコンピュータと信号処理プログラムによって実行する演算処理機能によって実現する。また、この信号処理演算部 4 は、前記各機能部 4 1 ~ 4 5 の他にも探傷条件設定機能部（図示省略）を実現する。

30

【 0 0 2 7 】

界面エコー計測部 4 1 は、界面エコー 1 0 4 2 を計測してエコー強度 E_f とビーム路程 X_f の値を演算して求める。

【 0 0 2 8 】

底面エコー計測部 4 2 は、底面エコー 1 0 4 3 を計測してエコー強度 E_b とビーム路程 X_b の値を演算して求める。

【 0 0 2 9 】

健全率演算部 4 3 は、界面エコー計測部 4 1 で求めた界面エコー 1 0 4 2 のエコー強度 E_f とビーム路程 X_f の値と、底面エコー計測部 4 2 で求めた底面エコー 1 0 4 3 のエコー強度 E_b とビーム路程 X_b の値に基づいて（数 2）で示される演算を実行して S_g/S の値（健全率）を求める。ここで、減衰係数 α と界面反射率 r_{if} は、設定入力部 7 から設定される。

40

【 0 0 3 0 】

合否判定部 4 5 は、健全率演算部 4 3 で求めた健全率 S_g/S を評価基準値設定部 4 4 に設定してある評価基準値と比較し、健全率 S_g/S が評価基準値以上であれば合格とする。ここで、評価基準値は、予め設定入力部 7 から設定される。

【 0 0 3 1 】

表示回路 5 は、入力設定部 7 からの設定画面と、A/D 変換回路 3 から受信したエコー

50

受信信号と、信号処理演算部 4 で判定した合否判定結果をモニター 6 に表示する処理を行う。

【 0 0 3 2 】

記憶装置 8 は、信号処理演算部 4 で取り扱う受信信号や各種のデータや信号処理プログラムを記憶して保持する。

【 0 0 3 3 】

図 2 は、この実施例 1 における超音波探傷装置によって剥離傷がない健全な接着積層板 9 を超音波探傷している状態を示す模式図である。図 1 のブロック図に示した超音波送受信回路 2 ~ 設定入力部 7 は、超音波探傷器本体 1 0 に実装される。そして、超音波探触子 1 から発信した超音波ビーム 1 0 4 は、その一部が被検査体である接着積層板 9 の表面 9 0 1 で反射し、他の一部は内部に伝播して健全な接着界面 9 0 2 と底面 9 0 3 で反射し、その各反射波がエコーとして超音波探触子 1 で受信される。受信したエコー受信信号は、超音波探傷器本体 1 0 のモニター 6 にオシログラフ波形 6 0 1 として表示される。表面エコー 1 0 4 1 は、オシログラフ波形 6 0 1 における表面エコー部 6 0 1 1 に該当し、界面エコー 1 0 4 2 は界面エコー部 6 0 1 2 に該当し、底面エコー 1 0 4 3 は底面エコー部 6 0 1 3 に該当する。

10

【 0 0 3 4 】

図 3 は、接着積層板 9 の構造と探傷用超音波の反射の様子を示す模式図である。この接着積層板 9 は、複数枚の薄板材 9 0 4 を接着剤 9 0 5 で張り合わせた構造物である。薄板材 9 0 4 と接着剤 9 0 5 の音響インピーダンスを各々 Z_1 、 Z_2 とすると、その境界面では

20

$$(Z_1 - Z_2) / (Z_1 + Z_2) \quad (\text{数 } 3)$$

の界面反射 (界面エコー) 1 0 4 2 が発生する。複数枚の薄板材 9 0 4 を積層した構造の接着積層板 9 では、次々に境界面があり、超音波探触子 1 から発信した超音波が各界面で反射および再反射を繰り返すことから、超音波探触子 1 に戻ってくる界面エコー 1 0 4 2 が時間的にずれたり重畳したりする。

