

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局

(43) 国際公開日  
2018年10月18日(18.10.2018)



(10) 国際公開番号

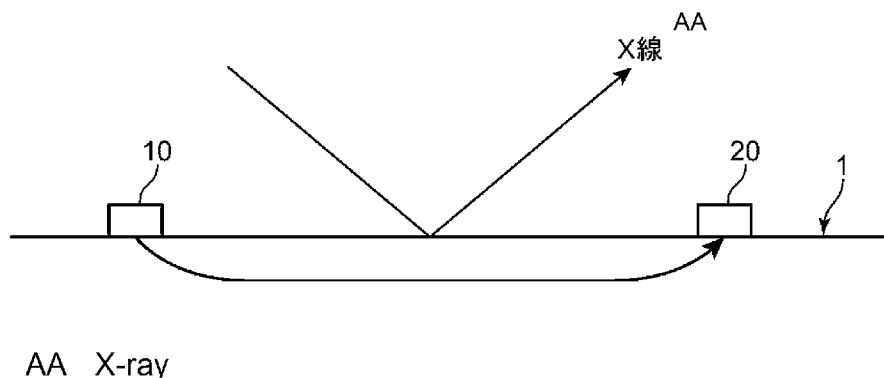
WO 2018/190042 A1

- (51) 国際特許分類:  
G01L 1/00 (2006.01) G01L 1/25 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2018/008965
- (22) 国際出願日: 2018年3月8日(08.03.2018)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2017-078700 2017年4月12日(12.04.2017) JP
- (71) 出願人: 株式会社神戸製鋼所 (KABUSHIKI KAISHA KOBE SEIKO SHO (KOBE STEEL, LTD.)) [JP/JP]; 〒6518585 兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通二丁目2番4号 Hyogo (JP).
- (72) 発明者: 福井 利英 (FUKUI, Toshihide). 高松 弘行 (TAKAMATSU, Hiroyuki).
- (74) 代理人: 小谷 悦司, 外 (KOTANI, Etsuji et al.); 〒5300005 大阪府大阪市北区中之島2丁目2番2号大阪中之島ビル2階 Osaka (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ,

(54) Title: METHOD FOR MEASURING RESIDUAL STRESS

(54) 発明の名称: 残留応力測定方法

[図1]



(57) Abstract: A method for measuring residual stress, wherein the method includes: a residual stress value measurement step for measuring a residual stress value, which is a value of residual stress at a specific location on a specimen or test object, through an X-ray diffraction method; a conversion stress value measurement step for measuring a conversion stress value, which is a value of stress at the specific location and has a correlation with the residual stress value, through an acoustoelasticity method; a correction coefficient calculation step for calculating a correction coefficient for converting the conversion stress value to the residual stress value on the basis of the residual stress value measured in the residual stress value measurement step and the conversion stress value measured in the conversion stress value measurement step; and a correction step for correcting conversion stress values obtained by measuring a plurality of locations on the specimen through the acoustoelasticity method to respective residual stress values on the basis of the correction coefficient.

TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

- 一 国際調査報告（条約第21条(3)）

---

(57) 要約：残留応力測定方法であって、X線回折法によって、被検査体又は被試験体の特定の部位の残留応力の値である残留応力値を測定する残留応力値測定工程と、音弾性法によって、前記特定の部位の応力の値であって残留応力値と相関を有する換算応力値を測定する換算応力値測定工程と、残留応力値測定工程で測定された残留応力値と換算応力値測定工程で測定された換算応力値とに基づいて換算応力値を残留応力値に変換する校正係数を算出する校正係数算出工程と、被検査体の複数の部位を音弾性法で測定することにより得られた各換算応力値を校正係数に基づいてそれぞれ残留応力値に校正する校正工程と、を含む。

## 明 細 書

**発明の名称**： 残留応力測定方法

### 技術分野

[0001] 本発明は、被検査体の残留応力を測定する方法に関するものである。

### 背景技術

[0002] 従来、非破壊で被検査体の残留応力を測定する方法として、特許文献1等に見られるように、X線回折法や音弾性法が知られている。X線回折法は、被検査体に照射されたX線の回折の結果に基づいて当該被検査体の残留応力の状態を評価する方法である。音弾性法は、被検査体に入射した超音波（表面SH波等）が受信されるまでの時間に基づいて当該被検査体の残留応力の状態を評価する方法である。

[0003] X線回折法では、被検査体の残留応力の値（絶対値）の測定が可能であるが、被検査体の極表層（表面から数 $\mu\text{m}$ の範囲）しか評価できず、また、X線回折法に用いる装置のセッティングや残留応力の計測に比較的多くの時間を要する。一方、音弾性法は、X線回折法に比べて計測時間が短く、また、被検査体の表面から深い範囲の評価が可能であるものの、計測結果から残留応力の絶対値を得るためには、被検査体の材料に起因する各パラメータ（音速や音弾性定数）の事前測定が必要となる。なお、各パラメータ（音速や音弾性定数）は、一般的に、被検査体と同じ条件で応力が印加される前のサンプルにより初期音速が測定され、さらに応力の付与に応じた音速の変化を測定することにより求められる。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0004] 特許文献1：特開2007-178157号公報

