(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2016-27321
(P2016-27321A)
(43)公開日　平成28年2月18日(2016.2.18)

(51)Int.Cl.		F I		テーマコード（参考）
G01N 29/50	(2006.01)	G01N	29/50	2G047
G01N 29/06	(2006.01)	G01N	29/06	

審査請求 未請求　請求項の数 6　ＯＬ　（全 16 頁）

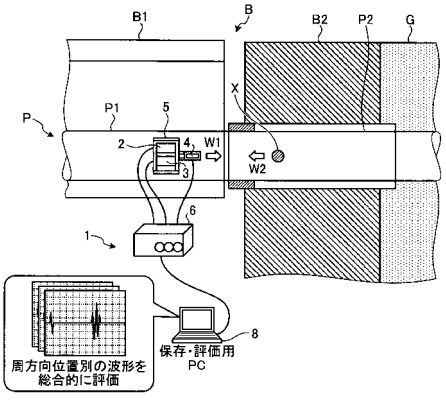
(21)出願番号　特願2015-107518 (P2015-107518)
(22)出願日　平成27年5月27日 (2015.5.27)
(31)優先権主張番号　特願2014-137887 (P2014-137887)
(32)優先日　平成26年7月3日 (2014.7.3)
(33)優先権主張国　日本国 (JP)

(71)出願人　000004123
ＪＦＥエンジニアリング株式会社
東京都千代田区丸の内一丁目８番１号
(74)代理人　100089118
弁理士　酒井　宏明
(72)発明者　大谷　靖弘
東京都千代田区丸の内一丁目８番１号　ＪＦＥエンジニアリング株式会社内

Ｆターム(参考)　2G047 AA06 AB01 BA03 BC03 BC11 CA01 CB03 DA02 GA04 GA05 GA13 GB03 GG20 GG36

(54)【発明の名称】超音波検査方法および探触子設置治具

(57)【要約】
【課題】相関処理における整合性の精度を改善して、検査精度がより向上した超音波検査方法および探触子設置治具を提案。
【解決手段】第１送受信探触子２および第２送受信探触子３によって、配管Ｐ２に向けてＳＨガイド波Ｗ１を送信するＳＨガイド波送信ステップと、受信探触子４によって、第１送受信探触子２および第２送受信探触子３から送信されたＳＨガイド波Ｗ１を参照波Ｗ３として受信する参照波受信ステップと、第１送受信探触子２および第２送受信探触子３によって、検査対象からの反射波Ｗ２を受信する反射波受信ステップと、受信探触子４が受信した参照波Ｗ３と、第１送受信探触子２および第２送受信探触子３が受信した反射波Ｗ１に基づいて相関処理を行う相関処理ステップと、相関処理ステップによって得られた相関波Ｗ４を出力する出力ステップと、を備える。
【選択図】図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
計測用送受信探触子によって、検査対象に向けてＳＨガイド波を送信するＳＨガイド波送信ステップと、
受信探触子によって、前記計測用送受信探触子から送信された前記ＳＨガイド波を参照波形として受信する参照波受信ステップと、
前記計測用送受信探触子によって、前記検査対象からの反射波を受信する反射波受信ステップと、
前記受信探触子が受信した前記参照波形と、前記計測用送受信探触子が受信した前記反射波とに基づいて相関処理を行う相関処理ステップと、
前記相関処理ステップによって得られた相関波形を出力する出力ステップと、
を備えることを特徴とする超音波検査方法。
【請求項２】
前記計測用送受信探触子は、複数が前記ＳＨガイド波の伝播方向に並列に配設されている、
ことを特徴とする請求項１に記載の超音波検査方法。
【請求項３】
前記計測用送受信探触子および前記受信探触子を、前記検査対象の前記ＳＨガイド波の伝播方向と異なる方向に移動する移動ステップと、
を備え、
前記検査対象は、配管であり、
前記ＳＨガイド波の伝播方向は、前記配管の軸方向と一致し、
前記検査対象の外周面の所定の場所において、前記ＳＨガイド波送信ステップと前記参照波受信ステップと前記反射波受信ステップとを実施した後で、前記移動ステップを実施して前記検査対象の外周面を周方向に移動することを繰り返して、前記検査対象を全周に亘って検査する、
ことを特徴とする請求項１または２に記載の超音波検査方法。
【請求項４】
請求項１ないし３のいずれか１項に記載の超音波検査方法に用いられ、前記計測用送受信探触子および前記受信探触子を前記検査対象に着脱自在に設置する探触子設置治具であって、
前記計測用送受信探触子を、前記検査対象に押し付けた状態で支持する第１支持フレームと、
前記受信探触子を、前記計測用送受信探触子から送信された前記ＳＨガイド波の伝播方向に、前記検査対象に押し付けた状態で支持する第２支持フレームと、
を備え、
前記第２支持フレームは前記第１支持フレームに配設されており、前記検査対象からの反射波を受信した前記第１支持フレームに支持された前記計測用送受信探触子と、前記ＳＨガイド波を参照波形として受信した前記第２支持フレームに支持された前記受信探触子との間隔は所定距離となる、
ことを特徴とする探触子設置治具。
【請求項５】
前記第１支持フレームは、複数の前記計測用送受信探触子を、前記ＳＨガイド波の伝播方向に並列に支持し、
前記第２支持フレームは、前記受信探触子を、複数の前記計測用送受信探触子の中心線上に位置して支持する、
ことを特徴とする請求項４に記載の探触子設置治具。
【請求項６】
前記第２支持フレームは、前記第１支持フレームに対して摺動自在に配設されている、
ことを特徴とする請求項４または５に記載の探触子設置治具。

【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、超音波検査方法および探触子設置治具に関する。
【背景技術】
【０００２】
従来、埋設物や遮蔽物のように視認困難な部位の腐食の検査において、超音波を検査対象に送信して、その反射波を受信して腐食を検査することが知られている。検査精度を向上するためには、十分な強度の超音波が伝播するように超音波の出力レベル（エネルギー）および指向性を向上する方法と、反射波のノイズなどを適切に除去して信号識別性を向上する方法がある。
【０００３】
超音波の出力レベルおよび指向性を向上する方法としては、超音波を送受信する送受信探触子を大型化することが考えられる。
【０００４】
信号識別性を向上する方法としては、相関処理によるパルス圧縮法が知られている。特許文献１に示す超音波診断装置には、生成したチャープ波に対して圧縮処理を行ってチャープ波圧縮信号を出力し、チャープ波圧縮信号に基づいてＳＨ波を生成して被検体内に伝播させる技術が開示されている。この技術では、ノイズを低減するために、チャープ波は圧縮処理前にハミング窓関数処理される。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００５】
【特許文献１】特開２０１１－０４７７６３号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００６】
ところで、超音波を検査対象に送信する際に、波形発生装置などによって制御して探触子に対して送信指示した電気信号波形と、実際に検査対象を伝播する伝播波形とに差異が生じる。そのため、実際の伝播波形と異なる電気信号波形を参照波形として計測波形との相関処理を行うと、整合性の精度に改善の余地がある。
【０００７】
本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、相関処理における整合性の精度を改善して、検査精度がより向上した超音波検査方法および探触子設置治具を提案することを目的とする。
【課題を解決するための手段】
【０００８】
上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係る超音波検査方法では、
（１）計測用送受信探触子によって、検査対象に向けてＳＨガイド波を送信するＳＨガイド波送信ステップと、受信探触子によって、前記計測用送受信探触子から送信された前記ＳＨガイド波を参照波形として受信する参照波受信ステップと、前記計測用送受信探触子によって、前記検査対象からの反射波を受信する反射波受信ステップと、前記受信探触子が受信した前記参照波形と、前記計測用送受信探触子が受信した前記反射波とに基づいて相関処理を行う相関処理ステップと、前記相関処理ステップによって得られた相関波形を出力する出力ステップと、を備えることを特徴とする。
【０００９】
（２）また、上記（１）の超音波検査方法において、前記計測用送受信探触子は、複数が前記ＳＨガイド波の伝播方向に並列に配設されている、ことが好ましい。
【００１０】
（３）また、上記（１）または（２）の超音波検査方法は、前記計測用送受信探触子お

