

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5458262号  
(P5458262)

(45) 発行日 平成26年4月2日(2014.4.2)

(24) 登録日 平成26年1月24日(2014.1.24)

(51) Int. Cl. F I  
**GO 1 B 11/16 (2006.01)** GO 1 B 11/16 H  
**GO 1 B 11/02 (2006.01)** GO 1 B 11/02 H

請求項の数 13 (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2009-204164 (P2009-204164)  
 (22) 出願日 平成21年9月3日(2009.9.3)  
 (65) 公開番号 特開2011-53157 (P2011-53157A)  
 (43) 公開日 平成23年3月17日(2011.3.17)  
 審査請求日 平成24年8月15日(2012.8.15)

(73) 特許権者 504209655  
 国立大学法人佐賀大学  
 佐賀県佐賀市本庄町1番地  
 (73) 特許権者 504205521  
 国立大学法人 長崎大学  
 長崎県長崎市文教町1-14  
 (74) 代理人 100095407  
 弁理士 木村 満  
 (74) 代理人 100133592  
 弁理士 山口 浩一  
 (72) 発明者 伊藤 幸広  
 佐賀県佐賀市本庄町1番地 国立大学法人  
 佐賀大学内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ひずみ計測方法、ひずみ計測装置およびプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

測定対象物の表面の所定領域に存在する不規則な凹凸面の表面高さを計測して得られた当初表面高さ分布から、前記所定領域内の点Aを包含する微小領域a及び、点Bを包含する微小領域bの表面高さ分布を抽出する微小領域抽出段階と、

前記微小領域a及びbの表面高さの分布と、経時後に前記測定対象物の前記所定領域の表面高さを計測して得られた経時後表面高さ分布を照合して、前記微小領域aの表面高さ分布に最も近似する前記経時後表面高さ分布上の微小領域a'及び前記微小領域bの表面高さ分布に最も近似する前記経時後表面高さ分布上の微小領域b'を求める照合段階と、

前記微小領域a及びbにおける前記点A及びBに対応する前記微小領域a'及びb'内の点A'及びB'の座標を算出する座標算出段階と、

当初の線分ABの長さlと経時後の線分A'B'の長さl'を下式に代入して、線分AB方向のひずみεを算出するひずみ算出段階を有する

ことを特徴とするひずみ計測方法。

【数1】

$$\varepsilon = \frac{l' - l}{l}$$

【請求項2】

10

20

前記微小領域抽出段階は、前記所定領域内の点  $A_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$  :  $n$  は 2 以上の正の整数、以下同じ) を包含する微小領域  $a_i$  及び、点  $B_i$  を包含する微小領域  $b_i$  の表面高さ分布を前記当初表面高さ分布から抽出し、

前記照合段階は、前記微小領域  $a_i$  及び  $b_i$  の表面高さの分布と、前記経時後表面高さ分布を照合して、前記微小領域  $a_i$  及び  $b_i$  の表面高さ分布に最も近似する前記経時後表面高さ分布上の微小領域  $a'_i$  及び  $b'_i$  を求め、

前記座標算出段階は、前記微小領域  $a_i$  及び  $b_i$  における前記点  $A_i$  及び  $B_i$  に対応する前記微小領域  $a'_i$  及び  $b'_i$  内の点  $A'_i$  及び  $B'_i$  の座標を算出し、

前記ひずみ算出段階は、線分  $A_i B_i$  の長さ  $l_i$  および線分  $A'_i B'_i$  の長さ  $l'_i$  に基づいて、線分  $A_i B_i$  方向のひずみ  $\varepsilon_i$  を求めて、さらに、全てのひずみ  $\varepsilon_i$  の相和平均を前記所定領域のひずみとして算出する

ことを特徴とする請求項 1 に記載のひずみ計測方法。

【請求項 3】

前記ひずみ算出段階は、全てのひずみ  $\varepsilon_i$  の中から異常値を除外して相和平均を算出する

ことを特徴とする請求項 2 に記載のひずみ計測方法。

【請求項 4】

前記異常値は、事前に規定された範囲外の値である

ことを特徴とする請求項 3 に記載のひずみ計測方法。

【請求項 5】

前記異常値は、全ての前記ひずみ  $\varepsilon_i$  の最大値および最小値である

ことを特徴とする請求項 3 に記載のひずみ計測方法。

【請求項 6】

前記所定領域の表面高さを計測して得られた表面高さ分布の表面高さが平均値以下となる領域の表面高さを前記平均値に置き換える溝部カット段階をさらに有する

ことを特徴とする請求項 1 ないし請求項 5 のいずれか 1 項に記載のひずみ計測方法。

【請求項 7】

前記測定対象物の前記所定領域を事前に加工して凹凸面を形成する所定領域加工段階をさらに有する

ことを特徴とする請求項 1 ないし請求項 5 のいずれか 1 項に記載のひずみ計測方法。

【請求項 8】

測定対象物の表面の所定領域に存在する不規則な凹凸面の表面高さを計測して得られた当初表面高さ分布から、前記所定領域内の点  $A$  を包含する微小領域  $a$  及び、点  $B$  を包含する微小領域  $b$  の表面高さ分布を抽出する微小領域抽出手段と、

前記微小領域  $a$  及び  $b$  の表面高さの分布と、経時後に前記測定対象物の前記所定領域の表面高さを計測して得られた経時後表面高さ分布を照合して、前記微小領域  $a$  の表面高さ分布に最も近似する前記経時後表面高さ分布上の微小領域  $a'$  及び前記微小領域  $b$  の表面高さ分布に最も近似する前記経時後表面高さ分布上の微小領域  $b'$  を求める照合手段と、

前記微小領域  $a$  及び  $b$  における前記点  $A$  及び  $B$  に対応する前記微小領域  $a'$  及び  $b'$  内の点  $A'$  及び  $B'$  の座標を算出する座標算出手段と、

当初の線分  $AB$  の長さ  $l$  と経時後の線分  $A'B'$  の長さ  $l'$  を下式に代入して、線分  $AB$  方向のひずみ  $\varepsilon$  を算出するひずみ算出手段を備える

ことを特徴とするひずみ計測装置。

【数 2】

$$\varepsilon = \frac{l' - l}{l}$$

【請求項 9】

前記微小領域抽出手段は、前記所定領域内の点  $A_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$  :  $n$  は 2 以上の正

10

20

30

40

50

の整数、以下同じ)を包含する微小領域  $a_i$  及び、点  $B_i$  を包含する微小領域  $b_i$  の表面高さ分布を前記当初表面高さ分布から抽出し、