### 発明の概要

[0005] 本発明の目的は、音弾性法によって被検査体の残留応力の絶対値を算出するのに必要な被検査体の各パラメータ（音速や音弾性定数）の事前測定をす

ることなく、比較的短時間で被検査体の残留応力の絶対値を測定することが可能な残留応力測定方法を提供することである。

[0006] 本発明の一局面に従う残留応力測定方法は、被検査体の残留応力を測定する方法であって、X線回折法によって、前記被検査体又は前記被検査体と同材料からなる被試験体の特定の部位の残留応力の値である残留応力値を測定する残留応力値測定工程と、音弾性法によって、前記特定の部位の応力の値であって前記残留応力値と相関を有する換算応力値を測定する換算応力値測定工程と、前記残留応力値測定工程で測定された前記残留応力値と前記換算応力値測定工程で測定された前記換算応力値とに基づいて前記換算応力値を前記残留応力値に変換する校正係数を算出する校正係数算出工程と、前記被検査体の複数の部位を前記音弾性法で測定することにより得られた各換算応力値を前記校正係数に基づいてそれぞれ残留応力値に校正する校正工程と、を含む。

### 図面の簡単な説明

[0007] [図1]本発明の第1実施形態の残留応力測定方法の残留応力値測定工程及び換算応力値測定工程を示す概略図である。

[図2]上記残留応力測定方法の校正工程で測定する対象である被検査体とその測定点との関係を示す概略図である。

[図3]本発明の第2実施形態の残留応力測定方法の残留応力値測定工程の概略を示す図である。

[図4]本発明の第3実施形態の残留応力測定方法の換算応力値測定工程の概略を示す図である。

[図5]測定深さと応力値との関係を示すグラフである。

### 発明を実施するための形態

[0008] 以下、本発明の好ましい実施形態について、図面を参照しながら説明する。

[0009] (第1実施形態)

本発明の第1実施形態の残留応力測定方法について、図1及び図2を参照

しながら説明する。本残留応力測定方法は、残留応力値測定工程と、換算応力値測定工程と、校正係数算出工程と、校正工程と、を含んでいる。

[0010] 残留応力値測定工程では、図1に示されるように、X線回折法によって、被検査体1の特定の部位の残留応力の値（絶対値）である残留応力値 $\sigma$ が測定される。

[0011] 換算応力値測定工程では、図1に示されるように、音弾性法によって、前記被検査体1の特定の部位（残留応力値測定工程で測定した部位と同じ部位）の換算応力値 $\sigma'$ が測定される。換算応力値 $\sigma'$ は、残留応力値 $\sigma$ と相関を有する応力の値である。具体的に、残留応力値 $\sigma$ は、換算応力値 $\sigma'$ と後述する校正係数 $k$ との積によって表される。なお、本実施形態の測定方法を適用せず、通常音弾性法のみで測定する場合には、換算応力値 $\sigma'$ は、被検査体1に応力が印加される前の状態（無応力状態）における初期音速や、被検査体1の材料に起因する音弾性定数（印加する応力に応じた音速の変化の割合）に基づいて残留応力値 $\sigma$ に変換されることが可能である。本実施形態の換算応力値測定工程では、被検査体1の表面ないしその近傍の領域（以下、「表面領域」と称する。）を伝播する表面波（表面SH波やレーリー波）によって換算応力値 $\sigma'$ が測定される。具体的に、この換算応力値 $\sigma'$ は、送信部10から送信された超音波が表面波として受信部20に伝播するまでの時間に基づいて算出される。なお、表面領域は、被検査体1の表面から表面波の約1～2波長の深さに相当する領域を意味する。

[0012] 校正係数算出工程では、残留応力値測定工程で測定された残留応力値 $\sigma$ と換算応力値測定工程で測定された換算応力値 $\sigma'$ とに基づいて校正係数 $k$ を算出する。校正係数 $k$ は、換算応力値 $\sigma'$ を残留応力値 $\sigma$ に変換する係数である。例えば、図2の測定点AにおいてX線回折法によって測定された残留応力値 $\sigma$ と同測定点Aにおいて音弾性法により測定された換算応力値 $\sigma'$ とに基づいて、 $\sigma = k \times \sigma'$ の関係式が得られる。

[0013] 校正工程では、図2に示されるように、被検査体1の複数の（図2では5つの）部位A～Eを前記音弾性法で測定するとともに、その測定で得られた

各換算応力値  $\sigma'$  を校正係数  $k$  に基づいてそれぞれ残留応力値  $\sigma$  に校正する。これにより、被検査体 1 の複数の部位 A～E における残留応力値  $\sigma$  が得られる。

[0014] 以上に説明したように、本実施形態の残留応力測定方法では、被検査体 1 の特定の部位を X 線回折法及び音弾性法の 2 つの方法で測定することにより、その部位の残留応力値  $\sigma$  及びそれと相関のある換算応力値  $\sigma'$  が求まるので、これら残留応力値  $\sigma$  と換算応力値  $\sigma'$  とに基づいて換算応力値  $\sigma'$  を残留応力値  $\sigma$  に変換する校正係数  $k$  が算出される。よって、X 線回折法よりも短時間で計測可能な音弾性法によって被検査体 1 の複数の部位 A～E を測定することにより、その測定で得られた各換算応力値  $\sigma'$  を校正係数  $k$  を用いることによって残留応力値  $\sigma$  に近似することが可能となる。したがって、本残留応力測定方法では、音弾性法によって被検査体 1 の残留応力の絶対値を算出するのに必要な被検査体 1 の事前測定をすることなく、X 線回折法のみで被検査体 1 の複数の部位 A～E を測定する場合よりも短時間で、かつ、X 線回折法による測定と同程度の精度で被検査体 1 の複数の部位 A～E の残留応力値  $\sigma$  を求めることができる。