よび前記受信探触子を、前記検査対象の前記ＳＨガイド波の伝播方向と異なる方向に移動する移動ステップと、を備え、前記検査対象は、配管であり、前記ＳＨガイド波の伝播方向は、前記配管の軸方向と一致し、前記検査対象の外周面の所定の場所において、前記ＳＨガイド波送信ステップと前記参照波受信ステップと前記反射波受信ステップとを実施した後で、前記移動ステップを実施して前記検査対象の外周面を周方向に移動することを繰り返して、前記検査対象を全周に亘って検査する、ことが好ましい。

【００１１】

（４）本発明に係る探触子設置治具は、上記（１）から（３）のいずれかの超音波検査方法に用いられ、前記計測用送受信探触子および前記受信探触子を前記検査対象に着脱自在に設置する探触子設置治具であって、前記計測用送受信探触子を、前記検査対象に押し付けた状態で支持する第１支持フレームと、前記受信探触子を、前記計測用送受信探触子から送信された前記ＳＨガイド波の伝播方向に、前記検査対象に押し付けた状態で支持する第２支持フレームと、を備え、前記第２支持フレームは前記第１支持フレームに配設されており、前記検査対象からの反射波を受信した前記第１支持フレームに支持された前記計測用送受信探触子と、前記ＳＨガイド波を参照波形として受信した前記第２支持フレームに支持された前記受信探触子との間隔は所定距離となる、ことを特徴とする。

【００１２】

（５）また、上記（４）の探触子設置治具において、前記第１支持フレームは、複数の前記計測用送受信探触子を、前記ＳＨガイド波の伝播方向に並列に支持し、前記第２支持フレームは、前記受信探触子を、複数の前記計測用送受信探触子の中心線上に位置して支持する、ことが好ましい。

【００１３】

（６）また、上記（４）または（５）の探触子設置治具において、前記第２支持フレームは、前記第１支持フレームに対して摺動自在に配設されている、ことが好ましい。

【発明の効果】

【００１４】

本発明にかかる超音波検査方法は、計測用送受信探触子によって、検査対象に向けてＳＨガイド波を送信して、受信探触子が受信した参照波形と、計測用送受信探触子が受信した反射波とに基づいて相関処理を行う。これにより、実際に検査対象を伝播して受信探触子が受信した参照波形に基づいて相関処理するため、相関処理における整合性の精度が改善されて信号識別性が向上し、検査精度がより向上する、という効果を奏する。

【００１５】

また、探触子設置治具は、計測用送受信探触子および受信探触子を検査対象に着脱自在に設置し、検査対象からの反射波を受信した第１支持フレームに支持された計測用送受信探触子と、ＳＨガイド波を参照波形として受信した第２支持フレームに支持された受信探触子との間隔は所定距離である。このため、超音波検査方法において、計測用送受信探触子および受信探触子を検査対象に容易に着脱できる、という効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【００１６】

【図１】図１は、第１実施形態に係る超音波検査方法により橋台の配管の腐食を検査している状態を説明する概略図である。

【図２】図２は、超音波検査装置を示すブロック図である。

【図３】図３は、探触子設置治具の側面図である。

【図４】図４は、探触子設置治具の平面図である。

【図５】図５は、探触子設置治具の断面図である。

【図６】図６は、超音波検査方法における信号処理を示すフロー図である。

【図７】図７は、超音波検査方法を示すフロー図である。

【図８】図８は、超音波検査方法の計測処理手順を示すフロー図である。

【図９】図９は、超音波検査方法の評価処理手順を示すフロー図である。

【図１０】図１０は、超音波検査方法による出力結果を説明する図である。

【図１１】図１１は、超音波検査方法による出力結果を説明する図である。
【図１２】図１２は、超音波検査方法における信号処理を説明する概略図である。
【図１３】図１３は、超音波検査方法の効果を確認するために使用した試験体を示す概略図である。
【図１４】図１４は、従来の超音波検査方法における信号識別性を説明する図である。
【図１５】図１５は、超音波検査方法における信号識別性を説明する図である。
【図１６】図１６は、超音波検査方法における指向性と従来の超音波検査方法における指向性とを説明する図である。
【発明を実施するための形態】
【００１７】
以下に、本発明にかかる超音波検査方法および探触子設置治具の実施形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、この実施形態によりこの発明が限定されるものではない。
【００１８】
［第１実施形態］
図１ないし図１６を参照して、第１実施形態について説明する。この実施形態は、超音波検査方法および探触子設置治具５に関する。超音波検査方法は、埋設物や遮蔽物のように視認困難な部位、例えば、図１に示すように、検査対象としての配管Ｐが、橋梁Ｂの橋桁Ｂ１下方に架設され（配管Ｐ１）、橋台Ｂ２を貫通（配管Ｐ２）して地面Ｇに埋設されている場合に、配管Ｐ２における腐食Ｘを検査する方法である。配管Ｐの中で、橋桁Ｂ１下方に架設されている配管Ｐ１は外部に露出しているので視認確認するものとし、地面Ｇに埋設されている箇所は今回の検査対象外であるものとする。そこで、この超音波検査方法は、配管Ｐの中で視認困難な配管Ｐ２について、超音波検査装置１と探触子設置治具５を使用して検査する。
【００１９】
超音波検査装置１は、配管Ｐに取り付けられて、ＳＨガイド波Ｗ１を送信して、その反射波Ｗ２を受信して腐食Ｘを検査するものである。具体的には、超音波検査装置１は、外部に露出している配管Ｐ１に取り付けられて、配管Ｐ１から配管Ｐ２に向かってＳＨガイド波Ｗ１を送信し、腐食Ｘにおいて反射して配管Ｐ２から配管Ｐ１に伝播する反射波Ｗ２を受信するものである。超音波検査装置１は、図１、図２に示すように、主として、計測用送受信探触子としての第１送受信探触子２および第２送受信探触子３と、受信探触子４と、送受信装置６と、保存・評価用ＰＣ（ＰＣ）８とを備えている。
【００２０】
第１送受信探触子２は、図１に示すように、配管Ｐ１の外周面に取り付けられて、配管Ｐ２の軸方向に向けてＳＨガイド波Ｗ１を送信し、配管Ｐ２からの反射波Ｗ２を受信する振動子を有するセンサである。この第１送受信探触子２は、直方体状の箱形に形成されている。振動子の大きさは、例えば、数１０ｍｍ×数１０ｍｍ程度のものとする。また、第１送受信探触子２は、振動子に高周波のパルス電圧を加えることにより振動を生じさせてＳＨガイド波Ｗ１を発生させて送信する。振動子に加える高周波のパルス電圧に関する情報は、後述する送受信装置６が生成する第１送受信探触子２に対する送信信号に含まれている。また、第１送受信探触子２は、振動子の振動により生じた振動を電気信号に変えて受信する。第１送受信探触子２は、後述する送受信装置６によって制御されている。第１送受信探触子２から送信されたＳＨガイド波Ｗ１は、配管Ｐ１、Ｐ２の周面を伝播して、腐食Ｘにおいて反射して反射波Ｗ２となり、その反射波Ｗ２を第１送受信探触子２が受信する。
【００２１】
ここで、ＳＨガイド波Ｗ１は、非分散モードのチャープ波またはバースト波とする。このように第１送受信探触子２から送信されたＳＨガイド波Ｗ１は、配管Ｐ２の周方向の一部分を軸方向に伝播する。
【００２２】
第２送受信探触子３は、配管Ｐ１の外周面に、第１送受信探触子２と、ＳＨガイド波Ｗ