前記照合手段は、前記微小領域  $a_i$  及び  $b_i$  の表面高さの分布と、前記経時後表面高さ分布を照合して、前記微小領域  $a_i$  及び  $b_i$  の表面高さ分布に最も近似する前記経時後表面高さ分布上の微小領域  $a'_i$  及び  $b'_i$  を求め、

前記座標算出手段は、前記微小領域  $a_i$  及び  $b_i$  における前記点  $A_i$  及び  $B_i$  に対応する前記微小領域  $a'_i$  及び  $b'_i$  内の点  $A'_i$  及び  $B'_i$  の座標を算出し、

前記ひずみ算出手段は、線分  $A_i B_i$  の長さ  $l_i$  および線分  $A'_i B'_i$  の長さ  $l'_i$  に基づいて、線分  $A_i B_i$  方向のひずみ  $\varepsilon_i$  を求めて、さらに、全てのひずみ  $\varepsilon_i$  の相和平均を前記所定領域のひずみとして算出する

ことを特徴とする請求項 8 に記載のひずみ計測装置。

#### 【請求項 10】

前記所定領域の表面高さを計測して得られた表面高さ分布の表面高さが平均値以下となる領域の表面高さを前記平均値に置き換える溝部カット手段をさらに備える

ことを特徴とする請求項 8 または請求項 9 に記載のひずみ計測装置。

#### 【請求項 11】

コンピュータにインストールされて、当該コンピュータを、

測定対象物の表面の所定領域に存在する不規則な凹凸面の表面高さを計測して得られた当初表面高さ分布から、前記所定領域内の点  $A$  を包含する微小領域  $a$  及び、点  $B$  を包含する微小領域  $b$  の表面高さ分布を抽出する微小領域抽出手段と、

前記微小領域  $a$  及び  $b$  の表面高さの分布と、経時後に前記測定対象物の前記所定領域の表面高さを計測して得られた経時後表面高さ分布を照合して、前記微小領域  $a$  の表面高さ分布に最も近似する前記経時後表面高さ分布上の微小領域  $a'$  及び前記微小領域  $b$  の表面高さ分布に最も近似する前記経時後表面高さ分布上の微小領域  $b'$  を求める照合手段と、

前記微小領域  $a$  及び  $b$  における前記点  $A$  及び  $B$  に対応する前記微小領域  $a'$  及び  $b'$  内の点  $A'$  及び  $B'$  の座標を算出する座標算出手段と、

当初の線分  $A B$  の長さ  $l$  と経時後の線分  $A' B'$  の長さ  $l'$  を下式に代入して、線分  $A B$  方向のひずみ  $\varepsilon$  を算出するひずみ算出手段を備える

ひずみ計測装置として機能させることを特徴とするプログラム。

#### 【数 3】

$$\varepsilon = \frac{l' - l}{l}$$

#### 【請求項 12】

前記微小領域抽出手段は、前記所定領域内の点  $A_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ :  $n$  は 2 以上の正の整数、以下同じ)を包含する微小領域  $a_i$  及び、点  $B_i$  を包含する微小領域  $b_i$  の表面高さ分布を前記当初表面高さ分布から抽出し、

前記照合手段は、前記微小領域  $a_i$  及び  $b_i$  の表面高さの分布と、前記経時後表面高さ分布を照合して、前記微小領域  $a_i$  及び  $b_i$  の表面高さ分布に最も近似する前記経時後表面高さ分布上の微小領域  $a'_i$  及び  $b'_i$  を求め、

前記座標算出手段は、前記微小領域  $a_i$  及び  $b_i$  における前記点  $A_i$  及び  $B_i$  に対応する前記微小領域  $a'_i$  及び  $b'_i$  内の点  $A'_i$  及び  $B'_i$  の座標を算出し、

前記ひずみ算出手段は、線分  $A_i B_i$  の長さ  $l_i$  および線分  $A'_i B'_i$  の長さ  $l'_i$  に基づいて、線分  $A_i B_i$  方向のひずみ  $\varepsilon_i$  を求めて、さらに、全てのひずみ  $\varepsilon_i$  の相和平均を前記所定の領域のひずみとして算出する

ことを特徴とする請求項 11 に記載のプログラム。

#### 【請求項 13】

コンピュータにインストールされて、当該コンピュータを、

前記所定領域の表面高さを計測して得られた表面高さ分布から、前記所定領域の表面高

10

20

30

40

50

さの平均値以下の表面高さを全て前記平均値に置き換えて、前記当初表面高さ分布及び前記経時後表面高さ分布を得る溝部カット手段をさらに備える

ひずみ計測装置として機能させることを特徴とする請求項 1 1 または請求項 1 2 に記載のプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、物体のひずみを非接触で計測するひずみ計測方法、ひずみ計測装置およびプログラムに関する。

【背景技術】

10

【0002】

機械的な強度を要求される物体、例えば、橋梁、ダム、水門、その他の土木構造物、船舶の船殻、航空機の胴体、翼、原動機の架構、車両、各種プラント、その他の機械、あるいは機械要素、部品等の機械的強度を確認するために、載荷試験が行われる。一般に載荷試験は、試験対象の物体にひずみゲージや変位計を取り付けて、当該物体に生じる変位を計測して行う。

【0003】

また、物体にモニタ装置を取り付け、当該物体の変位やひずみを監視して、当該物体の機械的な強度の低下を検知することも行われている。機械的な強度の低下を検知して、致命的な破壊が発生する前に適切な修理を行えば、災害を防ぐことができるからである。

20

【0004】

例えば、特許文献 1 には、診断対象部材に光ファイバを取り付けて、対象部材上の特定の部位のひずみ履歴を連続的に監視する構造物の診断方法が開示されている。

【0005】

また、特許文献 2 には、船体構造体の多様な箇所光学ひずみセンサを配置して、船体構造体に加わる動的負荷を連続監視する方法が開示されている。

【0006】

また、特許文献 3 には、航空機の構造体に取り付けて、構造体に生じるひずみを検出する構造モニタリング用センサが開示されている。

【0007】

30

このように、物体の変位やひずみを監視するためには、物体にセンサを取り付ける必要があるが、特に大型構造物の場合、センサを取り付け、更にセンサの信号線を計測器やデータロガーまで配線する作業は煩雑なので、多くの経費を必要とする。また、大型構造物の監視は長期間にわたって行われるが、長期間に渡ってセンサを含むモニタ装置を保守するためには、多くの人手と経費を必要とする。

【0008】

そこで、本願発明者らは、被測定物の表面を撮像した画像を解析して被測定物のひずみを算出する方法を発明して、特許文献 4 において開示している。この方法に依れば、被測定物に固定されたセンサを必要としないので、上述したような問題は生じない。