[0015] なお、残留応力値測定工程において、被検査体 1 の複数の部位（例えば、図 2 における測定点 A 及び測定点 B）の残留応力値  $\sigma$  の平均値が算出され、換算応力値測定工程において、被検査体 1 の前記複数の部位の換算応力値  $\sigma'$  の平均値が算出され、校正係数算出工程において、前記残留応力値  $\sigma$  の平均値と前記換算応力値  $\sigma'$  の平均値とに基づいて校正係数  $k$  が算出されてもよい。

[0016] また、被検査体 1 と同じ材料からなりかつ同じ応力状態にある被試験体を X 線回折法及び音弾性法で測定することによって校正係数  $k$  が算出され、校正工程においてその校正係数  $k$  が用いられてもよい。つまり、残留応力値測定工程において、前記被試験体の特定の残留応力値  $\sigma$  が算出され、換算応力値測定工程において、被試験体の前記特定の部位（残留応力値測定工程で測定した部位と同じ部位）の換算応力値  $\sigma'$  が算出され、校正係数算出工程に

において、前記残留応力値  $\sigma$  と前記換算応力値  $\sigma'$  とに基づいて校正係数  $k$  が算出され、校正工程において、被検査体 1 の複数の部位 A～E が音弾性法で測定されるとともに、その測定で得られた各換算応力値  $\sigma'$  が校正係数  $k$  に基づいてそれぞれ残留応力値  $\sigma$  に校正されてもよい。このことは、以下の第 2 実施形態及び第 3 実施形態においても同様である。

[0017] (第 2 実施形態)

次に、本発明の第 2 実施形態の残留応力測定方法について説明する。なお、第 2 実施形態では、第 1 実施形態と異なる部分についてのみ説明を行い、第 1 実施形態と同じ工程、作用及び効果の説明は省略する。

[0018] 図 3 に示されるように、本実施形態では、残留応力値測定工程において、残留応力値  $\sigma$  として、被検査体 1 の特定の部位について当該部位の表面から音弾性法で用いられる超音波（表面波）が伝播する深さ（本実施形態では表面波の 1 波長分の深さ）の範囲の複数の部位について X 線回折法で測定された各残留応力値  $\sigma$  の平均値  $\sigma_{ave}$  を測定する。

[0019] 具体的には、図 3 に示されるように、まずは、X 線回折法によって被検査体 1 の表面の残留応力値  $\sigma$  を測定する。その後、被検査体 1 の表面から第 1 深さ  $d_1$  分だけ電解研磨によって被検査体 1 を研磨する。そして、再び X 線回折法によって新出面の残留応力値  $\sigma$  を測定する。この操作を複数回繰り返すことにより、音弾性法で用いられる超音波（表面波）が伝播する深さの範囲の複数の部位について X 線回折法で測定された各残留応力値  $\sigma$  の平均値  $\sigma_{ave}$  を算出する。

[0020] そして、校正係数算出工程では、その平均値  $\sigma_{ave}$  と換算応力値測定工程において音弾性法によって測定された換算応力値  $\sigma'$  とに基づいて校正係数  $k$  を算出する。

[0021] 以上のように、本実施形態では、校正係数算出工程において前記平均値  $\sigma_{ave}$  が用いられる。すなわち、校正係数算出工程において用いられる残留応力値が換算応力値測定工程で用いられる超音波の伝播深さに対応する値となる。このため、校正係数算出工程において前記特定の部位の表層（音弾性

法で用いられる超音波が伝播する深さよりも浅い部位)の残留応力値 $\sigma$ に基づいて校正係数 $k$ が算出される場合に比べ、校正係数 $k$ の精度が高まる。よって、校正工程における校正の精度が高まる。本実施形態の測定方法は、被検査体1の表面から音弾性法で用いられる超音波が伝播する深さの範囲において残留応力値に勾配がある場合に特に有効である。

[0022] (第3実施形態)

次に、本発明の第3実施形態の残留応力測定方法について説明する。なお、第3実施形態においても、第1実施形態と異なる部分についてのみ説明を行い、第1実施形態と同じ工程、作用及び効果の説明は省略する。

[0023] 図4に示されるように、本実施形態では、換算応力値測定工程において、換算応力値 $\sigma'$ として、互いに異なる周波数を有する複数の超音波(表面波)を用いることにより前記特定の部位の異なる深さについて音弾性法で複数の換算応力値 $\sigma'$ を測定することと、各測定値に基づいて前記特定の部位の深さと換算応力値 $\sigma'$ との関係を示す応力値関数 $F$ (図5を参照)を求めることと、を行う。なお、周波数が低い程、表面波は被検査体1の表面から深い範囲を伝播するので、互いに異なる複数の周波数の表面波によって前記特定の部位を測定することにより、被検査体1の表層近傍における応力勾配を把握すること(前記応力値関数 $F$ を求めること)ができる。具体的には、前記特定の部位に対し、送信部10から第1周波数の表面波を送信し、これを受信部20で受信する。この伝播時間に基づいて換算応力値 $\sigma'_1$ を測定する。次に、第1周波数よりも低い又は高い周波数を有する表面波を送信部10から送信し、これを受信部20で受信する。この伝播時間に基づいて換算応力値 $\sigma'_2$ を測定する。そして、各換算応力値 $\sigma'$ に基づいて前記応力値関数 $F$ を算出する。

