

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

超音波を構造物内に伝播させ、内部欠陥からの回折波と反射波を含む受信波形を受信して欠陥を検査する超音波検査方法であって、

前記受信波形の中から連続ウェーブレット変換を用いて特定周波数成分の情報を抽出して検査に用いることを特徴とする超音波検査方法。

【請求項 2】

前記受信波形を高速フーリエ変換し受信波形 F F T を得る受信波形 F F T ステップと、マザーウェーブレットを高速フーリエ変換しウェーブレット F F T を得るウェーブレット F F T ステップと、

前記受信波形 F F T とウェーブレット F F T を掛け算して積算 F F T を得る F F T 積算ステップと、

前記積算 F F T を逆高速フーリエ変換してウェーブレット係数を求める係数解析ステップと、を有する、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】

マザーウェーブレットのスケーリング係数 a を変化させながら所定周波数範囲のウェーブレット係数を求めてウェーブレット係数の等高線図を表示する等高線表示ステップを有し、

該等高線図から検査に用いる最適な周波数（スケーリング係数 a）を決定する、ことを特徴とする請求項 2 に記載の超音波検査方法。

【請求項 4】

構造物内に存在する内部欠陥に対して構造物表面から超音波パルスを送信する超音波送信ステップと、

前記内部欠陥で超音波パルスが回折された前記受信波形を構造物表面で受信する超音波受信ステップと、を有する、ことを特徴とする請求項 2 又は 3 に記載の超音波検査方法。

【請求項 5】

構造物から受信した受信波形から構造物内に存在する内部欠陥を検査する超音波検査装置であって、

所定の周波数について、

前記受信波形を高速フーリエ変換し受信波形 F F T を得る受信波形 F F T 装置と、マザーウェーブレットを高速フーリエ変換しウェーブレット F F T を得るウェーブレット F F T 装置と、

前記受信波形 F F T とウェーブレット F F T を掛け算して積算 F F T を得る F F T 積算装置と、

前記積算 F F T を高速逆フーリエ変換してウェーブレット係数を求める係数解析装置と、を備える、ことを特徴とする超音波検査装置。

【請求項 6】

マザーウェーブレットのスケーリング係数 a を変化させながら所定周波数範囲のウェーブレット係数を求めてウェーブレット係数の等高線図を表示する等高線表示装置を有し、

該等高線図から検査に用いる最適な周波数（スケーリング係数 a）を決定する、ことを特徴とする請求項 5 に記載の超音波検査装置。

【請求項 7】

構造物内に存在する内部欠陥に対して構造物表面から超音波パルスを送信する超音波送信装置と、

前記内部欠陥で超音波パルスが回折された前記受信波形を構造物表面で受信する超音波受信装置と、を有する、ことを特徴とする請求項 5 又は 6 に記載の超音波検査装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、構造物内に存在する内部欠陥を検査する超音波検査方法と装置に関する。

10

20

30

40

50

【背景技術】

【0002】

原子力圧力容器や配管等の構造物の健全性評価は、(1)非破壊検査による材料内の欠陥検出、(2)非破壊検査による欠陥サイズの測定(サイジング)、(3)破壊力学による構造健全性評価、の順に通常行われる。このうち、欠陥サイズの測定手段として、TOFD法(Time Of Flight Diffraction Technique)が知られている。

【0003】

TOFD法は、回折波を利用する検査法であり、送信探触子と受信探触子を向かい合わせて欠陥(例えばきず)を中心位置に配置し、送信子から縦波を励起し、探傷面に沿って伝播するラテラル波、欠陥からの回折波および底面エコーを検出し、その到着時間差と音速の情報から欠陥の深さ(高さ)と大きさ(長さ)を測定する手段である。TOFD法は、例えば特許文献1に開示されている。 10

【0004】

TOFD法は、欠陥の深さ(高さ)と大きさ(長さ)を正確に測定できる特徴があるが、微弱な回折波を受信する必要があるため減衰の大きい材料や厚い材料には一般的には適用できない問題点がある。

例えば、ステンレス鋼配管を対象としてTOFD法を適用する場合には、肉厚10mm程度以下の配管に制限され、肉厚が40mm以上に達する構造物、例えば原子力発電設備の圧力容器や再循環系配管等では、結晶粒界などで散乱する散乱ノイズの影響でS/N比が低くなりすぎ、正確な測定ができなかった。 20