【先行技術文献】

40

【特許文献】

【0009】

【特許文献 1】特開 2005 - 257570 号公報

【特許文献 2】特表平 10 - 511454 号公報

【特許文献 3】特表 2007 - 505309 号公報

【特許文献 4】特開 2007 - 170955 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

しかしながら、特許文献 4 に開示した方法は、CCDカメラ等で撮像した画像を使用す

50

るので、照明条件の影響を受けやすいという問題がある。特に被測定物が屋外にある場合、自然光（太陽光）が被測定物に照射されるが、自然光の照度や照射方向は季節、時刻あるいは天候によって変化するので、安定した計測ができない。つまり、照度や照射方向によって画像の質が変化するので、精度のよい計測が出来ないという問題がある。

【0011】

本発明は、上記課題に鑑みてなされたものであり、被測定物にセンサを固定する必要がなく、つまり非接触での計測が可能で、被測定物を受ける光の照度や照射方向の変化の影響を受けない、ひずみ計測方法、ひずみ計測装置およびプログラムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

10

【0012】

上記課題を解決するため、本発明に係るひずみ計測方法は、測定対象物の表面の所定領域に存在する不規則な凹凸面の表面高さを計測して得られた当初表面高さ分布から、前記所定領域内の点Aを包含する微小領域a及び、点Bを包含する微小領域bの表面高さ分布を抽出する微小領域抽出段階と、前記微小領域a及びbの表面高さの分布と、経時後に前記測定対象物の前記所定領域の表面高さを計測して得られた経時後表面高さ分布を照合して、前記微小領域aの表面高さ分布に最も近似する前記経時後表面高さ分布上の微小領域a'及び前記微小領域bの表面高さ分布に最も近似する前記経時後表面高さ分布上の微小領域b'を求める照合段階と、前記微小領域a及びbにおける前記点A及びBに対応する前記微小領域a'及びb'内の点A'及びB'の座標を算出する座標算出段階と、当初の線分ABの長さlと経時後の線分A'B'の長さl'を下式に代入して、線分AB方向のひずみεを算出するひずみ算出段階を有することを特徴とする。

20

【数1】

$$\varepsilon = \frac{l' - l}{l}$$

【0013】

前記微小領域抽出段階は、前記所定領域内の点A<sub>i</sub>及びB<sub>i</sub>（i = 1, 2, ..., n : nは2以上の正の整数、以下同じ）を包含する微小領域a<sub>i</sub>及びb<sub>i</sub>の表面高さ分布を前記当初表面高さ分布から抽出し、前記照合段階は、前記微小領域a<sub>i</sub>及びb<sub>i</sub>の表面高さの分布と、前記経時後表面高さ分布を照合して、前記微小領域a<sub>i</sub>及びb<sub>i</sub>の表面高さ分布に最も近似する前記経時後表面高さ分布上の微小領域a'<sub>i</sub>及びb'<sub>i</sub>を求め、前記座標算出段階は、前記微小領域a<sub>i</sub>及びb<sub>i</sub>における前記点A<sub>i</sub>及びB<sub>i</sub>に対応する前記微小領域a'<sub>i</sub>及びb'<sub>i</sub>内の点A'<sub>i</sub>及びB'<sub>i</sub>の座標を算出し、前記ひずみ算出段階は、線分A<sub>i</sub>B<sub>i</sub>の長さl<sub>i</sub>および線分A'<sub>i</sub>B'<sub>i</sub>の長さl'<sub>i</sub>に基づいて、線分A<sub>i</sub>B<sub>i</sub>方向のひずみε<sub>i</sub>を求めて、さらに、全てのひずみε<sub>i</sub>の相和平均を前記所定領域のひずみとして算出するようにしてもよい。

30

【0014】

前記ひずみ算出段階は、全てのひずみε<sub>i</sub>の中から異常値を除外して相和平均を算出するようにしてもよい。

40

【0015】

前記異常値は、例えば、事前に規定された範囲外の値である。

【0016】

全ての前記ひずみε<sub>i</sub>の最大値および最小値を前記異常値としてもよい。

【0017】

また、前記所定領域の表面高さを計測して得られた表面高さ分布の表面高さが平均値以下となる領域の表面高さを前記平均値に置き換える溝部カット段階をさらに有するようにしてもよい。

【0018】

50

また、前記測定対象物の前記所定領域を事前に加工して凹凸面を形成する所定領域加工段階をさらに有するようにしてもよい。

【0019】

本発明に係るひずみ計測装置は、測定対象物の表面の所定領域に存在する不規則な凹凸面の表面高さを計測して得られた当初表面高さ分布から、前記所定領域内の点Aを包含する微小領域a及び、点Bを包含する微小領域bの表面高さ分布を抽出する微小領域抽出手段と、前記微小領域a及びbの表面高さの分布と、経時後に前記測定対象物の前記所定領域の表面高さを計測して得られた経時後表面高さ分布を照合して、前記微小領域aの表面高さ分布に最も近似する前記経時後表面高さ分布上の微小領域a'及び前記微小領域bの表面高さ分布に最も近似する前記経時後表面高さ分布上の微小領域b'を求める照合手段と、前記微小領域a及びbにおける前記点A及びBに対応する前記微小領域a'及びb'内の点A'及びB'の座標を算出する座標算出手段と、当初の線分ABの長さlと経時後の線分A'B'の長さl'に基づいて、線分AB方向のひずみを算出するひずみ算出手段を備えることを特徴とする。

10

【0020】

前記微小領域抽出手段は、前記所定領域内の点 $A_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ :  $n$ は2以上の正の整数、以下同じ)を包含する微小領域 $a_i$ 及び、点 $B_i$ を包含する微小領域 $b_i$ の表面高さ分布を前記当初表面高さ分布から抽出し、前記照合手段は、前記微小領域 $a_i$ 及び $b_i$ の表面高さの分布と、前記経時後表面高さ分布を照合して、前記微小領域 $a_i$ 及び $b_i$ の表面高さ分布に最も近似する前記経時後表面高さ分布上の微小領域 $a'_i$ 及び $b'_i$ を求め、前記座標算出手段は、前記微小領域 $a_i$ 及び $b_i$ における前記点 $A_i$ 及び $B_i$ に対応する前記微小領域 $a'_i$ 及び $b'_i$ 内の点 $A'_i$ 及び $B'_i$ の座標を算出し、前記ひずみ算出手段は、線分 $A_i B_i$ の長さ $l_i$ および線分 $A'_i B'_i$ の長さ $l'_i$ に基づいて、線分 $A_i B_i$ 方向のひずみ $\epsilon_i$ を求めて、さらに、全てのひずみ $\epsilon_i$ の相和平均を前記所定の領域のひずみとして算出するようにしてもよい。