[0024] 続いて、校正係数算出工程では、前記応力値関数 $F$ において深さがゼロのときにおける換算応力値 $\sigma'$ と残留応力値測定工程においてX線回折法によって測定された残留応力値 $\sigma$ とに基づいて校正係数 $k$ を算出する。

[0025] ここで、X線回折法では、被検査体1の極表層の部位(実質的に深さがゼ



口と評価可能な部位)の残留応力値が測定される。よって、前記応力値関数  $F$  において深さがゼロのときの換算応力値  $\sigma'$  と残留応力値  $\sigma$  とに基づいて校正係数  $k$  が算出されることにより、前記特定の部位について音弾性法によって単一の周波数で測定された換算応力値  $\sigma'$  と前記残留応力値  $\sigma$  とに基づいて校正係数  $k$  が算出される場合、つまり、互いに異なる深さにおける各応力値に基づいて校正係数  $k$  が算出される場合に比べ、校正係数  $k$  の精度が高まる。したがって、校正工程における校正の精度が高まる。

[0026] なお、換算応力値測定工程では、3以上の互いに異なる周波数の表面波によって測定された複数の換算応力値  $\sigma'$  に基づいて前記応力値関数  $F$  が求められてもよい。このようにすれば、より校正係数  $k$  の精度が高まる。

### 実施例

[0027] 次に、第2実施形態の残留応力値測定工程について、図3を参照しながら説明する。この実施例では、被検査体1として鋼材が用いられ、また、換算応力値測定工程では、5MHzの周波数を有する超音波が用いられた。音弾性法で用いられる超音波(表面波)の被検査体1の伝播深さは、被検査体1の表面から約1波長分の範囲である。この実施例では、被検査体1として鋼材が用いられるため、表面波の伝播範囲は、被検査体1の表面から約0.6mmの深さの範囲となる。

[0028] この実施例の残留応力値測定工程では、まず、X線回折法によって被検査体1の特定の部位の表面の残留応力値  $\sigma$  が測定された。この測定結果は、-300MPaであった。なお、この部位には圧縮応力が印加されているため、残留応力値はマイナスの値となった。

[0029] 次に、被検査体1の表面から第1深さ  $d_1$  (この実施例では150 $\mu$ m)だけ電解研磨によって被検査体1が研磨された。そして、その新出面の残留応力値  $\sigma$  が測定された。この測定結果は、-250MPaであった。同様に、被検査体1の表面から第2深さ  $d_2$  (この実施例では300 $\mu$ m)の部位における残留応力値は、-200MPaであり、被検査体1の表面から第3深さ  $d_3$  (この実施例では450 $\mu$ m)の部位における残留応力値は、-1

50 MPaであり、被検査体1の表面から第4深さ $d_4$ （この実施例では600  $\mu\text{m}$ ）の部位における残留応力値は、-100 MPaであった。これより、被検査体1の前記特定の部位における残留応力値の平均値 $\sigma_{ave}$ は、-200 MPaとなった。なお、測定点の位置や数は、上記の例に限られない。

[0030] 以上より、被検査体1の特定の部位の残留応力値 $\sigma$ として表面波が伝播する深さの範囲の平均値 $\sigma_{ave}$ が求められることにより、前記特定の部位の表面の残留応力値 $\sigma$ に基づいて校正係数 $k$ が算出される場合に比べ、校正係数 $k$ の精度が高まることが確認された。

[0031] 続いて、第3実施形態の換算応力値測定工程について、図4及び図5を参照しながら説明する。この実施例においても、被検査体1として鋼材が用いられた。

[0032] この実施例の換算応力値測定工程では、5 MHzの周波数を有する超音波（表面波）と2 MHzの周波数を有する超音波（表面波）とによって前記特定の部位の換算応力値 $\sigma'$ が測定された。5 MHzの周波数を有する超音波（表面波）による換算応力値 $\sigma'$ の測定値は、被試験体1の表面からの深さが約0.6 mmの位置の値であり、-500 MPaであった。2 MHzの周波数を有する超音波（表面波）による換算応力値 $\sigma'$ の測定値は、被試験体1の表面からの深さが約1.5 mmの位置の値であり、-400 MPaであった。これより、前記応力値関数 $F$ が求められた。

[0033] 次に、校正係数算出工程では、前記応力値関数 $F$ において深さがゼロのときの換算応力値 $\sigma'$ （この実施例では約-567 MPa）と、残留応力値測定工程で測定された残留応力値 $\sigma$ （この実施例では-700 MPa）と、に基づいて校正係数 $k$ が算出された。

[0034] 以上より、応力値関数 $F$ において深さがゼロのときの換算応力値 $\sigma'$ と残留応力値 $\sigma$ とに基づいて校正係数 $k$ が算出されることにより、前記特定の部位について音弾性法によって単一の周波数で測定された換算応力値 $\sigma'$ （-400 MPaや-500 MPa等）と前記残留応力値 $\sigma$ （-700 MPa）

とに基づいて校正係数  $k$  が算出される場合に比べ、校正係数  $k$  の精度が高まることが確認された。

[0035] なお、今回開示された実施形態は、すべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した実施形態の説明ではなく特許請求の範囲によって示され、さらに特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれる。