【 0 0 3 5 】

図 4 は、この実施例 1 における超音波探傷装置によって剥離傷を含んだ接着積層板 9 を超音波探傷している状態を示す模式図である。被検査体である接着積層板 9 の接着境界面に剥離傷 9 0 6 がある場合には、その剥離傷面で超音波が反射する剥離エコー 1 0 4 4 が発生する。この剥離エコー 1 0 4 4 は、モニター 6 に表示されるオシログラフ波形 6 0 1 では、剥離エコー部 6 0 1 4 として表示される。

30

【 0 0 3 6 】

剥離傷 9 0 6 は、一般に空気層であり、空気の音響インピーダンスを Z_3 とすると、剥離傷 9 0 6 の界面では、

$$(Z_1 - Z_3) / (Z_1 + Z_3) \quad (\text{数 } 4)$$

の超音波の反射が発生することになる。このとき、健全な積層界面 9 0 2 では (数 3) で表される界面エコー 1 0 4 2 が発生するが、積層する薄板材 9 0 4 の材質や組成と接着剤 9 0 5 の組み合わせによっては健全な積層界面 9 0 2 からの界面エコー 1 0 4 2 の強度が大きくなり、剥離傷 9 0 6 からの剥離エコー 1 0 4 4 の有無を目視で識別することが困難になる。

40

【 0 0 3 7 】

因に、剥離エコー 1 0 4 4 は、強さ (モニター 6 に表示されるオシログラフ波形 6 0 1 の波形の高さ) が異なるだけで、健全な積層界面 9 0 2 で発生する界面エコー 1 0 4 2 と同様に発生する。そこで、強い界面エコー 1 0 4 2 を剥離エコー 1 0 4 4 とみなして評価 (合否判定) するようにする。

【 0 0 3 8 】

このような合否判定は、界面エコー 1 0 4 2 や剥離エコー 1 0 4 4 を受信するタイミングで発生するエコー受信信号と、底面エコー 1 0 4 3 を受信するタイミングで発生するエコー受信信号に限って識別処理するための界面ゲートと底面ゲートを界面エコー計測部 4

50

1と底面エコー計測部42に設定しておき、各ゲート内のエコー受信信号において最も高い波高値のエコーを剥離エコー E_f 、底面エコー E_B と判定することによって実現することができる。

【0039】

図5は、このようにして剥離エコー E_f と底面エコー E_B を計測するために設定したゲートとエコー受信信号波形を表示したモニター6の表示画面の模式図である。

【0040】

界面エコー1042や剥離エコー1044が受信される位置(時間的な範囲)に界面エコー1042や剥離エコー1044の受信信号を取り込んで処理する界面ゲート411を界面エコー計測部41に設定し、底面エコー1043が受信される位置(時間的な範囲)に底面エコー1043の受信信号を取り込んで処理する底面ゲート421を底面エコー計測部41に設定する。そして、界面エコー計測部41と底面エコー計測部42は、各ゲート411, 421内で受信するエコー受信信号における最も高い波高値をもつエコー受信信号を剥離エコー1044としてそのエコー強度 E_f 、底面エコー1043のエコー強度 E_B としてそれぞれ識別し、そのときの剥離エコー1044のビーム路程 X_f と底面エコー1043のビーム路程 X_B をそれぞれ計測する。

【0041】

ここで、底面エコー1043と剥離エコー1044の比 E_B/E_f は、

$$E_B/E_f = (S_g e^{-2\alpha X_B}) / (S_g r_{if} e^{-2\alpha X_f} + (S - S_g) e^{-2\alpha X_f}) \quad (数1)$$

数1)

となる。ここで、 E_B は底面エコー強度、 E_f は剥離エコー強度、 α は減衰係数、 X_f は剥離エコーの時間的位置、 X_B は底面エコーの時間的位置、 S は探傷面積(接触子102の接触面積)、 S_g は S における健全界面面積、 r_{if} は界面反射率である。

【0042】

この(数1)において、 E_B , E_f , X_f , X_B がエコー計測に基づいて求められることになる。また、 r_{if} は、被検査体9に特有の定数であり、設定入力部7からの入力によって設定される。