１の伝播方向に並列、すなわち、配管Ｐ１の軸方向に並列に取り付けられている。すなわち、第１送受信探触子２と第２送受信探触子３とは、配管Ｐ１の軸方向における同位置、かつ、配管Ｐ１の外周面に周方向に間隔を空けて取り付けられている。第２送受信探触子３は、第１送受信探触子２と同等の構成を有するセンサであり、第１送受信探触子２が送信するＳＨガイド波Ｗ１と同一（同周波数、同強度）のＳＨガイド波Ｗ１を同時に送信するように、後述する送受信装置６によって制御されている。

【００２３】

ここで、第１送受信探触子２と第２送受信探触子３とは、「見かけの送受信探触子」を構成するものとする。見かけの送受信探触子を構成する第１送受信探触子２と第２送受信探触子３とは、並列に配設され、同一のＳＨガイド波Ｗ１を同時に送信する。このため、見かけの送受信探触子においては、２つのＳＨガイド波Ｗ１が合成されるので、第１送受信探触子２と第２送受信探触子３のそれぞれから出力されるＳＨガイド波Ｗ１や反射波Ｗ２に比べて出力レベルが増大する。また、見かけの送受信探触子は、第１送受信探触子２の図５における左端と第２送受信探触子３の図５における右端の間の配管Ｐ１の周方向の幅が「見かけの幅」となる。見かけの幅は、第１送受信探触子２と第２送受信探触子３のそれぞれの配管Ｐ１の周方向の幅より大きい。このため、見かけの送受信探触子は、第１送受信探触子２と第２送受信探触子３のそれぞれに比べて指向性が向上する。

【００２４】

なお、送受信探触子を並列に配置せず、単一で実際の幅を広げた送受信探触子を配管Ｐ１の外周面に取り付ける場合、単一で幅を広げた送受信探触子は、検査対象の外周面の影響を受けて、超音波の出力レベルおよび指向性が低下するおそれがある。

【００２５】

受信探触子４は、配管Ｐ１に取り付けられて、第１送受信探触子２および第２送受信探触子３から送信されたＳＨガイド波Ｗ１が配管Ｐ１を伝播したものを参照波Ｗ３（図６参照）として受信する振動子を有するセンサである。振動子の大きさは、例えば、数１０ｍｍ×数１０ｍｍ程度のものとする。また、受信探触子４は、振動子の振動により生じた振動を電気信号に変えて受信する。受信探触子４は、後述する送受信装置６によって制御されている。

【００２６】

このような第１送受信探触子２と、第２送受信探触子３と、受信探触子４とは、探触子設置治具５（図１参照）によって支持されている。探触子設置治具５は、超音波検査方法に用いられ、第１送受信探触子２および第２送受信探触子３と受信探触子４とを配管Ｐ１に着脱自在に設置するものである。探触子設置治具５は、図３、図４に示すように、主として、第１支持フレーム５１と、第２支持フレーム５２と、ハンドル５３とを備えている。

【００２７】

第１支持フレーム５１は、図５に示すように、第１送受信探触子２および第２送受信探触子３を並列に、配管Ｐ１に押し付けた状態で支持するものである。第１支持フレーム５１は、図３、図４に示すように、第１送受信探触子２および第２送受信探触子３（図４参照）を収容可能な箱形に形成されている。図５に示すように、この第１支持フレーム５１に収容された第１送受信探触子２および第２送受信探触子３は、底面部が配管Ｐ１に押圧されて密着する。第１支持フレーム５１は、図３、図４に示すように、対向する側板５１１同士を連結する連結アーム５１２を有している。具体的には、図５に示すように、略扇形の薄板で構成された対向する側板５１１の端部同士が、４本の連結アーム５１２で連結されている。この側板５１１の一辺（図中において底辺）は、配管Ｐ１の外周面に沿って湾曲している。

【００２８】

下側の連結アーム５１２の下方（配管Ｐ１側）には、磁石５１３（図３、図５参照）が配設されており、磁石５１３が配管Ｐ１に密着することにより、第１支持フレーム５１は配管Ｐ１に押し付けられた状態で密着する。これにより、第１支持フレーム５１に収容さ

れた第１送受信探触子２および第２送受信探触子３も、配管Ｐ１に押し付けられた状態で密着する。

【００２９】

第２支持フレーム５２は、図３、図４に示すように、受信探触子４を、第１送受信探触子２および第２送受信探触子３から送信されたＳＨガイド波Ｗ１の伝播方向に、配管Ｐ１に押し付けた状態で支持するものである。第２支持フレーム５２は、受信探触子４を収容可能な箱形に形成されている。第２支持フレーム５２に収容された受信探触子４は、底面部が配管Ｐ１に押圧されて密着する。また、図４に示すように、第２支持フレーム５２に収容された受信探触子４は、アーム５２Ａによって、第１送受信探触子２および第２送受信探触子３の中心線上に位置して支持される。アーム５２Ａは、図３に示すように、第２支持フレーム５２を、第１支持フレーム５１に対して摺動自在に配設している。