[0036] 例えば、換算応力値測定工程では、換算応力値  $\sigma'$  として、X線回折法で測定された残留応力値  $\sigma$  と相関を有する伝播時間比が測定されてもよい。伝播時間比は、表面SH波が送信部10から受信部20まで伝播する時間のレーリー波が送信部10から受信部20まで伝播する時間に対する割合を意味する。

[0037] ここで、上記実施形態について概説する。

[0038] 上記実施形態の残留応力測定方法は、被検査体の残留応力を測定する方法であって、X線回折法によって、前記被検査体又は前記被検査体と同材料からなる被試験体の特定の部位の残留応力の値である残留応力値を測定する残留応力値測定工程と、音弾性法によって、前記特定の部位の応力の値であって前記残留応力値と相関を有する換算応力値を測定する換算応力値測定工程と、前記残留応力値測定工程で測定された前記残留応力値と前記換算応力値測定工程で測定された前記換算応力値とに基づいて前記換算応力値を前記残留応力値に変換する校正係数を算出する校正係数算出工程と、前記被検査体の複数の部位を前記音弾性法で測定することにより得られた各換算応力値を前記校正係数に基づいてそれぞれ残留応力値に校正する校正工程と、を含む。

[0039] 本残留応力測定方法では、被検査体又は被試験体の特定の部位をX線回折法及び音弾性法の2つの方法で測定することにより、その部位の残留応力値及びそれと相関のある換算応力値が求まるので、これら残留応力値と換算応力値とに基づいて換算応力値を残留応力値に変換する校正係数が算出される。よって、X線回折法よりも短時間で計測可能な音弾性法によって被検査体

の複数の部位を測定することにより、その測定で得られた各換算応力値を前記校正係数を用いることによって残留応力値に近似することが可能となる。したがって、本残留応力測定方法では、音弾性法によって被検査体の残留応力の絶対値を算出するのに必要な被検査体の各パラメータ（音速や音弾性定数）の事前測定をすることなく、X線回折法のみで被検査体の複数の部位を測定する場合よりも短時間で、かつ、X線回折法による測定と同程度の精度で被検査体の複数の部位の残留応力値を求めることができる。

[0040] この場合において、前記残留応力値測定工程及び前記換算応力値測定工程では、前記被検査体の前記特定の部位が測定されることが好ましい。

[0041] このようにすれば、校正工程における測定対象である被検査体と同一の被検査体の測定結果に基づいて校正係数が求められるので、校正係数の精度が高まる。よって校正工程における校正の精度が高まる。

[0042] また、記残留応力値測定工程では、前記残留応力値として、前記特定の部位について当該部位の表面から前記音弾性法で用いられる超音波が伝播する深さの範囲の複数の部位について前記X線回折法で測定された各残留応力値の平均値を測定することが好ましい。

[0043] このようにすれば、校正係数算出工程において用いられる残留応力値が換算応力値測定工程で用いられる超音波の伝播深さに対応する値となるので、校正係数算出工程において前記特定の部位の表層（音弾性法で用いられる超音波が伝播する深さよりも浅い部位）の残留応力値に基づいて校正係数が算出される場合に比べ、校正係数の精度が高まる。よって、校正工程における校正の精度が高まる。この方法は、被検査体の表面から音弾性法で用いられる超音波が伝播する深さの範囲において残留応力値に勾配がある場合に特に有効である。

[0044] また、前記換算応力値測定工程では、前記換算応力値として、互いに異なる周波数を有する複数の超音波を用いることにより前記特定の部位の異なる深さについて前記音弾性法で複数の値を測定することと、各測定値に基づいて前記特定の部位の深さと前記換算応力値との関係を示す応力値関数を求め

ることと、を行い、前記校正係数算出工程では、前記残留応力値と前記応力値関数において深さがゼロのときの換算応力値とに基づいて前記校正係数を算出することが好ましい。

[0045] この態様では、校正係数算出工程において前記応力値関数において深さがゼロのときの換算応力値と残留応力値とに基づいて校正係数が算出されることにより、前記特定の部位について音弾性法によって単一の周波数で測定された換算応力値と前記残留応力値とに基づいて校正係数が算出される場合、つまり、互いに異なる深さにおける各応力値に基づいて校正係数が算出される場合に比べ、校正係数の精度が高まる。したがって、校正工程における校正の精度が高まる。

## 請求の範囲

### [請求項1]

被検査体の残留応力を測定する方法であって、

X線回折法によって、前記被検査体又は前記被検査体と同材料からなる被試験体の特定の部位の残留応力の値である残留応力値を測定する残留応力値測定工程と、

音弾性法によって、前記特定の部位の応力の値であって前記残留応力値と相関を有する換算応力値を測定する換算応力値測定工程と、

前記残留応力値測定工程で測定された前記残留応力値と前記換算応力値測定工程で測定された前記換算応力値とに基づいて前記換算応力値を前記残留応力値に変換する校正係数を算出する校正係数算出工程と、

前記被検査体の複数の部位を前記音弾性法で測定することにより得られた各換算応力値を前記校正係数に基づいてそれぞれ残留応力値に校正する校正工程と、を含む、残留応力測定方法。

### [請求項2]

請求項1に記載の残留応力測定方法において、

前記残留応力値測定工程及び前記換算応力値測定工程では、前記被検査体の前記特定の部位が測定される、残留応力測定方法。

### [請求項3]

請求項1又は2に記載の残留応力測定方法において、

前記残留応力値測定工程では、前記残留応力値として、前記特定の部位について当該部位の表面から前記音弾性法で用いられる超音波が伝播する深さの範囲の複数の部位について前記X線回折法で測定された各残留応力値の平均値を測定する、残留応力測定方法。