20

【0021】

前記所定領域の表面高さを計測して得られた表面高さ分布の表面高さが平均値以下となる領域の表面高さを前記平均値に置き換える溝部カット手段をさらに備えるようにしてもよい。

【0022】

本発明に係るプログラムは、コンピュータにインストールされて、当該コンピュータを、測定対象物の表面の所定領域に存在する不規則な凹凸面の表面高さを計測して得られた当初表面高さ分布から、前記所定領域内の点Aを包含する微小領域a及び、点Bを包含する微小領域bの表面高さ分布を抽出する微小領域抽出手段と、前記微小領域a及びbの表面高さの分布と、経時後に前記測定対象物の前記所定領域の表面高さを計測して得られた経時後表面高さ分布を照合して、前記微小領域aの表面高さ分布に最も近似する前記経時後表面高さ分布上の微小領域a'及び前記微小領域bの表面高さ分布に最も近似する前記経時後表面高さ分布上の微小領域b'を求める照合手段と、前記微小領域a及びbにおける前記点A及びBに対応する前記微小領域a'及びb'内の点A'及びB'の座標を算出する座標算出手段と、当初の線分ABの長さlと経時後の線分A'B'の長さl'に基づいて、線分AB方向のひずみを算出するひずみ算出手段を備えるひずみ計測装置として機能させることを特徴とする。

30

40

【0023】

前記微小領域抽出手段は、前記所定領域内の点 $A_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ :  $n$ は2以上の正の整数、以下同じ)を包含する微小領域 $a_i$ 及び、点 $B_i$ を包含する微小領域 $b_i$ の表面高さ分布を前記当初表面高さ分布から抽出し、前記照合手段は、前記微小領域 $a_i$ 及び $b_i$ の表面高さの分布と、前記経時後表面高さ分布を照合して、前記微小領域 $a_i$ 及び $b_i$ の表面高さ分布に最も近似する前記経時後表面高さ分布上の微小領域 $a'_i$ 及び $b'_i$ を求め、前記座標算出手段は、前記微小領域 $a_i$ 及び $b_i$ における前記点 $A_i$ 及び $B_i$ に対応

50

する前記微小領域  $a'_i$  及び  $b'_i$  内の点  $A'_i$  及び  $B'_i$  の座標を算出し、前記ひずみ算出手段は、線分  $A_i B_i$  の長さ  $l_i$  および線分  $A'_i B'_i$  の長さ  $l'_i$  に基づいて、線分  $A_i B_i$  方向のひずみ  $\epsilon_i$  を求めて、さらに、全てのひずみ  $\epsilon_i$  の相和平均を前記所定領域のひずみとして算出するようにしてもよい。

【0024】

本発明に係るプログラムは、コンピュータにインストールされて、当該コンピュータを前記所定領域の表面高さを計測して得られた表面高さ分布から、前記所定領域の表面高さの平均値以下の表面高さを全て前記平均値に置き換えて、前記当初表面高さ分布及び前記経時後表面高さ分布を得る溝部カット手段をさらに備えるひずみ計測装置として機能させるものであってもよい。

【発明の効果】

【0025】

本発明によれば、被測定物の表面の高さ分布に基づいて、ひずみを計測するので、被測定物が受ける光の照度や照射方向の変化の影響を受けない安定したひずみ計測が可能になる。また、被測定物にセンサやゲージを常設する必要がないので、センサやゲージを保守する手間が不要になる。

【図面の簡単な説明】

【0026】

【図1】本発明の実施形態の一例を示すひずみ計測システムの概念的な構成図である。

【図2】表面高さ計測器の概念的な構成図である。

【図3】表面高さ計測器によって得られる測定対象の表面高さ分布の概念図である。

【図4】表面高さ分布を示すデータマトリクスの概念図である。

【図5】コンピュータの概念的な構成図である。

【図6】計測対象の表面上の点の変位を推定する方法を説明する概念図である。

【図7】X軸方向のひずみ  $\epsilon_x$  を算出する方法を説明する概念図である。

【図8】Y軸方向のひずみ  $\epsilon_y$  を算出する方法を説明する概念図である。

【図9】XY軸の対角線方向のひずみ  $\epsilon_{xy}$  を算出する方法を説明する概念図である。

【図10】微小領域抽出処理プログラムの概略を示すフローチャートである。

【図11】所定領域と微小領域の関係を説明する概念図である。

【図12】照合処理プログラムの概略を示すフローチャートである。

【図13】サブセット  $a$  とサブセット  $a'$  の関係を説明する概念図である。

【図14】座標算出処理プログラムの概略を示すフローチャートである。

【図15】相関係数  $C$  の2次曲線補間を説明する概念図である。

【図16】ひずみ算出処理プログラムの概略を示すフローチャートである。

【図17】平均処理プログラムの概略を示すフローチャートである。

【図18】溝部カット処理を説明する概念図である。

【図19】溝部カット処理プログラムの概略を示すフローチャートである。

【図20】実験に使用した試験片等の構成を示す図である。

【図21】実験結果を示すグラフである。

【図22】溝部カット処理を行った実験結果を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0027】

以下、本発明を実施するための最良の形態を、適宜、図面を参照しながら説明する。

【0028】

本発明に係るひずみ計測システムは、例えば、図1に示すように構成される。つまり、ひずみ計測システム1は、表面高さ計測器2、データロガー3、及びコンピュータ4を備える。

【0029】

表面高さ計測器2は、測定対象5の表面の所定領域6の表面高さを計測する装置であり、その具体的な構成は後述する。

10

20

30

40

50

## 【0030】

データロガー3は、表面高さ計測器2で求めた所定領域6の表面高さ分布を示すデータを記録する装置である。なお、データロガー3の形式や構成等は特に限定されない。ひずみ計測システム1で処理されるデータを自由に書き込み/読み出すことが出来るような装置を公知の装置の中から選択すればよい。

## 【0031】

コンピュータ4は、表面高さ計測器2で計測され、データロガー3に記録された測定対象5の表面の所定領域6の表面高さ分布を解析して、所定領域6のひずみを算出する装置であり、その具体的な構成は後述する。

## 【0032】

さて、表面高さ計測器2は図2に示すように構成される。すなわち、表面高さ計測器2は、2次元レーザ変位計7と、精密送り装置8を備える。また、2次元レーザ変位計7はセンサヘッド9とコントローラ10とから構成される。