【００３０】

より詳しくは、アーム５２Ａは、ピン５２ａによって第１支持フレーム５１に対して摺動自在である。このため、アーム５２Ａを摺動して第２支持フレーム５２を持ち上げると、第２支持フレーム５２に収容された受信探触子４が配管Ｐ１から離接する。また、ピン５２ｂによってアーム５２Ａに対して第２支持フレーム５２が摺動自在である。このため、第２支持フレーム５２に収容された受信探触子４は配管Ｐ１に対する傾きが調節自在である。

【００３１】

このように、第２支持フレーム５２はアーム５２Ａを介して第１支持フレーム５１に配設されており、配管Ｐ１からの反射波Ｗ２を受信した第１支持フレーム５１に支持された第１送受信探触子２および第２送受信探触子３と、参照波Ｗ３を受信した第２支持フレーム５２に支持された受信探触子４との間隔は所定距離となる。

【００３２】

第２支持フレーム５２の下側には、磁石５２１（図３参照）が配設されており、第２支持フレーム５２は配管Ｐ１に押し付けられた状態で密着する。これにより、第２支持フレーム５２に収容された受信探触子４も、配管Ｐ１に押し付けられた状態で密着する。

【００３３】

ハンドル５３は、第１支持フレーム５１に配設されており、探触子設置治具５の運搬時や検査時の取り回しを容易にするものである。

【００３４】

このような構成の探触子設置治具５を配管Ｐ１に取り付ける際には、側板５１１がＳＨガイド波Ｗ１の伝播方向と正対した状態で取り付けられると、第１支持フレーム５１に収容された第１送受信探触子２および第２送受信探触子３は、ＳＨガイド波Ｗ１の伝播方向に並列に配設される。

【００３５】

送受信装置６は、予め設定されたパラメータに基づいてチャープ波やバースト波を発生させるために、第１送受信探触子２および第２送受信探触子３の各振動子に、高周波のパルス電圧を加えることにより振動を生じさせてＳＨガイド波Ｗ１を発生させる制御をする。また、送受信装置６は、第１送受信探触子２および第２送受信探触子３、受信探触子４の各振動子の振動により生じた振動を電気信号に変えて受信する制御をする。送受信装置６と、第１送受信探触子２および第２送受信探触子３とは、信号線でそれぞれ接続される。

【００３６】

ＰＣ８は、反射波Ｗ２や参照波Ｗ３を保存したり、評価したりするための端末装置である。ＰＣ８は、図１に示すように、送受信装置６と、通信線でそれぞれ接続されており、相互に通信可能である。ＰＣ８は、図２に示すように、主として、記憶部８１と、相関処理部８２と、評価処理部８３と、画像生成処理部８４と、表示部８５と、これらを制御などする制御部８０とを備えている。

【００３７】

記憶部８１は、送受信装置６から伝送された反射波Ｗ２の波形情報や、参照波Ｗ３の波形情報を記憶したり、相関処理部８２や、評価処理部８３、画像生成処理部８４のプログラムやタスクを記憶したり、情報処理に必要なデータを記憶したりする。また、記憶部８１は、反射波Ｗ２や参照波Ｗ３、相関波Ｗ４（図６参照）の波形情報とともに、計測時における第１送受信探触子２や、第２送受信探触子３、受信探触子４の配管Ｐ１の周方向位置を含む計測条件情報を記憶する。さらに、記憶部８１は、配管Ｐの管径、板厚、長さ、埋設条件を含む配管情報を記憶する。

【００３８】

相関処理部８２は、信号識別性を向上させる機能を有する。より詳しくは、相関処理部８２は、図６、図１２に示すように、受信探触子４が受信した参照波Ｗ３の波形情報と、第１送受信探触子２および第２送受信探触子３が受信した反射波Ｗ２の波形情報とに基づいて相関処理を行い、相関波Ｗ４の波形情報を算出する機能を有するプログラム、タスクである。この相関処理部８２は、例えば、後述する図７に示すフローチャートにおけるステップＳ１の計測処理が終了したタイミングや、ユーザが指定した任意のタイミングで起動するように制御部８０が制御する。ここで、計測処理が終了したか否かは、第１送受信探触子２および第２送受信探触子３による反射波Ｗ２の計測と、受信探触子４による参照波Ｗ３の計測が配管Ｐ１の全周に亘って終了したか否かによって判定する。

【００３９】

この相関処理部８２における相関処理は、反射波Ｗ２の中で参照波Ｗ３と周波数成分などが類似した信号を高い値として出力する。具体的には、参照波Ｗ３の波形情報をｈ（ｔ）とし、反射波Ｗ２の波形情報をｘ（ｔ＋τ）とすると、相関波Ｗ４の波形情報ｚ（τ）は次式で算出される。

$$z(\tau) = \int h(t)\, x(t+\tau)\, dt$$

このように相関処理部８２によって算出された相関波Ｗ４の波形情報は、記憶部８１に記憶する。また、相関処理部８２によって算出された相関波Ｗ４の波形情報は、反射波Ｗ２に混在するノイズを除去されたものである。

【００４０】

評価処理部８３は、相関処理部８２によって算出された相関波Ｗ４の波形情報に基づいて、配管Ｐ２における（１）腐食Ｘの位置（軸方向の距離、周方向位置）を算出、（２）腐食Ｘの深さを推定して、腐食Ｘを評価する処理を行う機能を有するプログラム、タスクである。この評価処理部８３は、例えば、図６に示すように相関処理部８２における処理の終了に続いて起動するように制御部８０が制御する。

【００４１】

（１）腐食Ｘの位置の算出

腐食Ｘの配管Ｐ２の軸方向の距離は、ＳＨガイド波Ｗ１の送信時刻と反射波Ｗ２の受信時刻との差異に基づいて算出することができる。また、腐食Ｘの配管Ｐ２の周方向位置は、反射波Ｗ２を受信した第１送受信探触子２および第２送受信探触子３の配管Ｐ１の周方向位置に基づいて算出する。具体的には、第１送受信探触子２および第２送受信探触子３の中心線上に腐食Ｘが位置する際に、ＳＨガイド波Ｗ１の伝播経路が最短となり、算出する軸方向の距離も最短となる。第１送受信探触子２および第２送受信探触子３の中心線から腐食Ｘが遠くなるほど、ＳＨガイド波Ｗ１の伝播経路が長くなり、算出する軸方向の距離も長くなる。このため、反射波Ｗ２を受信した第１送受信探触子２および第２送受信探触子３の配管Ｐ１の周方向位置が異なる複数のデータを比較することにより、腐食Ｘの配管Ｐ２の周方向位置を算出することができる。すなわち、反射波Ｗ２を受信した第１送受信探触子２および第２送受信探触子３の配管Ｐ１の周方向位置に応じた反射波Ｗ２の推移を比較することにより、腐食Ｘの配管Ｐ２の周方向位置を得ることができる。このようにして、腐食Ｘの位置（軸方向の距離、周方向位置）を算出する。