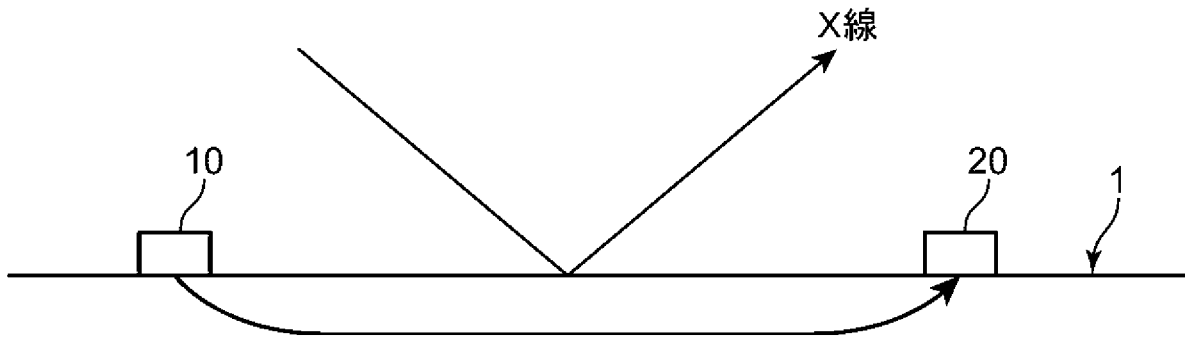
### [請求項4]

請求項1又は2に記載の残留応力測定方法において、

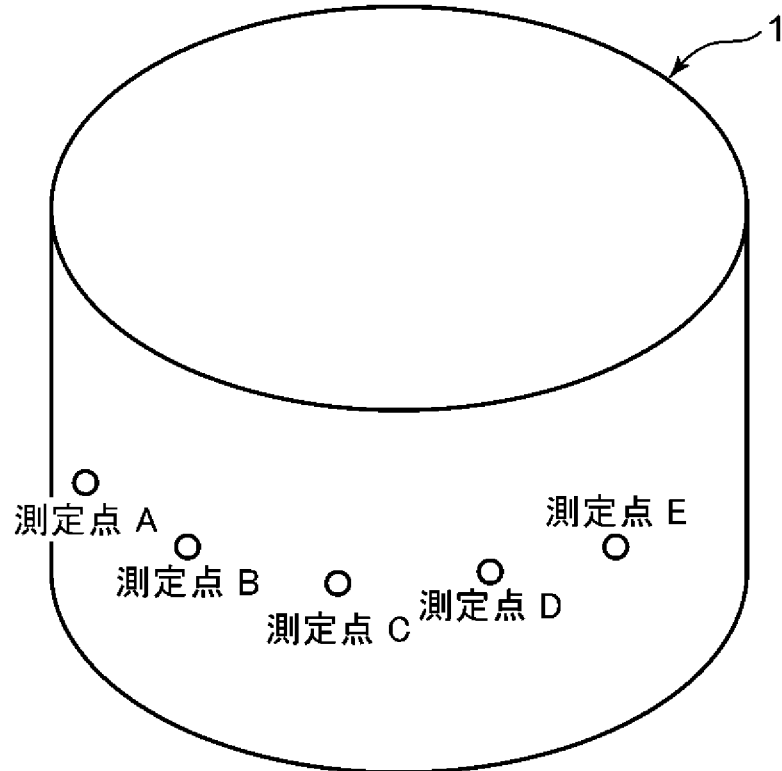
前記換算応力値測定工程では、前記換算応力値として、互いに異なる周波数を有する複数の超音波を用いることにより前記特定の部位の異なる深さについて前記音弾性法で複数の値を測定することと、各測定値に基づいて前記特定の部位の深さと前記換算応力値との関係を示す応力値関数を求めることと、を行い、

前記校正係数算出工程では、前記残留応力値と前記応力値関数において深さがゼロのときの換算応力値とに基づいて前記校正係数を算出する、残留応力測定方法。

[図1]