10

## 【0033】

2次元レーザ変位計7は、計測対象にレーザ光を照射する照射部と、前記計測対象で反射したレーザ光を撮像する撮像素子を備えて、前記撮像素子で撮像したレーザ光の画像に基づいて計測対象の表面の高さを計測するセンサである。なお、本実施形態で使用した2次元レーザ変位計の構成や原理については、例えば、特開2006-20399号公報、特開2006-45926号公報等に詳述されているので、説明を省略する。

## 【0034】

精密送り装置8は2次元レーザ変位計7を所定の微小距離だけ繰り返し移動させる装置であり、本実施形態ではマイクロメータを精密送り装置8として使用している。つまりマイクロメータのスピンドル8aの先端にセンサヘッド9を固定して、スピンドル8aを所定の微小長さだけ進退させてセンサヘッド9を移動させている。

20

## 【0035】

図3は、表面高さ計測器2によって得られる測定対象5の表面の所定領域6の表面高さ分布の概念図である。図3において、X軸は2次元レーザ変位計7が測定対象5に照射するレーザビームの幅方向に相当し、Y軸は精密送り装置8の送り方向に相当する。また、所定領域6の表面高さは、図示しないZ軸の座標で表示される。

## 【0036】

2次元レーザ変位計7は、X軸方向に3mmの幅を持つレーザビームを測定対象5に照射して、測定対象5で反射したレーザビームの画像を631個の画素に分解して、画素毎に測定対象5の高さ、つまりZ軸座標を算出することができる。したがって、2次元レーザ変位計7によれば、1回の計測で、測定対象5の表面に約4.8μmピッチでX軸方向に直列に並んだ631個の点のZ軸座標を得ることができ、得られた座標値は所定のフォーマットでデータロガー3に記録される。

30

## 【0037】

2次元レーザ変位計7による計測が1回完了したら(X軸方向に並んだ631個の点のZ軸座標が得られたら)、精密送り装置8を操作してセンサヘッド9をY軸方向に約5μm移動させて2次元レーザ変位計7による計測を行う。これを631回繰り返すと、測定対象5の表面に幅約3mm、高さ約3.2mmの広がりを持つ所定領域6にマトリクス状に配列された398,161(=631×631)個の点のZ軸座標がデータロガー3に記録される。つまり、所定領域6の表面高さの分布が、図4に示すような、398,161個のデータマトリクスの形でデータロガー3に記録される。

40

## 【0038】

さて、コンピュータ4は、例えば、図5に示すように構成される。すなわち、コンピュータ4は、中央処理装置11、記憶装置12、通信インターフェイス13、キーボード14、モニタ15等を備える。また、コンピュータ4はキーボード14によって操作されて、記憶装置12に記録されたプログラムを中央処理装置11が実行する。また、中央処理装置11は、該プログラムにしたがって、通信インターフェイス13を介してデータロガ

50



－ 3 からデータを読み出し、所定の処理を行って、その結果をモニタ 1 5 に表示し、記憶装置 1 2 に記録する。また、通信インターフェイス 1 3 を介して、当該処理の結果を図示しないプリンタに出力することができる。あるいは、当該処理の結果を図示しない他のコンピュータに送信することができる。

【 0 0 3 9 】

次に、ひずみ計測システム 1 の原理を簡単に説明する。

【 0 0 4 0 】

一般に、構造物は、面内に荷重が加わるように設計されるので、面外方向（板厚方向）のひずみは、面内方向のひずみに比べて十分小さい。例えば、測定対象 5 に X Y 平面内の荷重が加わる場合に、測定対象 5 は X Y 平面内で変形するが、Z 軸方向には殆ど変化しない。そのため、測定対象 5 の表面の微小領域は、その微小領域内で表面高さ分布を保ったまま、X Y 平面内で移動する。

10

【 0 0 4 1 】

したがって、図 6 に示すように、測定対象 5 に荷重を加える前に、所定領域 6 内の表面高さ分布を計測し、所定領域 6 内の点 A を包含する微小領域 a の表面高さ分布、及び所定領域 6 内の別の点 B を包含する微小領域 b（ここでは、点 A 及び B が、それぞれ微小領域 a 及び b の中心に位置するような微小領域 a 及び b を設定している）の表面高さ分布をそれぞれ求め、その後、測定対象 5 に荷重を加えた後の所定領域 6' 内の表面高さ分布を計測し、所定領域 6' 内で表面高さ分布が微小領域 a, b に最も近似する微小領域 a', b' を見つければ、所定領域 6 内の点 A, B が、微小領域 a における点 A 及び微小領域 b における点 B にそれぞれ対応する、微小領域 a' 内の点 A' 及び微小領域 b' 内の点 B'（ここでは、点 A' 及び B' は、それぞれ微小領域 a' 及び b' の中心に位置する）に移動したと推定できる。

20

【 0 0 4 2 】

そして、荷重を加える前の所定領域 6 内の点 A, B 間の距離、つまり線分 A B の長さを l、荷重を加えた後の所定領域 6' 内の点 A', B' 間の距離、つまり線分 A' B' の長さを l' とすると、荷重の印加によって点 A, B 間に生じたひずみ  $\varepsilon$  は、は次式で得られる。

【 0 0 4 3 】

【数 2】

$$\varepsilon = \frac{l' - l}{l}$$

30

【 0 0 4 4 】

また、図 7 に示すように、点 A, B が X 軸方向に並ぶように選べば、X 軸方向のひずみ  $\varepsilon_x$  は次式で得られる。

【 0 0 4 5 】

【数 3】

$$\varepsilon_x = \frac{l'_x - l_0}{l_0}$$

40

【 0 0 4 6 】

また、図 8 に示すように、点 A, B が Y 軸方向に並ぶように選べば、Y 軸方向のひずみ  $\varepsilon_y$  は次式で得られる。

【 0 0 4 7 】

50

【数4】

$$\varepsilon_y = \frac{l'_y - l_0}{l_0}$$

【0048】

また、図9に示すように、点A、BがXY軸の対角線方向に並ぶように選べば、対角線方向のひずみ  $\varepsilon_{xy}$  は次式で得られる。

【0049】

【数5】

$$\varepsilon_{xy} = \frac{l'_{xy} - l_{00}}{l_{00}}$$

10

20

【0050】

また、 $\varepsilon_x$ 、 $\varepsilon_y$ 、 $\varepsilon_{xy}$  が得られれば、主ひずみ  $\varepsilon_{max}$  が次式で得られる。

【0051】

【数6】

$$\gamma_{max} = \sqrt{2\{(\varepsilon_x - \varepsilon_{xy})^2 + (\varepsilon_y - \varepsilon_{xy})^2\}}$$

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{2}(\varepsilon_x + \varepsilon_y + \gamma_{max})$$

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{2}(\varepsilon_x + \varepsilon_y - \gamma_{max})$$