【００４２】

（２）腐食Ｘの深さの推定

腐食Ｘの深さは、反射波Ｗ２の信号強度に基づいて推定することができる。具体的には

、腐食Ｘの深さを推定するしきい値となる評価基準データを管径、板厚ごとに予め記憶しておき、この評価基準データと、受信した反射波Ｗ２の信号強度とを比較することにより、腐食Ｘの深さを推定する。評価基準データは、管径、板厚が異なる試験用配管を用意し、実際の腐食Ｘの形状に近い形状で、深さの異なる人工腐食を形成する。そして、試験用配管上で計測位置を変化させて人工腐食による反射波Ｗ２の波形情報を距離に応じた信号値の推移情報として記憶する。このように、予め記憶した評価基準データの中から、配管Ｐ２に対応し、受信した反射波Ｗ２や計測位置などが対応するデータを取得して、腐食Ｘの深さを推定する。

【００４３】

画像生成処理部８４は、評価処理部８３で算出した腐食Ｘの位置や深さを画像として生成する処理を行う機能を有するプログラム、タスクである。この画像生成処理部８４は、例えば、図６に示すように評価処理部８３における処理の終了に続いて起動するように制御部８０が制御する。この実施形態では、図１０、図１１に示す画像を表示部８５に出力するためのデータを生成する。図１０は、縦軸を周方向位置、横軸を軸方向位置として、それぞれの位置における相関波Ｗ４の波形情報の信号強度をコントラストで表示したものである。ここでは、図中において矢印で示した位置に腐食Ｘが確認できる。図１０からは、周方向位置がゼロに近いほど、軸方向の距離を小さく算出し、周方向位置の絶対値が大きくなるにつれて軸方向の距離を大きく算出する傾向を確認することができる。

【００４４】

図１１は、縦軸を信号値、横軸を軸方向位置として、軸方向位置における相関波Ｗ４の波形情報の信号強度を表示したものであり、評価基準データのしきい値が曲線で示されている。これにより、図１１に示された信号値が２段階のしきい値に対してどの高さに相当するかによって腐食Ｘの深さを推定することができる。ここでは、図中において矢印で示した位置に腐食Ｘが確認できる。この腐食Ｘは、高い方のしきい値を超えており、所定値以上の深さであると推定できる。

【００４５】

表示部８５は、画像生成処理部８４で生成した画像を表示する液晶ディスプレイなどの表示装置である。

【００４６】

制御部８０は、相関処理部８２や、評価処理部８３、画像生成処理部８４を図６に示す順序で起動するように制御する。

【００４７】

この実施形態に係る超音波検査装置１および探触子設置治具５は、以上のごとき構成からなり、以下、これらを使用した超音波検査方法とその作用について説明する。この実施形態では、図１に示すように、配管Ｐが、橋梁Ｂの橋桁Ｂ１下方に架設され（配管Ｐ１）、橋台Ｂ２を貫通（配管Ｐ２）している場合に、検査対象としての配管Ｐの腐食Ｘを検査する場合について説明する。この実施形態では、図７に示すように、まず、超音波検査装置１および探触子設置治具５を用いて、ＳＨガイド波Ｗ１を送信して、反射波Ｗ２および参照波Ｗ３を計測して（ステップＳ１）、その後、記憶した反射波Ｗ２および参照波Ｗ３に基づいて評価を行う（ステップＳ２）。

【００４８】

まず、作業者によって、配管Ｐ１の配管Ｐ２側の外周面に、超音波検査装置１の設置位置が罫書きされる。この罫書き線は、超音波検査装置１を各罫書き線上に配設して計測することを繰り返すと配管Ｐ１の全周に亘って計測できるように、配管Ｐ１の外周面を周方向に等分割するものである。

【００４９】

つぎに、図７に示すステップＳ１、すなわち、図８の超音波検査方法の計測処理手順を示すフロー図に沿って、ＳＨガイド波Ｗ１を送信して、反射波Ｗ２および参照波Ｗ３を計測する処理について説明する。まず、作業者によって、配管Ｐ１の罫書き線上に、超音波検査装置１が設置される（ステップＳ１１）。このとき、第１支持フレーム５１の側板５

１１が配管Ｐ１の周方向に沿った状態、すなわち、側板５１１がＳＨガイド波Ｗ１の伝播方向と正対した状態で配設される。また、第１支持フレーム５１によって支持された第１送受信探触子２および第２送受信探触子３は、磁石５１３や磁石５２１によって配管Ｐ１に押し付けられて密着している。さらに、第２支持フレーム５２は第１支持フレーム５１に対して摺動されて持ち上げられた状態となっており、第２支持フレーム５２に収容された受信探触子４は配管Ｐ１から離接されている。

【００５０】

そして、超音波検査装置１の第１送受信探触子２および第２送受信探触子３によってＳＨガイド波Ｗ１が送信されて（ステップＳ１２）、第１送受信探触子２および第２送受信探触子３によって反射波Ｗ２が受信される（ステップＳ１３）。第１送受信探触子２および第２送受信探触子３によって受信された反射波Ｗ２の波形情報は、送受信装置６によってデジタル化されて、第１送受信探触子２および第２送受信探触子３の配管Ｐ１の周方向位置を含む計測情報として、ＰＣ８の制御部８０によって記憶部８１に記憶される。

【００５１】

そして、作業者によって、第２支持フレーム５２が摺動されて受信探触子４が配管Ｐ１に密着するまで降下される（ステップＳ１４）。そして、超音波検査装置１の受信探触子４によって参照波Ｗ３が受信される（ステップＳ１５）。受信探触子４によって受信された参照波Ｗ３の波形情報は、送受信装置６によってデジタル化されて、受信探触子４の配管Ｐ１の周方向位置とともに、ＰＣ８の制御部８０によって記憶部８１に記憶される。

【００５２】

そして、作業者によって、配管Ｐ１の罫書き線上のすべての位置での計測が終了したか否かが確認されて（ステップＳ１６）、終了していない場合（「Ｎｏ」の場合）は、作業者によって、探触子設置治具５のハンドル５３が把持されて、探触子設置治具５が配管Ｐ１から取り外されて、隣の罫書き線上に移動される（ステップＳ１７）。そして、ステップＳ１１からＳ１６の処理が繰り返されて、反射波Ｗ２の計測情報と参照波Ｗ３の波形情報とがＰＣ８の制御部８０によって記憶部８１に記憶される。このような処理が、配管Ｐ１の罫書き線上のすべての位置での計測が終了するまで（ステップＳ１６において「Ｙｅｓ」と判定されるまで）繰り返される。

【００５３】

このようにして、探触子設置治具５が配管Ｐ１の周方向に移動して反射波Ｗ２および参照波Ｗ３を計測する処理が繰り返されると、配管Ｐ２の全周に亘って超音波検査装置１によって反射波Ｗ２と参照波Ｗ３が計測されて、反射波Ｗ２の計測情報と参照波Ｗ３の波形情報とがＰＣ８の制御部８０によって記憶部８１に記憶される。