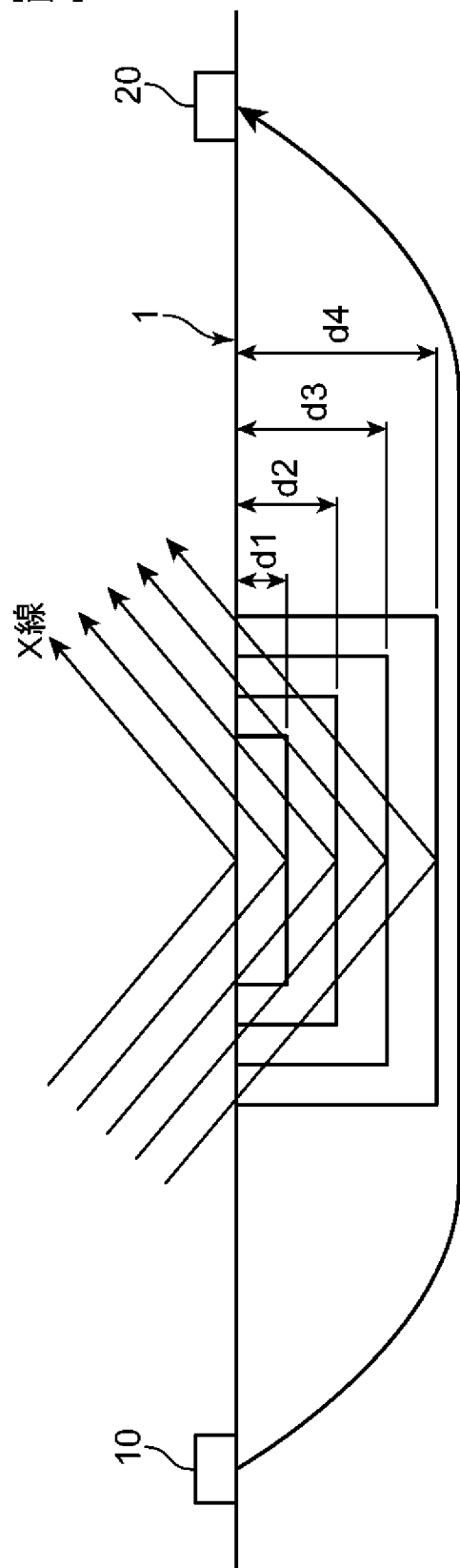


[図2]

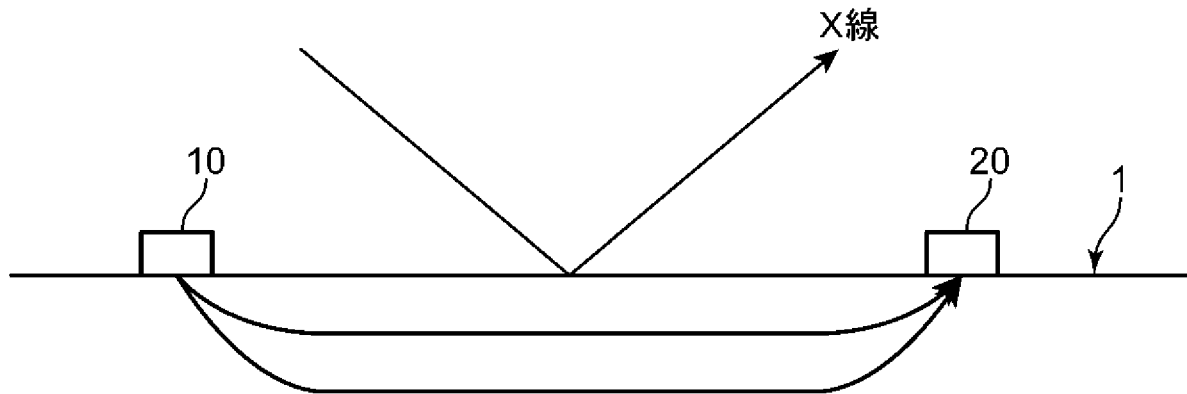




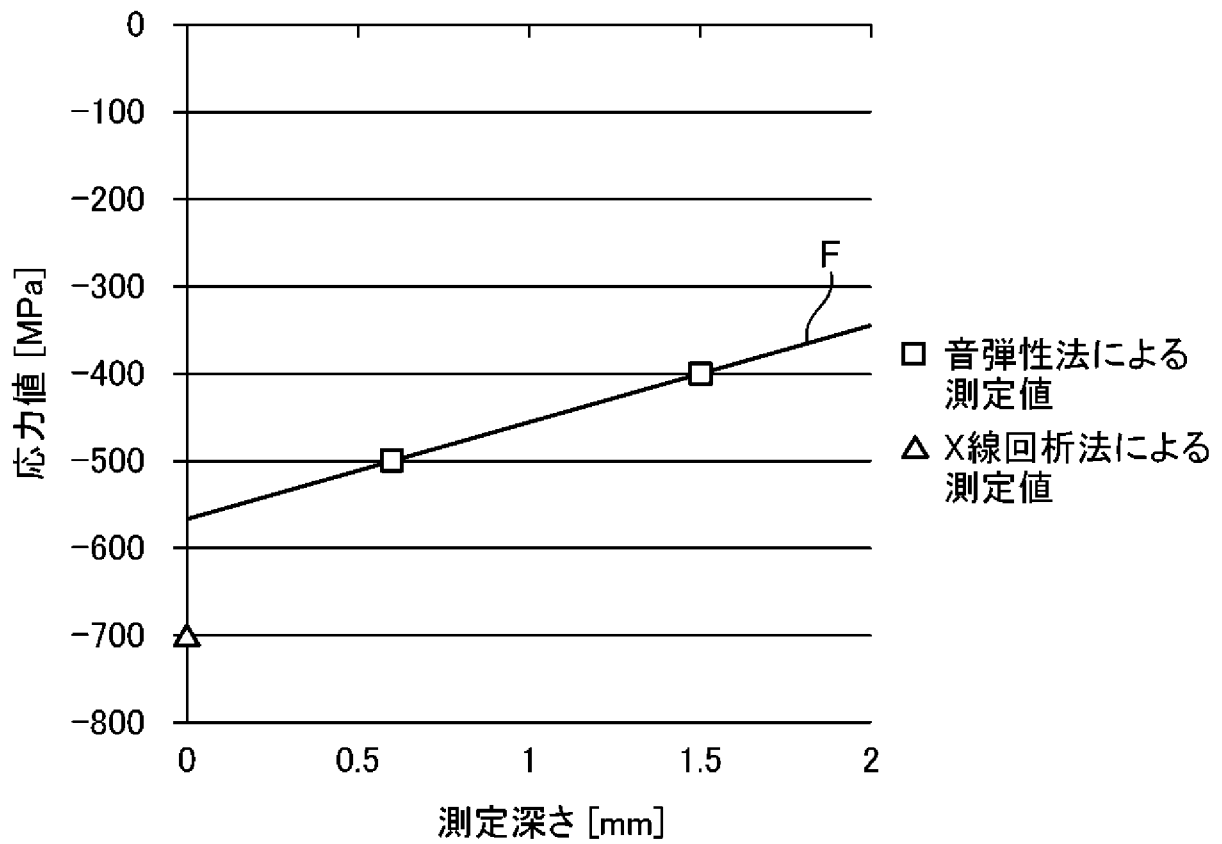
[図3]