30

【0052】

また、同様な手順を経て、所定領域6内の複数の点  $A_i$ 、 $B_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$  :  $n$  は2以上の正の整数) が、荷重を加えた後に点  $A'_i$ 、 $B'_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) に移動することを知らせて、線分  $A_i B_i$  の長さ  $l_i$  及び線分  $A'_i B'_i$  の長さ  $l'_i$  から、ひずみ  $\varepsilon_i$  を求めて、ひずみ  $\varepsilon_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) の総和を  $n$  で除して求めた、ひずみ  $\varepsilon_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) の相和平均  $\varepsilon_{mean}$  で所定領域6のひずみを代表させてもよい。

【0053】

なお、上記方法では、線分  $AB$  および線分  $A'B'$  の長さだけに基づいて、ひずみ  $\varepsilon$  を算出するので、線分  $AA'$  および線分  $BB'$  の長さはひずみ  $\varepsilon$  の値に影響しない(図6参照)。そのため、表面高さ計測器2と測定対象5の相対位置の再現性はひずみ  $\varepsilon$  の計測精度には影響しない。したがって、測定対象5に荷重を加える前に、表面高さ計測器2を測定対象5に固定して、所定領域6内の高さ分布を計測し、その後、表面高さ計測器2を測定対象5から取り外し、経時後に、再度、表面高さ計測器2を測定対象5に固定する場合に、表面高さ計測器2は、表面高さ計測器2の検出範囲内に所定領域6が包含される程度の精度で位置決めされれば十分である。表面高さ計測器2の測定対象5に対する相対位置が多少ずれて、線分  $AA'$  及び線分  $BB'$  の長さが変動しても、線分  $AB$  及び線分  $A'B'$  の長さは変動しないからである。

40

50

## 【 0 0 5 4 】

また、所定領域 6 の表面の高さ（Z 座標）は、表面高さ計測器 2 に固定された座標で表示されるが、例えば所定領域 6 の表面の高さの平均を求めて、該平均を基準とする相対的な高さで、所定領域 6 の表面の高さ分布を表示するにすれば、表面高さ計測器 2 の測定対象 5 に対する相対高さは、所定領域 6 の表面の高さ分布の表示に影響を与えない。そのため、表面高さ計測器 2 を測定対象 5 に取り付ける時の高さ方向（Z 軸方向）の相対位置の再現性はひずみ の計測精度には影響しない。

## 【 0 0 5 5 】

さて、上記の原理に基づいて、所定領域 6 の表面高さ分布から測定対象 5 のひずみ を算出するために、コンピュータ 4 の記憶装置 1 2 に次のようなプログラムがインストールされ、中央処理装置 1 1 がこれらを実行する。

## 【 0 0 5 6 】

- ( 1 ) 微小領域抽出処理プログラム
- ( 2 ) 照合処理プログラム
- ( 3 ) 座標算出処理プログラム
- ( 4 ) ひずみ算出処理プログラム
- ( 5 ) 平均処理プログラム
- ( 6 ) 溝部カット処理プログラム

## 【 0 0 5 7 】

以下、各プログラムの概略フローを説明する。

## 【 0 0 5 8 】

## [ 微小領域抽出処理プログラム ]

微小領域抽出処理プログラムは、測定対象 5 に荷重が印加される前に計測された所定領域 6 の表面高さ分布（初期表面高さ分布）から、所定領域 6 内の点 A , B の近傍の微小領域 a、b の表面高さの分布を抽出するプログラムであり、おおよそ、図 1 0 に示すような処理が実行される。

## 【 0 0 5 9 】

まず点 A の座標（x、y）が入力される（ステップ S 1 1）。なお、座標（x、y）の入力はキーボード 1 4 を使って手動で、あるいは上位のプログラムから自動で行われる。

## 【 0 0 6 0 】

次に、図 1 1 に示すように、所定領域 6 全体の初期表面高さ分布を示すデータマトリクスから、座標（x、y）の近傍の微小領域 a に属するデータマトリクスを抽出する（以下、微小領域 a に属するデータマトリクスを「サブセット a」と呼ぶ）。例えば、サブセット a の大きさを 4 行 4 列とする場合に、所定領域 6 の初期表面高さ分布を示す 6 3 1 行 6 3 1 列のデータマトリクスの座標（x、y）の上方の 2 行から下方の 2 行まで、および左方の 2 列から右方の 2 列の範囲にある要素を取り出してしてサブセット a を抽出する（ステップ S 1 2）。

## 【 0 0 6 1 】

最後に、サブセット a を記憶装置 1 2 に格納して（ステップ S 1 3）、微小領域抽出処理プログラムを終了する。

## 【 0 0 6 2 】

## [ 照合処理プログラム ]

照合処理プログラムは、微小領域抽出処理プログラムで抽出されたサブセット a と、測定対象 5 に荷重が印加された後に計測された所定領域 6 の表面高さ分布（経時後表面高さ分布）を照合して、サブセット a に最も近似する前記経時後表面高さ分布上のサブセット a' を求めるプログラムであり、おおよそ、図 1 2 に示すような処理が実行される。

## 【 0 0 6 3 】

まず、記憶装置 1 2 からサブセット a を読み出す（ステップ S 2 1）。次に、経時後表面高さ分布を示すデータマトリクスから、サブセット  $a_i$  を切り出して（ステップ S 2 2）、サブセット a との近似性を評価する（ステップ S 2 3）。

## 【 0 0 6 4 】

サブセット  $i$  とサブセット a との近似性の評価は、経時後表面高さ分布を示すデータマトリクスに含まれる全てのサブセット  $i$  について行われ、全てのサブセット  $i$  の近似性の評価が終わったら（ステップ S 2 4 : Yes）、ステップ S 2 5 に進み、サブセット a との近似性が最大になるサブセット  $i$ 、つまりサブセット a に最も近似するサブセット  $i$  をサブセット a' に決定する。

## 【 0 0 6 5 】

そして、サブセット a' を記憶装置 1 2 に格納して（ステップ S 2 6）、照合処理プログラムを終了する。

## 【 0 0 6 6 】

なお、サブセットの近似性の評価には、次に示すような相関計数 C を使用する。

## 【 0 0 6 7 】

すなわち、図 1 3 に示すように、サブセット a の中心座標を P ( X , Y )、サブセット a' の中心座標を P' ( X + u , Y + v ) とすると、サブセット a に対するサブセット a' の相関係数 C は次式で表される。

## 【 0 0 6 8 】

## 【数 7】

$$C(X+u, Y+v) = \sum_{j=-M}^M \sum_{i=-M}^M |Zd(X+u+i, Y+v+j) - Zu(X+i, Y+j)| \quad 20$$