【００５４】

つづいて、図７に示すステップＳ２、すなわち、図９の超音波検査方法の評価処理手順を示すフロー図に沿って、記憶した反射波Ｗ２の計測情報および参照波Ｗ３の波形情報に基づいて評価を行う処理について説明する。まず、超音波検査装置１の相関処理部８２によって、ＰＣ８の記憶部８１に記憶された反射波Ｗ２の計測情報と参照波Ｗ３の波形情報とに基づいて、反射波Ｗ２の中で参照波Ｗ３と類似した信号が高い値として出力されて、相関波Ｗ４の波形情報が出力される（ステップＳ２１）。そして、評価処理部８３によって、相関処理部８２で出力された相関波Ｗ４の波形情報に基づいて、その信号強度から、腐食Ｘの位置と腐食Ｘの深さが算出される（ステップＳ２２）。そして、画像生成処理部８４によって、評価処理部８３で算出した腐食Ｘの位置や深さに基づいて、画像が生成されて（ステップＳ２３）、表示部８５に図１０や図１１に示す画像として出力される（ステップＳ２４）。

【００５５】

そして、作業者によって、ＰＣ８の表示部８５に表示された図１０や図１１の画像が確認されて、配管Ｐ２の全周に亘って腐食Ｘの有無やその位置、深さが確認される。

【００５６】

以上の超音波検査方法によって、超音波検査装置１および探触子設置治具５を用いて、

配管Ｐ２に向けてＳＨガイド波Ｗ１を送信して、受信探触子４が受信した参照波Ｗ３と、第１送受信探触子２および第２送受信探触子３が受信した反射波Ｗ２とに基づいて相関処理部８２によって相関処理を行う。これにより、実際に配管Ｐ２を伝播して受信探触子４が受信した参照波Ｗ３に基づいて相関処理するため、相関処理における整合性の精度が改善されて信号識別性が向上し、検査精度をより向上することができる。

【００５７】

また、超音波検査装置１は、第１送受信探触子２および第２送受信探触子３は、ＳＨガイド波Ｗ１の伝播方向に並列に配設されている。このため、上述した見かけの送受信探触子においては、２つのＳＨガイド波Ｗ１が合成されるので、第１送受信探触子２と第２送受信探触子３のそれぞれから出力されるＳＨガイド波Ｗ１や反射波Ｗ２に比べて出力レベルを増大することができる。また、見かけの送受信探触子は、第１送受信探触子２と第２送受信探触子３のそれぞれに比べて指向性を向上することができる。これにより、超音波検査装置１は、ＳＨガイド波Ｗ１や反射波Ｗ２に比べて出力レベルが増大し、指向性が向上するので、検査精度をより向上することができる。

【００５８】

ここで、以上の超音波検査装置１および探触子設置治具５を用いた超音波検査方法（以下、「この実施形態に係る超音波検査方法」）と従来の超音波検査装置１０を用いた超音波検査方法（以下、「従来の超音波検査方法」という。）との効果を対比するために、図１３に示す、同一の試験体Ｑを用いて同一の条件で、超音波検査装置１および探触子設置治具５を用いた超音波検査を行った。具体的に、試験体Ｑは、ＳＧＰ（配管用炭素鋼管）の２００Ａを使用する。試験体Ｑには、外周面に模擬腐食Ｘ１を形成する。模擬腐食Ｘ１は、直径５ｍｍ、試験体Ｑの板厚（５．８ｍｍ）の３分の１の深さ（１．９ｍｍ）のすり鉢状の溝を、試験体Ｑの軸方向に２つ、周方向に２つを隣接して４つ形成したものである。超音波検査装置１の第１送受信探触子２および第２送受信探触子３または従来の超音波検査装置１０の送受信探触子は、模擬腐食Ｘ１から軸方向に１０００ｍｍ離間して配設する。なお、従来の超音波検査装置１０は、第１送受信探触子２や第２送受信探触子３と同等の構成を有する１つの送受信探触子を用いて反射波を測定するものである。従来の超音波検査装置１０は、超音波検査装置１の受信探触子４、探触子設置治具５、ＰＣ８を備えていない。

【００５９】

図１４は、従来の超音波検査方法における信号識別性を説明する図であり、図１５は、この実施形態に係る超音波検査方法における信号識別性を説明する図である。図１５は、模擬腐食Ｘ１を示す信号値のノイズレベルに対する比率が約１０となり、ノイズレベルとの差異が明確である。これに対して、図１４は、模擬腐食Ｘ１を示す信号値のノイズレベルに対する比率が約２となり、ノイズレベルとの差異が小さい。これらにより、従来の超音波検査方法に比べて、この実施形態に係る超音波検査方法は、模擬腐食Ｘ１の信号識別性が向上したことが確認できる。これは、この実施形態に係る超音波検査方法においては、第１送受信探触子２および第２送受信探触子３が並列に配設されているので、上述した見かけの送受信探触子における反射波Ｗ２の出力レベルが増大して信号値が大きくなったためである。また、この実施形態に係る超音波検査方法においては、相関処理部８２における相関処理によって、反射波Ｗ２のノイズレベルが低減された相関波Ｗ４が得られたためである。

【００６０】

図１６は、この実施形態に係る超音波検査方法における指向性と従来の超音波検査方法における指向性とを説明する図である。これは、試験体Ｑを用いて、超音波検査装置１の第１送受信探触子２および第２送受信探触子３または従来の超音波検査装置１０の送受信探触子を模擬腐食Ｘ１と正対した位置（周位置（周方向の位置）０ｍｍ）から試験体Ｑの周方向に約５０ｍｍずつずらして計測を行った際の模擬腐食Ｘ１を示す信号値の推移を示したものである。この実施形態に係る超音波検査方法によれば、第１送受信探触子２および第２送受信探触子３を模擬腐食Ｘ１と正対した位置から離すほど（周位置の絶対値が大

きくなるほど）模擬腐食Ｘ１を示す信号値が低下している。より詳しくは、模擬腐食Ｘ１を示す信号値は、周位置０ｍｍのとき約７２ｍＶで最大値となり、周位置－１５０ｍｍのとき約１９ｍＶ（なお、周位置１５０ｍｍのときは約２１ｍＶ）で最小値となる。これに対して、従来の超音波検査方法によれば、模擬腐食Ｘ１を示す信号値は、周位置０ｍｍのとき約２４ｍＶで最大値となり、周位置１５０ｍｍのとき約１１ｍＶ（なお、周位置－１５０ｍｍのときは約１４ｍＶ）で最小値となり、最大値と最小値の差異が小さい。これにより、従来の超音波検査方法に比べて、この実施形態に係る超音波検査方法は、周位置による信号値の差が明確になり、指向性が向上したことが確認できる。これは、この実施形態に係る超音波検査方法においては、上述した見かけの送受信探触子が第１送受信探触子２と第２送受信探触子３のそれぞれに比べて指向性が向上するためである。