【0005】

そこで、この問題を解決するために、ウェーブレット変換を用いた手段が既に提案されている(例えば特許文献2、3)。

【0006】

特許文献2の「超音波信号処理装置」は、入力した超音波検査信号に対して多次元空間における方向成分を計量化するために、図11に示すように、方向多次元型基底61を用いてウェーブレット変換を行なう変換手段62と、この変換手段により生成したウェーブレット変換係数から特徴抽出を行ない、特徴点を計算する特徴抽出手段63と、この特徴抽出手段により生成した特徴点を用い、等位相面の分布の違いを基にエコーの識別を行なう識別手段66と、を具備したものである。 30

【0007】

特許文献3の「超音波エコー信号処理装置」は、被検査対象物から得られる超音波エコー信号に応じて前記被検査対象物の不良箇所を検査する際に用いられる超音波エコー信号処理装置であって、図12に示すように、前記超音波エコー信号を回転型ウェーブレット変換して変換係数を生成する波形変換部72と、等位相面の方向に応じて前記変換係数から前記不具合箇所に対応するエコーに係る変換係数を有意成分として選択する有意成分選択部73と、前記有意成分を予め規定された重み係数に基づいて合成してフィルタリング信号として出力する係数合成部74とを有するものである。

【0008】

【特許文献1】特開2002-162390号公報、「超音波検査装置および方法」

【特許文献2】特開2001-165912号公報、「超音波信号処理装置」

【特許文献3】特開2003-66017号公報、「超音波エコー信号処理装置」

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

ウェーブレット変換とは、受信波形にマザーウェーブレットをコンボリューションするものである。この変換には、「離散ウェーブレット変換」と「連続ウェーブレット変換」がある。

「離散ウェーブレット変換」は、マザーウェーブレットの係数a、bを離散的にとった 50

ものであり、処理時間は短いが、分解能が低下する欠点がある。そのため、高精度の時間計測を必要とする超音波検査には適用ができなかった。

【0010】

これに対して、「連続ウェーブレット変換」は、係数 a 、 b を連続的にとったものであり、信号の特定周波数成分を抽出するのに適している。

しかし、連続ウェーブレット変換を計算するには、まず、スケーリング係数 a を決定し、 b を連続的に変えながら、それぞれの b について、受信波形とマザーウェーブレットのコンボリューションを行って行く必要があり、計算量が膨大となる。そのため、高精度で時間計測ができるが、処理時間が長く、リアルタイムでの計測ができない問題点があった。

10

【0011】

しかし、原子力圧力容器や配管等の構造物を検査する現場で、超音波検査を適用するには、ほぼリアルタイムで連続ウェーブレット変換を行ない、ほぼリアルタイムで構造物内に存在する内部欠陥を検査できることが要望されていた。

【0012】

本発明は、かかる要望を解決するために創案されたものである。すなわち、本発明の目的は、肉厚が厚く、ノイズ等の影響で S/N 比が低い場合でも、ほぼリアルタイムで構造物内に存在する内部欠陥を検査することができる超音波検査方法と装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

20

【0013】

本発明によれば、超音波を構造物内に伝播させ、内部欠陥からの回折波と反射波を含む受信波形を受信して欠陥を検査する超音波検査方法であって、

前記受信波形の中から連続ウェーブレット変換を用いて特定周波数成分の情報を抽出して検査に用いることを特徴とする超音波検査方法が提供される。

【0014】

本発明の好ましい実施形態によれば、前記受信波形を高速フーリエ変換し受信波形 FF T を得る受信波形 FF T ステップと、

マザーウェーブレットを高速フーリエ変換しウェーブレット FF T を得るウェーブレット FF T ステップと、

30

前記受信波形 FF T とウェーブレット FF T を掛け算して積算 FF T を得る FF T 積算ステップと、

前記積算 FF T を逆高速フーリエ変換してウェーブレット係数を求める係数解析ステップと、を有する。

【0015】

また、マザーウェーブレットのスケーリング係数 a を変化させながら所定周波数範囲のウェーブレット係数を求めてウェーブレット係数の等高線図を表示する等高線表示ステップを有し、該等高線図から検査に用いる最適な周波数（スケーリング係数 a ）を決定する。