## 【 0 0 6 9 】

ここで、 $Zu(X+i, Y+j)$  および  $Zd(X+u+i, Y+v+j)$  はサブセット a およびサブセット a' の対応する点の高さ（Z 座標値）である。なお M は、サブセット a およびサブセット a' の大きさを N 行 N 列とする場合に、 $M = 2N - 1$  となる整数である。つまり、相関係数 C は、サブセット a およびサブセット a' の対応する点の高さ（Z 座標値）の差の絶対値の総和であり、相関係数 C が小さいほどサブセット a に対するサブセット a' の近似性が高いと言える。

## 【 0 0 7 0 】

したがって、全ての u , v について、相関係数 C を算出して、相関係数 C を最小にする u , v を決定すれば、サブセット a に最も近似するサブセット a' を決定することができる。

## 【 0 0 7 1 】

あるいは、次式に示すような相関係数 C を使用してもよい。

## 【 0 0 7 2 】

## 【数 8】

$$C(X+u, Y+v) = 1 - \frac{\sum_{j=-M}^M \sum_{i=-M}^M Zd(X+u+i, Y+v+j) \times \sum_{j=-M}^M \sum_{i=-M}^M Zu(X+i, Y+j)}{\sqrt{\left(\sum_{j=-M}^M \sum_{i=-M}^M Zd(X+u+i, Y+v+j)\right)^2 \times \left(\sum_{j=-M}^M \sum_{i=-M}^M Zu(X+i, Y+j)\right)^2}} \quad 40$$

## 【 0 0 7 3 】

## [ 座標算出処理プログラム ]

座標算出処理プログラムは、サブセットの中心の点の座標を算出するプログラムであり、おおよそ、図 1 4 に示すような処理が行われる。すなわち、まず記憶装置 1 2 から、例えばサブセット a' を読み出す（ステップ S 3 1）。次に、サブセット a' の中心の点 A' の座標 ( x' , y' ) を算出して（ステップ S 3 2）、座標 ( x' , y' ) を記憶装置

10

20

30

40

50

12に格納して(ステップS33)、処理を終える。

【0074】

さて、測定対象5に荷重を加える前に、座標(x、y)の位置にあった点Aが、サブセットa'の中心の点A'に変位すると仮定して、点A'の座標(x'、y')を求めたが、図15に示すように、離散的に得られる相関係数C(X+u-1, Y+v-1)、C(X+u, Y+v)、C(X+u+1, Y+v+1)の間を2次曲線で近似補間して、相関係数Cが最小となる点Eの座標を点A'の座標(x'、y')としてもよい。このような近似補間を行えば、精度の高い変位の推定ができる。

【0075】

[ひずみ算出処理プログラム]

ひずみ算出処理プログラムは、照合処理プログラムと座標算出処理プログラムを実行して、測定対象5に荷重を加える前に所定範囲6にあった点A、Bが、測定対象5に荷重を加えると点A'、B'に移動することを知らせて、測定対象5の線分AB方向のひずみを算出するプログラムであり、おおよそ、図16に示すような処理が行われる。

【0076】

すなわち、まず記憶装置12から点A、B及び点A'、B'の座標を読み出す(ステップS41)。次に、線分ABの長さlを算出し(ステップS42)、線分A'B'の長さl'を算出する(ステップS43)。

【0077】

そして、次式にしたがって、測定対象5の線分AB方向のひずみεを算出し(ステップS44)、結果を記憶装置12に格納し(ステップS45)、処理を終える。

【0078】

【数9】

$$\varepsilon = \frac{l' - l}{l}$$

【0079】

[平均処理プログラム]

平均処理プログラムは、所定領域6内の複数の線分A<sub>i</sub>B<sub>i</sub>(i=1, 2, ..., n: nは2以上の正の整数)方向のひずみε<sub>i</sub>を求めて、それらの相和平均を算出するプログラムであり、おおよそ、図17に示すような処理が行われる。

【0080】

すなわち、微小領域抽出処理プログラムからひずみ算出処理プログラムを繰り返し実行して、ひずみε<sub>i</sub>(i=1, 2, ..., n)を算出し(ステップS51)、ε<sub>i</sub>(i=1, 2, ..., n)の総和をnで除して相和平均meanを算出し(ステップS52)、結果を記憶装置12に格納し(ステップS53)、処理を終える。

【0081】

さて、計測時のエラー等によって、ε<sub>i</sub>(i=1, 2, ..., n)に異常な値が含まれる場合がある。このような場合にε<sub>i</sub>(i=1, 2, ..., n)をそのまま総和して、相和平均meanを算出すると、相和平均meanの値も真の値からずれてしまう。そこで、閾値を定めて、その閾値を超えるようなε<sub>i</sub>(i=1, 2, ..., n)を相和平均mean算出の対象から除外すれば、相和平均meanの信頼性が向上する。

【0082】

あるいは、ε<sub>i</sub>(i=1, 2, ..., n)の最大値と最小値を除外して、相和平均meanを算出するようにしてもよい。

【0083】

[溝部カット処理プログラム]

ひずみ計測システム1では、縦横約3mmの所定範囲6内の398, 161(=631×631)個の点の高さを表面高さ計測器2で計測して、所定範囲6の表面高さ分布を取

10

20

30

40

50

得するが、所定範囲6の表面高さが低い部位（溝部）の測定値に異常値が混じる場合がある。この異常値は、2次元レーザ変位計7の特性に起因するものであり、排除することは難しい。そのため、所定範囲6の表面高さが低い部位の測定値は信頼性が低いという問題がある。

【0084】

そこで、図18に示すように、表面高さ計測器2で計測した所定範囲6の表面高さ分布を溝部カット処理プログラムで処理して、所定領域6の表面高さの平均値を算出し、表面高さが前記平均値以下である部位の表面高さを全て前記平均に置き換えれば、上記の問題を解決できる。

【0085】

溝部カット処理プログラムは、おおよそ、図19に示すような処理を行う。すなわち、所定範囲6の表面高さの平均値 $Z_{mean}$ を算出し（ステップS61）、所定範囲6の表面高さ分布を示すデータマトリクスの要素 $Z$ が $Z_{mean}$ 以下ならば、 $Z$ の値を $Z_{mean}$ に置き換え（ステップS62）、その結果を記憶装置12に格納して（ステップS63）、処理を終える。

【0086】

[実施例（実験）]

図20に示すように、ひずみゲージ16を貼り付けた試験片17を精密バイス18で挟んで、試験片17に圧縮荷重を加え、その時に試験片17に生じるひずみを、ひずみ計測システム1とひずみゲージ16で計測して、両者の測定値を比較した。