【0043】

そこで、健全率を S_g/S と定義すれば、

$$S_g/S = -E_s e^{-2\alpha X_f} / A \quad (数2)$$

ここで、 A および E_s は、

$$A = E_s r_{if} e^{-2\alpha X_f} - E_s e^{-2\alpha X_f} - e^{-2\alpha X_B}$$

$$E_s = E_B / E_f$$

である。

【0044】

そして、計測した E_B , E_f , X_f , X_B と材料固有の定数である α 、 r_{if} を用いて信号処理演算部4の健全率演算部43において(数2)に従った演算処理によって健全率 S_g/S の値を求める。この値を、合否判定部45において、予め設定した合否判定基準の値と比較することによって、剥離の有無による被検査体9の合否を判定し、判定結果をモニター6に表示する。

【0045】

このようにすることによって、剥離傷による被検査体9の正確な合否を容易に且つ安定して判定(評価)することが可能となる。

【0046】

次に、接着積層板9の製造のばらつきにより、界面エコー強度の計測ばらつきが大きい場合の補正方法を説明する。製造のばらつきが界面エコー強度に与える影響は、界面反射率 r_{if} のばらつきである。この界面反射率 r_{if} ばらつきは、健全部における界面エコー1042の強度 E_f と底面エコー1043の強度 E_B の比である E_B/E_f を初期値として計測し、その値で界面反射率 r_{if} を補正することによって解消する方法を採用する

10

20

30

40

50

と良い。

【0047】

健全部においては、(数1)における分母の第2項がないことになるので、底面エコー1043と界面エコー1042の比で表される評価演算式は、

$$E_B / E_f = S_g e^{2 \cdot X_B} / S_g r_{if} e^{2 \cdot X_f} \quad (\text{数5})$$

となる。

【0048】

ここで、界面反射率 r_{if} は、材料固有の定数であるが、これを実態に合わせて補正することにする。

【0049】

すなわち、

$$r_{if}' = C \cdot r_{if}$$

とすると、

$$E_B / E_f = S_g e^{2 \cdot X_B} / S_g r_{if}' e^{2 \cdot X_f} \quad (\text{数6})$$

となる。ここで、健全部での計測値 E_B 、 E_f 、 X_f 、 X_B と材料固有の定数であるから、 $r_{if}' = C \cdot r_{if} = e^{2 \cdot X_B} / E_g e^{2 \cdot X_f}$ (数7)

となる。

【0050】

ここで、 $E_g = E_B / E_f$

従って、

$$C = e^{2 \cdot X_B} / r_{if} E_g e^{2 \cdot X_f} \quad (\text{数8})$$

が得られる。

【0051】

この補正係数 C を用いると、評価演算式は、

$$E_B / E_f = (S_g e^{2 \cdot X_B}) / (S_g C r_{if} e^{2 \cdot X_f} + (S - S_g) e^{2 \cdot X_f}) \quad (\text{数9})$$

となる。

【0052】

そこで、健全率を S_g / S と定義すれば、

$$S_g / S = - E_g e^{2 \cdot X_f} / B \quad (\text{数10})$$

ここで、 B は、

$$B = E_g C r_{if} e^{2 \cdot X_f} - E_g e^{2 \cdot X_f} - e^{2 \cdot X_B}$$

である。

【0053】

この(数10)を用いて演算することにより、接着積層板8の製造のばらつきによる計測ばらつきを補正することができる。

【0054】

図6は、前述したような超音波探傷を実行するために実施例1における超音波探傷装置が実行するFRP劣化診断のための探傷処理のフローチャートである。

【0055】

ステップS1

探傷条件を設定する。この探傷条件の設定は、設定入力部7からの指示入力によって、探傷条件設定機能部を機能させて図7に示すような探傷条件設定画面をモニター6に表示させ、減衰定数と界面反射率 r_{if} と評価定数(判定基準値 = S_g / S の合否判定基準値)を設定することによって行う。

【0056】

ステップS2

超音波探傷子1の接触子102を接着積層板9の探傷面に押し当てて超音波探傷を開始する。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 7 】

ステップ S 3

界面エコーのエコー強度 E_f とビーム路程 X_f を読み込む。

【 0 0 5 8 】

ステップ S 4

底面エコーのエコー強度 E_B とビーム路程 X_B を読み込む。

【 0 0 5 9 】

ステップ S 5

読み込んだ界面エコーデータ E_f , X_f と底面エコーデータ E_B , X_B に基づいて (数 2) または (数 1 0) を用いて健全率 S_g/S の値を演算する。