【0016】

40

また、構造物内に存在する内部欠陥に対して構造物表面から超音波パルスを送信する超音波送信ステップと、前記内部欠陥で超音波パルスが回折された前記受信波形を構造物表面で受信する超音波受信ステップと、を有する。

【0017】

また本発明によれば、構造物から受信した受信波形から構造物内に存在する内部欠陥を検査する超音波検査装置であって、

所定の周波数について、

前記受信波形を高速フーリエ変換し受信波形 FF T を得る受信波形 FF T 装置と、

マザーウェーブレットを高速フーリエ変換しウェーブレット FF T を得るウェーブレット FF T 装置と、

50

前記受信波形 F F T とウェーブレット F F T を掛け算して積算 F F T を得る F F T 積算装置と、

前記積算 F F T を高速逆フーリエ変換してウェーブレット係数を求める係数解析装置と、を備える、ことを特徴とする超音波検査装置が提供される。

【0018】

本発明の好ましい実施形態によれば、マザーウェーブレットのスケーリング係数 a を変化させながら所定周波数範囲のウェーブレット係数を求めてウェーブレット係数の等高線図を表示する等高線表示装置を有し、

該等高線図から検査に用いる最適な周波数（スケーリング係数 a ）を決定する。

【0019】

また、構造物内に存在する内部欠陥に対して構造物表面から超音波パルスを送信する超音波送信装置と、

前記内部欠陥で超音波パルスが回折された前記受信波形を構造物表面で受信する超音波受信装置と、を有する。

【発明の効果】

【0020】

上記本発明の方法と装置によれば、2回の F F T（高速フーリエ変換）、1回の掛け算、1回の I F F T（逆高速フーリエ変換）のみですべての計算が終了するので、従来の連続ウェーブレット変換と比較して格段に計算時間が短縮される。

従って、肉厚が厚く、ノイズ等の影響で S/N 比が低い場合でも、ほぼリアルタイムで構造物内に存在する内部欠陥を検査することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0021】

以下、本発明の好ましい実施形態を図面を参照して説明する。なお各図において、共通する部分には同一の符号を付し、重複した説明は省略する。

【0022】

図1は、本発明による超音波検査装置の全体構成図である。この図に示すように、本発明の超音波検査装置は、超音波送信装置12、超音波受信装置14、及び超音波解析装置16を備える。

【0023】

超音波送信装置12は、超音波発信器12aと送信探触子12bからなり、構造物1の内部に存在する内部欠陥2に対して構造物表面から超音波パルス3を送信する。

超音波受信装置14は、超音波受信器14aと受信探触子14bからなり、内部欠陥2で超音波パルスが回折された回折波3b、探傷面に沿って伝播するラテラル波3a、および底面エコー3cを含む受信波形4を構造物表面で受信する。

超音波解析装置16は、解析用コンピュータ16aと画像表示装置16bからなり、超音波送信装置12に超音波パルス3の送信を指令し、超音波受信装置14から受信波形4を受信し、ウェーブレット変換などの信号処理を施して、欠陥の検出とサイジングをする機能を有する。

【0024】

上述した超音波検査装置をT O F D法に適用する場合を以下に説明する。なお本発明は、T O F D法に限定されず、その他の手段にも適用することができる。

T O F D法に適用する場合、送信探触子12bと受信探触子14bを間隔Lを隔てて構造物1の表面に密着させて位置決めし、欠陥2（例えばきず）をその中心位置に配置する。中心位置に配置する手段は、例えば受信波形4から超音波パルス3の送信から後述する回折波3bの受信までの時間が最短になるようにする。

次いで、送信探触子12bから超音波パルス3を励起し、超音波受信装置14で受信した受信波形4から欠陥2の深さを測定する。

また、送信探触子12bと受信探触子14bを図1の奥行き方向にスキャンし、前記解析を行うことにより、欠陥2の大きさ（長さ）も測定できる。

10

20

30

40

50

【0025】

図2は、超音波受信装置14で受信した受信波形の一例を示す図である。

この図に示すように、受信波形4は、探傷面に沿って伝播するラテラル波3a、欠陥2からの回折波3b、および底面エコー3cを含んでいる。従ってこれらを検出し、その到着時間差と音速の情報から欠陥2の深さと大きさを測定することができる。