【００６１】

また、探触子設置治具５によって、第１送受信探触子２および第２送受信探触子３と、受信探触子４とは配管Ｐ１に着脱自在に設置され、配管Ｐ２からの反射波Ｗ２を受信した第１送受信探触子２および第２送受信探触子３と、ＳＨガイド波Ｗ１を参照波Ｗ３として受信した第２支持フレーム５２に支持された受信探触子４との間隔は所定距離とされる。このため、超音波検査方法において、第１送受信探触子２および第２送受信探触子３と、受信探触子４とを配管Ｐ１に容易に着脱できる。このため、検査に要する手間と時間とを削減することができる。

【００６２】

［第２実施形態］

第２実施形態に係る超音波検査方法は、超音波検査装置１および探触子設置治具５を用いて、予め試験用配管によって参照波Ｗ３を測定しておく点で第１実施形態とは異なる。その他、上述した実施形態と共通する構成、作用、効果については、重複した説明はできるだけ省略し、また、概略構成については、適宜図１等を参照する。上述した実施形態と共通、対応する構成には、同一または対応する符号を付すものとする。

【００６３】

まず、検査対象の配管Ｐと同一材料で、同等の管径、板厚、長さで、配管Ｐと同様の環境に設置した試験用配管を用意する。作業者は、試験用配管に、配管Ｐと同様に罫書きする。そして、試験用配管に、第１送受信探触子２および第２送受信探触子３と、受信探触子４とを探触子設置治具５を介して設置する。そして、作業者は、探触子設置治具５を試験用配管の周方向に移動して、超音波検査装置１によって、参照波Ｗ３のみを計測する処理を繰り返して、試験用配管の全周に亘って参照波Ｗ３を計測して、参照波Ｗ３の波形情報をＰＣ８の制御部８０によって記憶部８１に記憶する。また、温度、湿度を変えて異なる計測条件における参照波Ｗ３を計測して事前計測データとして記憶する。

【００６４】

そして、計測を行う現地では、作業者は、探触子設置治具５を配管Ｐ１の周方向に移動して、超音波検査装置１によって、反射波Ｗ２のみを計測する処理を繰り返して、配管Ｐ２の全周に亘って反射波Ｗ２を計測して、反射波Ｗ２の計測情報をＰＣ８の制御部８０によって記憶部８１に記憶する。

【００６５】

そして、記憶部８１から、現地作業時の温度、湿度などの計測条件に対応する参照波Ｗ３の事前計測データを取得して、記憶した反射波Ｗ２および取得した参照波Ｗ３の事前計測データに基づいて評価を行う（図７に示すステップＳ２）。

【００６６】

以上で説明した超音波検査方法は、試験用配管を用いて、予め参照波Ｗ３を計測して事前計測データとして記憶しておくため、現地作業時は反射波Ｗ２のみを計測すればよい。このため、配管Ｐにおける現地作業を削減することができる。

【００６７】

なお、上述した本発明の実施形態に係る超音波検査方法および探触子設置治具５は、上述した実施形態に限定されず、特許請求の範囲に記載された範囲で種々の変更が可能であ

る。この実施形態に係る超音波検査方法および探触子設置治具５は、以上で説明した各実施形態、変形例の構成要素を適宜組み合わせることで構成してもよい。

【００６８】

例えば、ＰＣ８は、既知のパーソナルコンピュータ、ワークステーション等の情報処理装置として構成すればよく、また、該情報処理装置に任意の周辺装置を接続して構成してもよい。また、ＰＣ８は、該情報処理装置に本発明の方法を実現させるソフトウェア（プログラム、データ等を含む）を実装することにより実現してもよい。

【００６９】

また、ＰＣ８と送受信装置６とは、通信線で接続されているものとしたが、無線通信で相互に通信可能であってもよい。

【００７０】

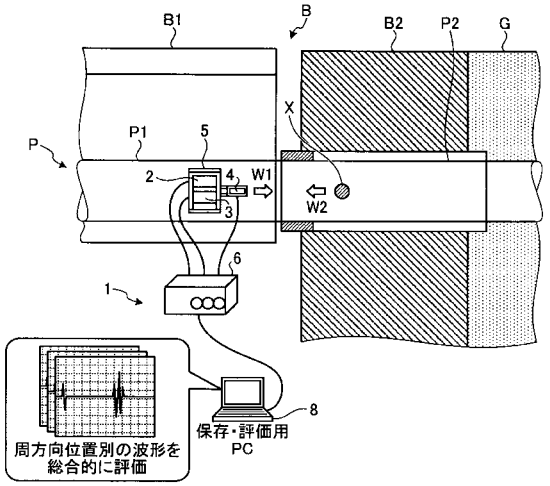
さらに、探触子設置治具５を配管Ｐの周方向に沿ってスライド自在にするレールなどのスライド機構を設けてもよい。

【符号の説明】

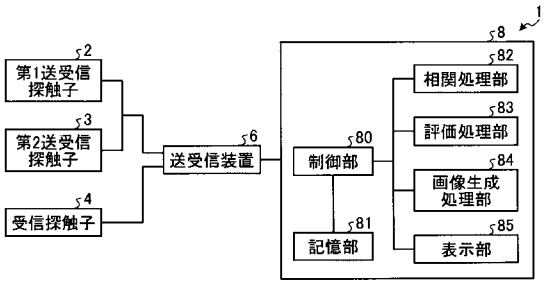
【００７１】

１　超音波検査装置
２　第１送受信探触子（計測用送受信探触子）
３　第２送受信探触子（計測用送受信探触子）
４　受信探触子
５　探触子設置治具
５１　第１支持フレーム
５２　第２支持フレーム
５３　ハンドル
６　送受信装置
８　ＰＣ
８１　記憶部
８２　相関処理部
８３　評価処理部
８４　画像生成処理部
８５　表示部
Ｗ１　ＳＨガイド波
Ｗ２　反射波
Ｗ３　参照波
Ｗ４　相関波
Ｂ　橋梁
Ｂ１　橋桁
Ｂ２　橋台
Ｐ　配管（検査対象）
Ｐ１　配管
Ｐ２　配管
Ｘ　腐食