10

【 0 0 6 0 】

ステップ S 6

剥離による被検査体 9 の合否を判定する。これは、予め設定する評価定数の値 (合否判定基準値) と健全率 S_g/S の値を比較し、 S_g/S の値が評価定数値以上であれば合格と判定する。この例では、評価定数値は 0 . 5 に設定されており、探傷面積 S の半分の面積未満の剥離まで許容 (合格) する。

【 0 0 6 1 】

ステップ S 7

このような信号処理の内容であるエコー受信信号波形 6 0 1 , E_B/E_f , 健全率 S_g/S , 良否 (合否判定結果) 等を、図 8 に示すように、モニター 6 に表示する。合否判定結果 (良否) は、 (合格) × (不合格) で表示している。

20

【 0 0 6 2 】

ステップ S 8

探傷データ E_f , X_f , E_B , X_B , 合否結果を記憶装置 8 に格納する。これで、1カ所の超音波探傷を終了する。

【 0 0 6 3 】

ステップ S 9

超音波探傷を更に行うかどうかを判断して処理を分岐する。更に行う場合にはステップ S 3 に戻って同様に実行する。

【 0 0 6 4 】

ステップ S 1 0

超音波探傷を終了する。

30

【 0 0 6 5 】

図 9 は、このような FRP 劣化診断に好ましい形態の FRP 劣化診断装置として構成した実施例 1 の超音波探傷装置における超音波探傷器本体 1 0 の外観図である。この超音波探傷器本体 1 0 は、携帯して超音波探触子 (図示省略) を小型船舶あるいはモーターボート等の CFRP 船体 (被検査体である接着積層板) に当接して CFRP の剥離による劣化の程度を診断するのに好適な形態に構成してある。

【 0 0 6 6 】

因に、この実施例 1 における設定入力部 7 は、電源スイッチ 7 0 1 と設定画面を表示させる画面スイッチ 7 0 2 とゲートを設定するゲートスイッチ 7 0 3 と設定値を選択する選択スイッチ 7 0 4 を備える。

40

【 実施例 2 】

【 0 0 6 7 】

図 1 0 は、被検査体に対する超音波探触子の接触位置 (探傷位置) を移動させながら超音波探傷を繰り返す自動スキャン方式の超音波探傷装置の機能ブロック図である。

【 0 0 6 8 】

この実施例 2 の超音波探傷装置は、実施例 1 と同様の超音波探触子 1 と超音波送受信回路 2 と A / D 変換回路 3 と信号処理演算部 4 と表示回路 5 とモニター 6 と設定入力部 7 と記憶装置 8 を備え、更に、前記超音波探触子 1 の接触位置 (被検査体表面上の X 座標と Y

50

座標)を移動させるために該超音波探触子1を移動する駆動機構11と該駆動機構11を制御する駆動制御回路12を備える。

【0069】

駆動制御回路12は、超音波探触子1における接触子102の接触位置(探傷位置)が所定の距離で順次にずれるように駆動機構11を制御すると共に各探傷位置情報(X座標とY座標情報)を超音波送受信回路2と信号処理演算部4に与える。

【0070】

超音波送受信回路2は、各探傷位置(X座標とY座標)で実施例1と同様に超音波の送受信を行うように超音波探触子1と連係する。

【0071】

信号処理演算部4は、各探傷位置(X座標とY座標)で実施例1と同様のエコー受信信号の処理を行って各探傷位置での合否判定とデータ格納を行う。すなわち、各探傷位置で E_b 、 E_r 、 X_r 、 X_b を計測して(数2)または(数10)で演算処理し、X座標とY座標上に表示させる。

【実施例3】

【0072】

図11は、複数の超音波探触子によって超音波探傷を実行するマルチ探触子方式の超音波探傷装置の機能ブロック図である。

【0073】

この実施例3における超音波探触子13は、実施例1における超音波探触子1と同様な16個の超音波探触子1a~1qを4(X軸)×4(Y軸)個の配列で一体化した超音波マルチ探触子として構成し、スイッチング回路であるマルチプレクサ14で各超音波探触子1a~1qを選択的に切り替えて超音波探傷する構成である。超音波送受信回路2~記憶装置8は、実施例1または実施例2と同様に構成する。