【0026】

図3は、本発明による超音波検査手段を示す模式図である。

この図において、解析用コンピュータ16aは、受信波形FFT装置21、ウェーブレットFFT装置22、FFT積算装置23、及び係数解析装置24を有する。

受信波形FFT装置21は、受信波形4をフーリエ変換し受信波形FFT5aを得る機能を有する。 10

ウェーブレットFFT装置22は、所定のスケーリング係数a（所定の周波数）のマザーウェーブレット6をフーリエ変換しウェーブレットFFT5bを得る機能を有する。もしくは、数1の式（1）にスケーリング係数aを代入したウェーブレットFFT5bを直接算出してもよい。

【0027】

【数1】

$$\hat{\psi}(a\omega) = \sqrt{\pi} \sqrt{\frac{2\gamma}{\omega_0}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\gamma}{\omega_0} \right)^2 (a\omega - \omega_0)^2 \right] \cdots (1)$$

20

ただし、 ω ：周波数、 ω_0 ：定数（例えば 2π ），

γ ：定数（例えば 5.336）， a ：スケーリング係数

【0028】

FFT積算装置23は、受信波形FFT5aとウェーブレットFFT5bを掛け算して積算FFT5cを得る機能を有する。

係数解析装置24は、積算FFT5cを逆フーリエ変換して受信波形4のウェーブレット係数8を求める機能を有する。 30

これらの装置21、22、23、24は、解析用コンピュータ16a内の記憶装置（HD、RAM、外部メモリ、等）にソフトウェアプログラムとして格納されるのが好ましい。

【0029】

画像表示装置16bは、図3において、所定範囲のスケーリング係数に対するウェーブレット変換結果7からウェーブレット係数の等高線図9を表示する機能を有する。

【0030】

次に本発明の方法を説明する。本発明の超音波検査方法は、上述した図1の装置を用い、超音波送信ステップS1と超音波受信ステップS2で、受信波形4を受信する。 40

超音波送信ステップS1では、構造物1内に存在する内部欠陥2に対して構造物表面から超音波パルス3を送信する。

超音波受信ステップS2では、内部欠陥2で超音波パルスが回折された回折波3b、探傷面に沿って伝播するラテラル波3a、および底面エコー3cを含む受信波形4を困物表面で受信する。

【0031】

本発明の超音波検査方法は、更に図3に示すように、受信波形FFTステップS4、ウェーブレットFFTステップS5、FFT積算ステップS6、及び係数解析ステップS7を有する。

ステップS3では、スケーリング係数aを所定範囲で連続的に変化させる。 50

受信波形 F F T ステップ S 4 では、受信波形 4 をフーリエ変換して受信波形 F F T 5 a を得る。

ウェーブレット F F T ステップ S 5 では、マザーウェーブレット 6 をフーリエ変換してウェーブレット F F T 5 b を得る。もしくは、スケーリング係数 a を数 1 の式 (1) に代入してウェーブレット F F T 5 b を得る。

受信波形 F F T ステップ S 4 とウェーブレット F F T 5 b は、同時でも、逆の順でもよい。

F F T 積算ステップ S 6 では、受信波形 F F T 5 a とウェーブレット F F T 5 b を掛け算して積算 F F T 5 c を得る。

係数解析ステップ S 7 では、積算 F F T 5 c を逆フーリエ変換して受信波形 4 のウェーブレット変換結果 7 を求める。 10

【0032】

更に、本発明の超音波検査方法は、等高線表示ステップ S 8、スケーリング係数の選択ステップ S 9 及びウェーブレット係数の決定ステップ 10 を有する。

等高線表示ステップ S 8 では、ステップ S 3 との連動により、所定範囲のスケーリング係数 a について、スケーリング係数 a を変化させながらウェーブレット係数 8 を求めてウェーブレット係数の等高線図 9 を表示する。

スケーリング係数の選択ステップ S 9 では、等高線図 9 から、ラテラル波 3 a、回折波 3 b、および底面エコー 3 c により強いウェーブレット係数 8 が得られるスケーリング係数 a を最適値又は適値として選択する。 20

ウェーブレット係数の決定ステップ 10 では、選択したスケーリング係数 a によるウェーブレット係数 8 を最適値又は適値として決定する。このウェーブレット係数 8 は、時間とウェーブレット係数との関係図であり、実質的に S/N 比が大幅に改善された受信波形に相当する。従ってこの図におけるラテラル波 3 a、回折波 3 b、および底面エコー 3 c の到着時間差と音速の情報から欠陥 2 の深さと大きさを測定することができる。