[図4]



[図5]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2018/008965

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

Int.Cl. G01L1/00(2006.01) i, G01L1/25(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl. G01L1/00-1/26

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

|  |           |
|--|-----------|
| Published examined utility model applications of Japan   | 1922-1996 |
| Published unexamined utility model applications of Japan | 1971-2018 |
| Registered utility model specifications of Japan         | 1996-2018 |
| Published registered utility model applications of Japan | 1994-2018 |

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JSTPlus/JST7580/JSTChina (JDreamIII) & keyword: stress measurement, stress detection, ultrasound, acoustoelasticity, X-ray, correction, calibration, and terms similar thereto

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages  | Relevant to claim No. |
|-----------|---|-----------------------|
| X<br>A    | JP 05-142067 A (TOSHIBA CORP.) 08 June 1993, paragraphs [0025]-[0038], fig. 6-7 (Family: none)  | 1-2<br>3-4            |
| X<br>A    | 田中俊一郎, 官坂千晶, 微小 X 線法及び超音波顕微鏡法によるセラミック接合界面近傍の残留応力分布測定, 日本機械学会関西支部定時総会講演会講演論文集, March 1992, vol. 67, no. 1, pp. 7-9, 日本機械学会関西支部, (The Japan Society of Mechanical Engineers Kansai Branch), non-official translation (TANAKA, Shunichiro, MIYASAKA, Chiaki, "Measurement of residual stress distribution in vicinity of ceramic bond interface by micro x-ray method and ultrasonic microscope method", Lecture proceedings of regular general meeting conference of The Japan Society of Mechanical Engineers Kansai Branch) | 1-2<br>3-4            |

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance  
 "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date  
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)  
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means  
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention  
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone  
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art  
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
31 May 2018 (31.05.2018)

Date of mailing of the international search report  
12 June 2018 (12.06.2018)

Name and mailing address of the ISA/  
Japan Patent Office  
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,  
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer  
  
Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/008965

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages  | Relevant to claim No. |
|-----------|---|-----------------------|
| A         | JP 62-294926 A (HITACHI, LTD.) 22 December 1987, page 2, lower left column, lines 13-16 (Family: none)  | 1-4                   |
| A         | SONG, Wentao, XU, Chunguang, PAN, Qinxue, and SONG, Jianfeng, "Nondestructive Testing and Characterization of Residual Stress Field Using an Ultrasonic Method", Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2016, vol. 29, no. 2, pp. 365-371, Chinese Mechanical Engineering Society, ISSN 1000-9345 | 1-4                   |

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01L1/00(2006.01)i, G01L1/25(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01L1/00-1/26

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

|             |            |
|-------------|------------|
| 日本国実用新案公報   | 1922-1996年 |
| 日本国公開実用新案公報 | 1971-2018年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1996-2018年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1994-2018年 |

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

JSTPlus/JST7580/JSTChina(JDreamIII) & キーワード：応力測定、応力計測、超音波、音弾性、X線、較正、校正、及びそれに類する用語

C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の<br>カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示   | 関連する<br>請求項の番号 |
|-----------------|---|----------------|
| X<br>A          | JP 05-142067 A (株式会社東芝) 1993.06.08,<br>【0025】 - 【0038】 , 【図6】 - 【図7】 (ファミリーなし)  | 1-2<br>3-4     |
| X<br>A          | 田中俊一郎, 宮坂千晶, 微小X線法及び超音波顕微鏡法によるセラミック接合界面近傍の残留応力分布測定, 日本機械学会関西支部定時総会講演会講演論文集, 1992.03, Vol.67 No.1 Page.7-9, 日本機械学会関西支部 | 1-2<br>3-4     |

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

\* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）  
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

31.05.2018

国際調査報告の発送日

12.06.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)  
 郵便番号100-8915  
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

羽飼 知佳

2 F

3306

電話番号 03-3581-1101 内線 3216

| C (続き) . 関連すると認められる文献 |   |                |
|-----------------------|---|----------------|
| 引用文献の<br>カテゴリー*       | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示   | 関連する<br>請求項の番号 |
| A                     | JP 62-294926 A (株式会社日立製作所) 1987. 12. 22,<br>第 2 頁左下欄第 13-16 行 (ファミリーなし)   | 1-4            |
| A                     | SONG Wentao, XU Chunguang, PAN Qinxue, and SONG Jianfeng,<br>Nondestructive Testing and Characterization of Residual Stress<br>Field Using an Ultrasonic Method, Chinese Journal of Mechanical<br>Engineering, 2016, Vol. 29 No. 2 Page. 365-371,<br>Chinese Mechanical Engineering Society, ISSN 1000-9345 | 1-4            |