【0074】

このマルチ探触子方式の超音波探傷装置は、被検査体に超音波探触子13を押し当てることにより、広い範囲(実施例1の16倍の探傷面積)を計測して探傷する処理を短時間に実現することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0075】

【図1】本発明の実施例1の超音波探傷装置の機能ブロック図である。

【図2】本発明の実施例1の超音波探傷装置によって剥離傷がない健全な接着積層板を超音波探傷している状態を示す模式図である。

【図3】接着積層板の構造と探傷用超音波の反射の様子を示す模式図である。

【図4】本発明の実施例1の超音波探傷装置によって剥離傷を含んだ接着積層板を超音波探傷している状態を示す模式図である。

【図5】本発明の実施例1の超音波探傷装置において剥離エコーと底面エコーを計測するために設定したゲートとエコー受信信号波形を表示したモニターの表示画面の模式図である。

【図6】本発明の実施例1における超音波探傷装置が実行するFRP劣化診断のための探傷処理のフローチャートである。

【図7】本発明の実施例1における超音波探傷装置が実行するFRP劣化診断のための探傷処理においてモニターに表示する探傷条件設定画面である。

【図8】本発明の実施例1における超音波探傷装置が実行するFRP劣化診断のための探傷処理においてモニターに表示する探傷結果表示画面である。画面表示

【図9】本発明の実施例1の超音波探傷装置の超音波探傷器本体の外観図である。

【図10】本発明の実施例2の自動スキャン方式の超音波探傷装置の機能ブロック図である。

【図11】本発明の実施例3のマルチ探触子方式の超音波探傷装置の機能ブロック図である。

10

20

30

40

50

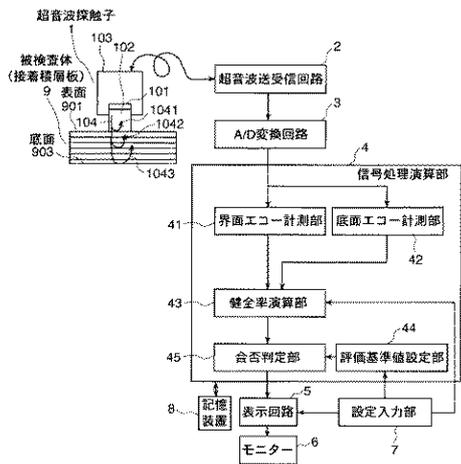
【符号の説明】

【0076】

1 超音波探触子、101 振動子、102 接触子、104 探傷用超音波（ビーム）、1041 表面エコー、1042 界面エコー、1043 底面エコー、2 超音波送受信回路、3 A/D変換部、4 信号処理演算部、41 界面エコー計測部、42 底面エコー計測部、43 健全率演算部、44 評価基準値設定部、45 合否判定部、5 表示回路、6 モニター、7 設定入力部、8 記憶装置、9 被検査体（積層接着板）。