【0033】

図 4 は、上述した本発明の方法の模式図であり、図 5 は、従来の方法を示す模式図である。

連続ウェーブレット変換は、数 2 の (2) 式に示すように受信波形 x (t) とマザーウェーブレット ψ (t) のコンボリューションの形で表される。 30

【0034】

【数 2】

$$X(a,b)=\int_{-\infty}^{\infty}x(t)\psi_{a,b}^*(t)dt \quad \cdots (2)$$

ただし、 $x(t)$: 解析信号、 ψ : マザーウェーブレット

a : スケーリング係数

b : シフト係数 40

【0035】

図 5 の従来の方法は、ある周波数についての (あるスケーリング係数 : a についての) 時間領域でのコンボリューションの手順を示している。時間領域のコンボリューションを用いた従来の計算法では、マザーウェーブレットの位置 5 6 a を移動させながら、各位置 5 6 a でのウェーブレット係数 5 7 a を計算していく。そのため、受信波形 5 4 のポイント数の数だけコンボリューションの計算をする必要があり、受信波形全体についてのウェーブレット係数 5 8 を算出するのに時間を要する。

【0036】

これに対して、図 4 に示す本発明で用いる方法は、ある周波数についての (あるスケー 50

リング係数：a についての）周波数領域でのコンボリューションの手順を示している。周波数領域のコンボリューションを用いた計算法では、はじめに受信波形 4 とマザーウェーブレット 6 の F F T 5 a, 5 b をそれぞれ求める。次に、求めた F F T 5 a, 5 b を掛け算し、その結果 5 c を逆 F F T するとウェーブレット係数 8 が求まる。

従って、本発明の方法では、2 回の F F T、1 回の掛け算、1 回の I F F T のみですべての計算が終了するので、従来の方法と比較して格段に計算時間が短縮される。

【0037】

上述した本発明は以下の特徴を有する。

- (1) T O F D 法に連続ウェーブレットを適用したため、S / N 比が大幅に向上する。
- (2) 連続ウェーブレットを用いることで、ピーク到達時間差を一意的に定められる。 10
- (3) 周波数領域でコンボリューションをするタイプの連続ウェーブレットを使用したもので、コンピュータを用いてリアルタイム解析が実現できる。
- (4) ラテラル波と回折波の両波が共通に持っている周波数を抽出して解析に使用するので、T O F D 法に使用する周波数が容易に決定でき、ピーク到達時間差を正確に定められる。

【実施例 1】

【0038】

以下、本発明の実施例を説明する。

図 6 は、開発した本発明による画像表示装置 1 6 b 上の解析画面である。この図において、1 が受信波形（縦軸：出力，横軸：時間）、2 が受信波形を 1 M H z ～ 1 0 M H z ま 20
でウェーブレット変換して等高線図で表した画像（縦軸：周波数，横軸：時間，紙面垂直方向：ウェーブレット係数）、3 が 2 の等高線図の中から特定の周波数を抽出した信号（縦軸：ウェーブレット係数，横軸：時間）である。

【0039】

（試験片形状と探傷方法）

図 1 に示した本発明による超音波検査装置を製作し、構造物 1 に相当する試験片として厚さ 4 6 . 2 m m のオーステナイト系ステンレス鋼（S U S 3 0 4 , 4 5 . 3 m m W × 2 0 0 m m L × 4 6 . 2 m m T）を準備し、試験片中央部に幅 0 . 8 m m の貫通スリットを内部欠陥 2 として準備した。

図 1 の超音波検査装置を用い、探傷面はスリット（内部欠陥 2）の反対面とし、探触子 1 2 b, 1 4 b には中心周波数 5 M H z、振動子形状 5 × 5 m m、屈折角 6 0 ° の T O F D 用広帯域探触子（ジャパンプローブ製）1 組を用いた。 30

検出した信号（受信波形 4）は A / D コンバータ（図示せず）を介して解析用コンピュータ 1 6 a に取り込み、独自に開発したソフトウェアを用いて、リアルタイムでウェーブレット変換処理などの上述した信号処理を行い、画像表示装置 1 6 b の画面上に図 6 に示したように受信波形 4 とあわせて表示した。