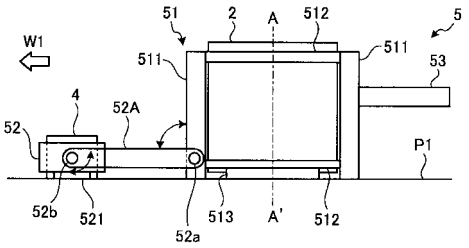
【図１】



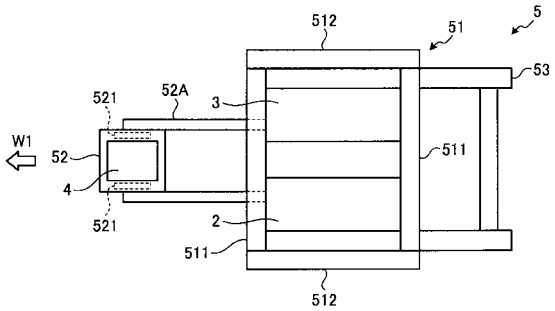
【図２】



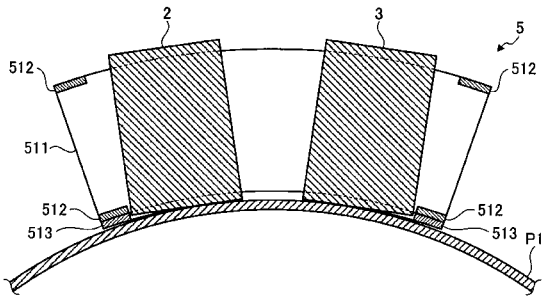
【図３】



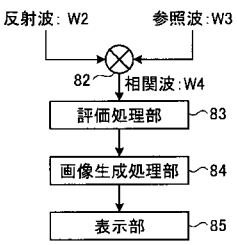
【図４】



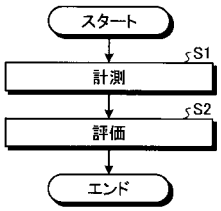
【図５】



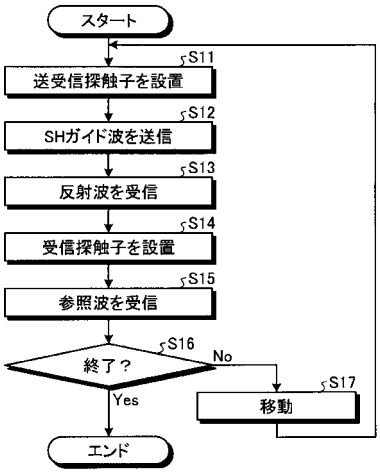
【図６】



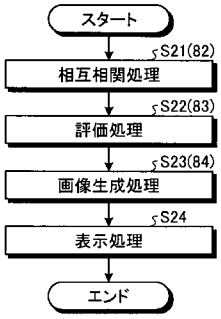
【図７】



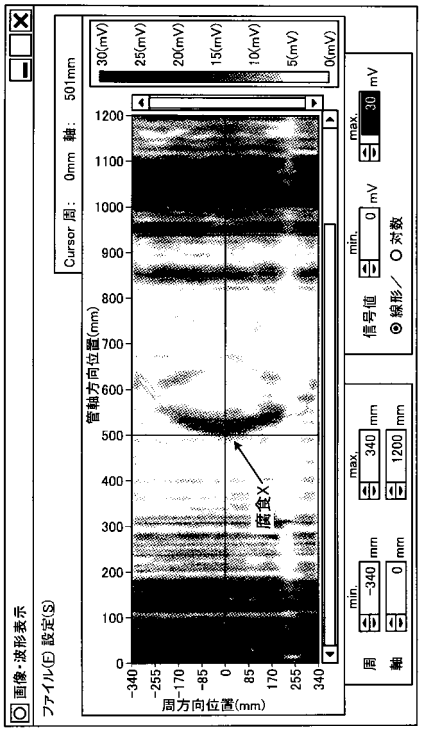
【図８】



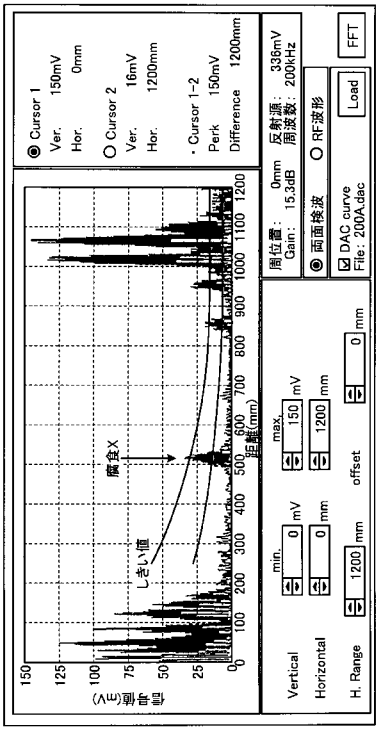
【図９】



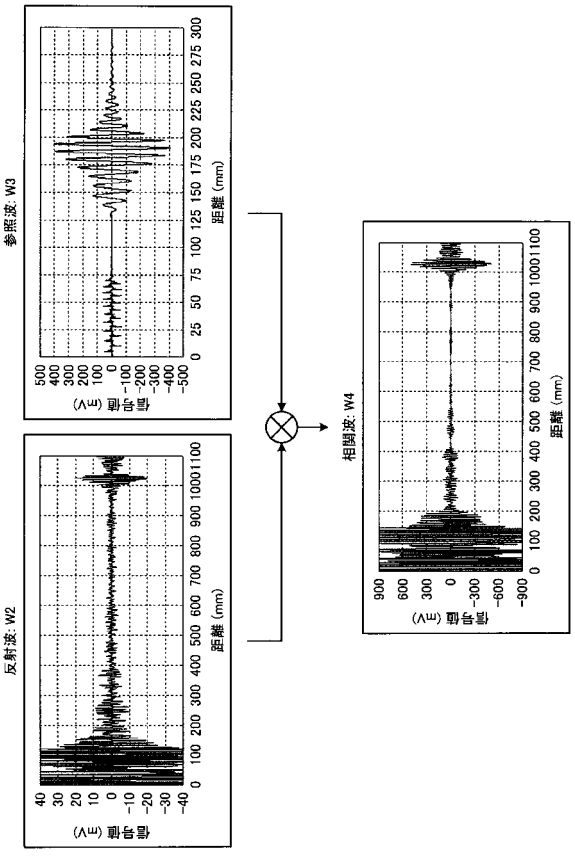
【図１０】



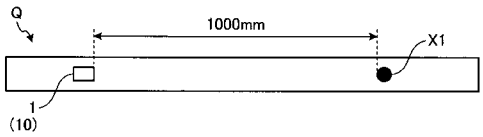
【図１１】



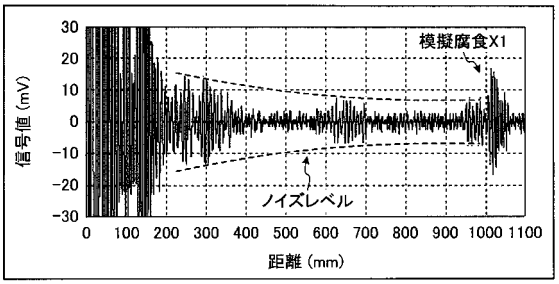
【図１２】



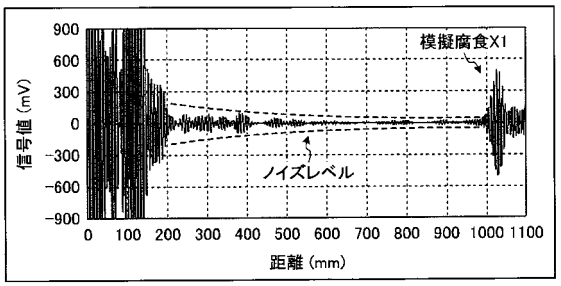
【図１３】



【図１４】



【図１５】



【図１６】