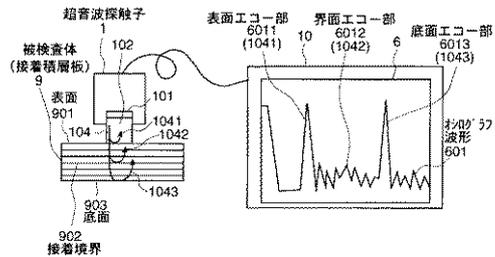
【図1】

図 1



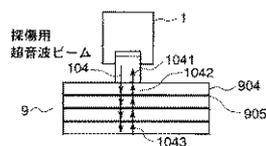
【図2】

図 2

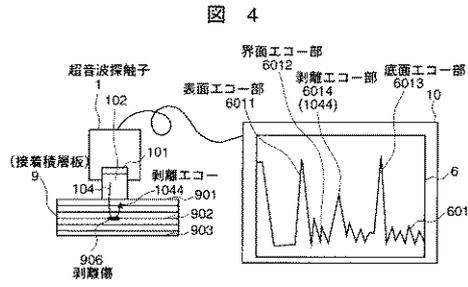


【図3】

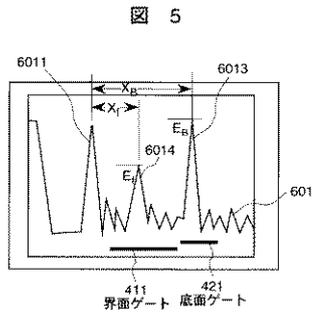
図 3



【 図 4 】



【 図 5 】

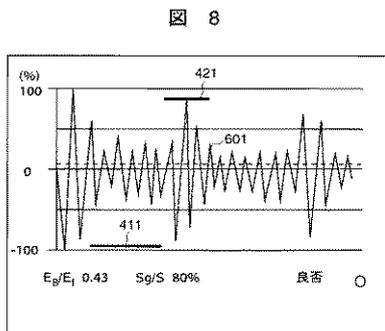


【 図 7 】

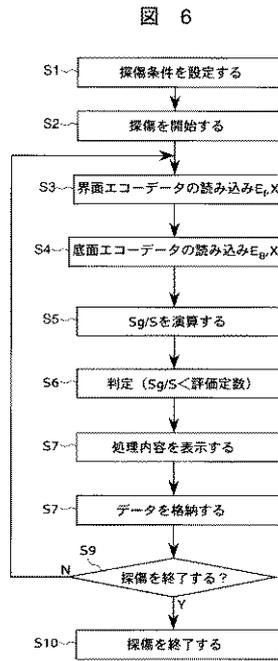
図 7

条件設定		
項目	設定値	
	2MHz	4MHz
減衰定数 α	0.4	0.6
界面反射率 γ_H	0.4	0.5
評価定数	0.5	0.5

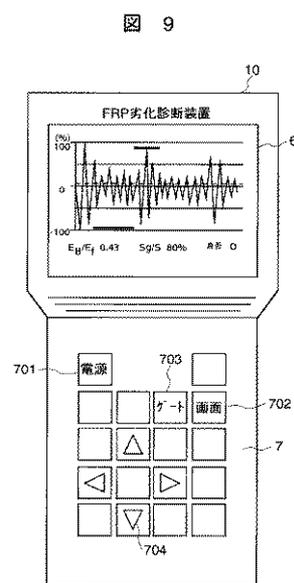
【 図 8 】



【 図 6 】

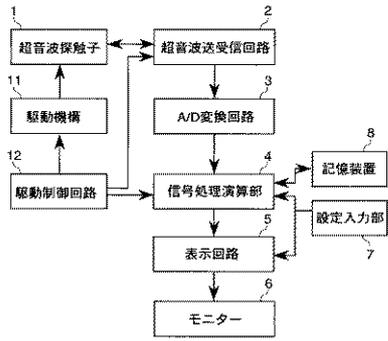


【 図 9 】



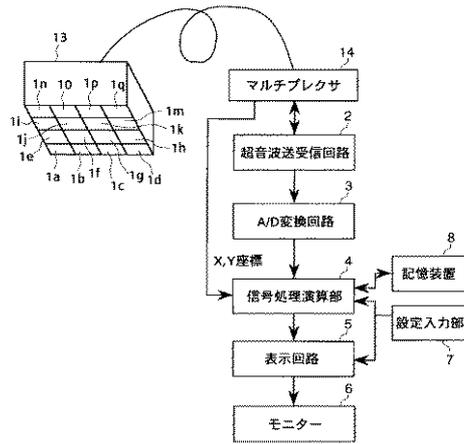
【図 10】

図 10



【図 11】

図 11



フロントページの続き

(72)発明者 塙 晴行

茨城県日立市幸町三丁目2番1号

日立エンジニアリング株式会社内

(72)発明者 勝又 健一

東京都小平市小川町1-2586-8

(72)発明者 松岡 一祥

東京都八王子市大塚94-11

Fターム(参考) 2G047 AA05 AB05 AB07 BA03 BC00 BC01 BC03 BC09 GF06 GG09

GG33