なおこの試験では連続ウェーブレット変換の有効性を示すために、S / N 比を変えて 3 種類の信号を受信した。S / N 比は 1 0 2 4 回のアベレーシングの有無と、アテニュエータ（4 0 d B）の有無で擬似的に変えた。

【0040】

（探傷結果）

図 7 は、本発明の実施例による受信波形を示す図である。この図は、探傷面から欠陥先端までの高さが 3 6 . 4 m m のときの受信波形である。平均化しなかった場合（a）と 4 0 d B 減衰させた場合（c）の波形では、S / N 比が低く、欠陥先端の回折波 3 b の識別が難しいことがわかる。また、平均化した場合（b）でも、識別は難しかった。

【0041】

図 8 は、本発明によるウェーブレット係数の等高線図である。この図は、図 7 の受信波形を本発明により連続ウェーブレット変換した結果を示している。この図において、横軸は受信波形と同じ時間、縦軸はスケーリング係数 a に相当する周波数、図中の輝度は、ウェーブレット係数の強度を示している。ウェーブレット係数の強度は、この図で暗い部分 50

は低く、明るい部分は高いことを意味する。

なおマザーウェーブレット 6 にはガボール関数を用いた。ウェーブレット変換は、1 MHz から 7 MHz まで、200 kHz ステップで施した。

【0042】

図 9 は、本発明による解析周波数の決定方法の説明図である。この図において、(A) はウェーブレット係数の等高線図、(B) はあるスケーリング係数 a におけるウェーブレット係数である。

ラテラル波 3 a と回折波 3 b の周波数成分はそれぞれ異なっており、図 9 (A) のようにラテラル波 3 a は低周波数の超音波成分、回折波 3 b は高周波数の超音波成分しか含んでいない。そこで、二つの波が共通して持っている周波数 (スケーリング係数 a) を選定し、これを解析に使用する。 10

例えば図 9 (A) の例では、ラテラル波 3 a と回折波 3 b はともに 3 MHz 付近の周波数成分を持っているので、3 MHz の周波数成分を抽出することにより、ラテラル波 3 a と回折波 3 b の両方を明瞭に示すウェーブレット係数 (図 9 (B)) を求めることができる。

この図 9 (B) から、ラテラル波 3 a と回折波 3 b の到達時間情報を求め、き裂高さの算出に使用することができる。

【0043】

同様に図 8 において、40 dB 減衰させた信号 (C) のウェーブレット変換結果を見ると、欠陥先端の回折波 3 b の存在を明瞭に確認できる。なお、元の信号は振幅や S/N 比がそれぞれ異なっているが、ウェーブレット変換結果ではほとんど差異は認められない。また、ラテラル波 3 a は主に低い周波数成分を、欠陥上端での回折波 3 b は主に高い周波数成分を、底面エコー 3 c は低周波数成分から高周波数成分まで含んでいることが判った。これらの情報はそれぞれの信号を識別するのに利用できると思われる。 20

【0044】

次にラテラル波 3 a と欠陥先端の回折波 3 b の到達時間差を用いて欠陥 2 のサイジングを行った。先に述べたようにそれぞれの波の周波数帯域は異なるので、図 8 から双方が成分を持っている 3 MHz のウェーブレット係数を用いてサイジングをすることにした。

【0045】

図 10 は、本発明によるウェーブレット変換結果を示す図である。この図は、3 MHz のウェーブレット係数を示している。ラテラル波と欠陥先端の回折波のピーク到達時間差を用いてサイジングを行ったが、検査面から欠陥先端までの距離の測定値は、実測値の 36.4 mm に対して、アベレージングを行っていない受信波形 (A) では 36.5 mm、アベレージングを行ったもの (B) では 36.5 mm、更に 40 dB 減衰させたもの (C) では 36.6 mm であった。 30

どの結果も実測値と良い精度で一致していることが判った。また、ピーク到達時間差が一意的に定まるので、検査員間での測定結果のばらつきを抑えたり、計測の自動化を容易に実現したりできる可能性がある。

【0046】

上述したように、本発明により、超音波の減衰が大きく受信信号の S/N 比が悪い肉厚の材料でも、連続ウェーブレット変換を用いることで S/N 比を改善し、例えば T O F D 法によるサイジングが行えることが確認された。 40

【0047】

なお、本発明は、上述した実施形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々に変更することができることは勿論である。

【図面の簡単な説明】

【0048】

【図 1】本発明による超音波検査装置の全体構成図である。

【図 2】受信波形の一例を示す図である。

【図 3】本発明による超音波検査手段を示す模式図である。 50

【図 4】 本発明の方法の模式図である。

【図 5】 従来の方法を示す模式図である。

【図 6】 本発明による装置の解析画面を示す図である。

【図 7】 本発明の実施例による受信波形を示す図である。

【図 8】 本発明によるウェーブレット係数の等高線図である。

【図 9】 本発明による解析周波数の決定方法の説明図である。

【図 10】 本発明によるウェーブレット変換結果を示す図である。

【図 11】 特許文献 2 の「超音波信号処理装置」の模式図である。

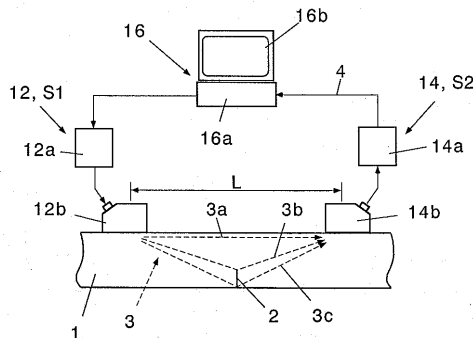
【図 12】 特許文献 3 の「超音波エコー信号処理装置」の模式図である。

【符号の説明】

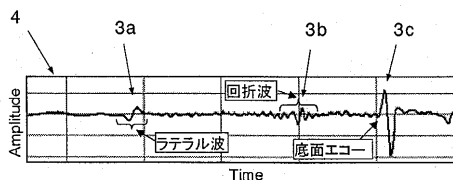
【0049】

- 1 構造物、2 内部欠陥（きず）、
 3 超音波パルス、3 a ラテラル波、3 b 回折波、3 c 底面エコー、
 4 受信波形、5 a 受信波形 F F T、
 5 b ウェーブレット F F T、5 c 積算 F F T、
 6 マザーウェーブレット、7 ウェーブレット変換結果、
 8 ウェーブレット係数、9 等高線図、
 12 超音波送信装置、12 a 超音波発信器、12 b 送信探触子、
 14 超音波受信装置、14 a 超音波受信器、14 b 受信探触子、
 16 超音波解析装置、16 a 解析用コンピュータ、
 16 b 画像表示装置（等高線表示装置）、
 21 受信波形 F F T 装置、22 ウェーブレット F F T 装置、
 23 F F T 積算装置、24 係数解析装置

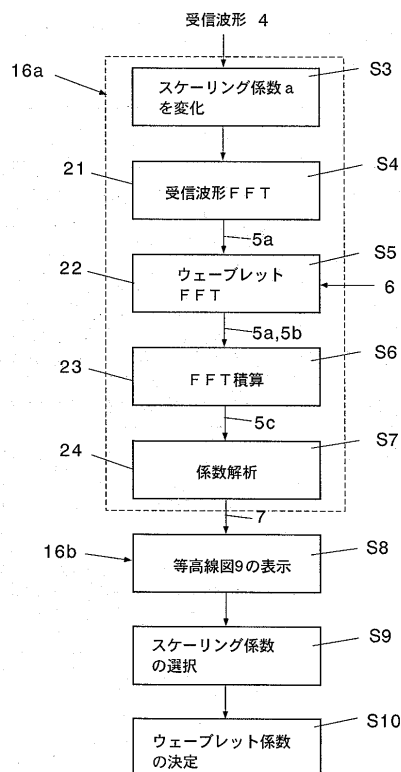
【図 1】



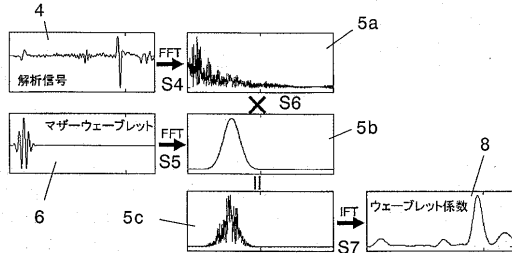
【図 2】



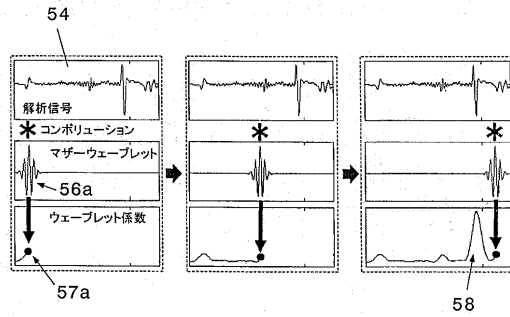
【図 3】



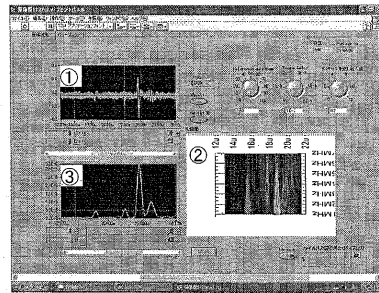
【図 4】



【図 5】



【図 6】



【図 7】

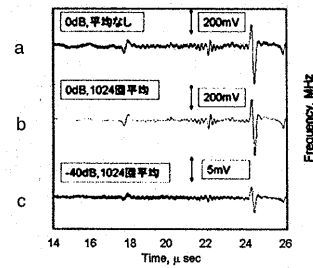
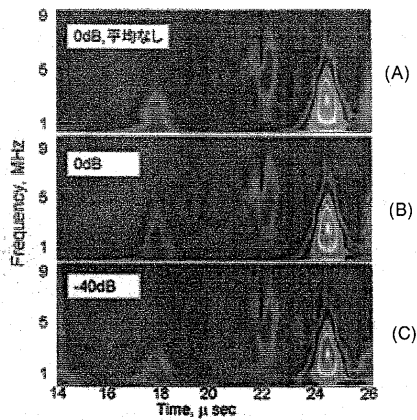
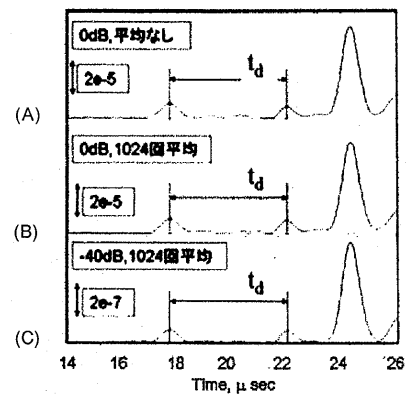


図 2 受信波形

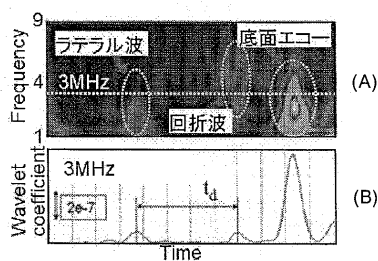
【図 8】



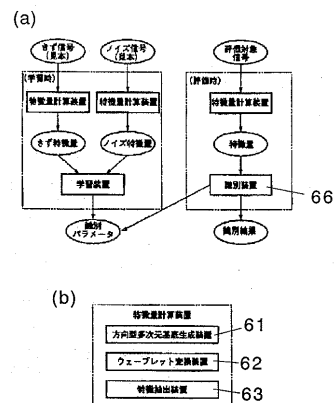
【図 10】



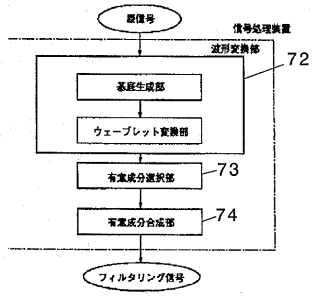
【図 9】



【図 11】



【図 12】



フロントページの続き

(72)発明者 井上 裕嗣

東京都目黒区大岡山 2-1-2-1 国立大学法人東京工業大学内

(72)発明者 黒川 悠

東京都目黒区大岡山 2-1-2-1 国立大学法人東京工業大学内

Fターム(参考) 2G047 AB01 AC01 AC02 BA03 BB02 BC10 EA04 EA09 GA15 GG08

GG09 GG12 GG34

2G075 CA04 CA13 DA16 FA16 FB04 FB07 FB15 GA21