【0087】

なお、試験片17は、10mm角のアルミニウム（JIS A6063）の角棒を長さ25mmに切断したものである。また、試験片17の表面には、平ノミをほぼ平行に繰り返し打ち付けて、凹凸面19を形成している。この凹凸面19の表面高さ分布を、ひずみ計測システム1の表面高さ計測器2で計測した。

【0088】

図21は、横軸にひずみゲージ16による計測値を取り、縦軸にひずみ計測システム1による計測値を取って、実験結果（黒い正方形のマーク）をプロットした図である。実験結果が図の対角線（破線）に並べば、ひずみ計測システム1による測定値とひずみゲージ16による測定値が一致していることになる訳だが、図21は両者が良く一致していることを示している。

【0089】

また、ひずみ計測システム1の表面高さ計測器2で計測した凹凸面19の表面高さ分布に、前述した溝部カット処理を行って、試験片17のひずみを求めた結果とひずみゲージ16による測定値の関係を図22に示す。

【0090】

図22と図21を比較すれば、表面高さ分布に溝部カット処理を行うと、ひずみ計測システム1による測定値とひずみゲージ16による測定値がさらに良く一致する、つまりひずみ計測システム1の計測精度が向上することが解る。

【0091】

なお、本明細書では、点A、B、A'、B'がそれぞれ微小領域a、b、a'、b'の中心に位置する例を示したが、点A、B、A'、B'は微小領域a、b、a'、b'の中心以外の位置にあってもよい。例えば、点A及びBがそれぞれ微小領域a及びbの幅（行方向寸法）の70%、高さ（列方向寸法）の30%の場所に位置するように微小領域a及びbを設定してもよい。この場合、点A'及びB'がそれぞれ微小領域a'及びb'において占める位置は、点A及びBが微小領域a及びbにおいて占める位置に対応するから、点A'及びB'の座標はそれぞれ微小領域a'及びb'の幅（行方向寸法）の70%、高さ（列方向寸法）の30%の位置に定められる。

【0092】

以上説明したように、本発明によれば、物体の表面の高さを計測して得られた当該物品

10

20

30

40

50

の表面高さ分布に基づいて、当該物体の表面のひずみを計測するので、当該物品の表面にゲージやセンサ等を取り付ける必要がない。

【0093】

そのため、特に、屋外に設置される大型構造物のひずみを長期間に渡って計測するような場合、ゲージやセンサ等の耐久性を考える必要がないので、計測が容易になる。

【0094】

また、本発明によれば、計測対象の物品に計測用のリードやケーブル等を配線する必要がない。そのため、例えば、回転機械のロータ部のような配線が困難な部位のひずみ計測に特に適している。

【0095】

本発明の具体的な適用対象を例示すると、橋梁（例えば、橋桁の応力集中部）、車両（例えば車軸）、船舶（例えば、重要な構造部材）、航空機（例えば、主翼の桁部）、原動機（例えば、タービンの動翼）などの予防保全などが挙げられる。

【0096】

なお、本明細書では、試験片17に平ノミを当てて凹凸面19を形成した例、つまり、人為的、意図的に凹凸が形成された表面の高さ分布から、ひずみを求める例を示したが、本発明の適用対象はこのような物体には限定されない。本発明によれば、人為的、意図的に形成された凹凸面だけでなく、物体の素材が本来備えている不規則かつ微細な凹凸（表面高さ）に基づいて、ひずみを計測することができる。

【0097】

あるいは、ひずみ計測の対象となる部位を事前に加工して、本発明のひずみ計測に適した凹凸面を形成するようにしてもよい。

【0098】

また、物品の表面の微細な凹凸を計測する技術の進歩発展により、本発明が応用される分野は、さらに広がると考えられる。

【0099】

また、本明細書では、精密送り装置8（マイクロメーター）を手動で操作して、2次元レーザ変位計7のセンサヘッド9を移動させて、所定領域6の表面高さ分布を取得する例を示したが、本発明の技術的範囲は、このような装置で取得された表面高さ分布を利用するものには限定されない。各種の装置・方法で取得された表面高さ分布を使用して、本発明を実施することができる。

【0100】

例えば、精密送り装置8に電子的に制御される精密アクチュエータを使用して、2次元レーザ変位計7と精密送り装置8をコンピュータ4に制御させて、所定領域6の表面高さ分布を自動的に計測できるようにしてもよい。

【符号の説明】

【0101】

- 1 ひずみ計測システム
- 2 表面高さ計測器
- 3 データロガー
- 4 コンピュータ
- 5 測定対象
- 6 所定領域
- 7 2次元レーザ変位計
- 8 精密送り装置
- 9 センサヘッド
- 10 コントローラ
- 11 中央処理装置
- 12 記憶装置
- 13 通信インターフェイス

10

20

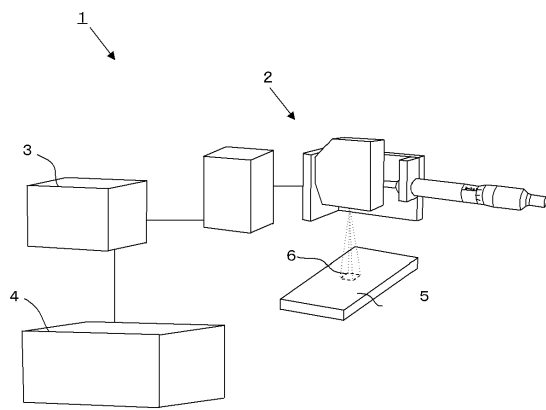
30

40

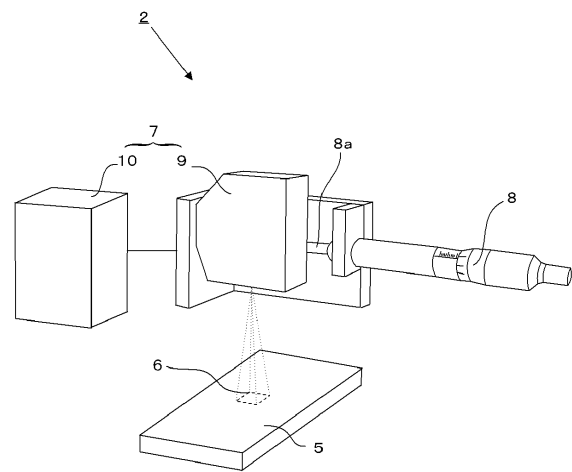
50

- 14 キーボード
- 15 モニタ
- 16 ひずみゲージ
- 17 試験片
- 18 精密バイス
- 19 凹凸面

【図1】

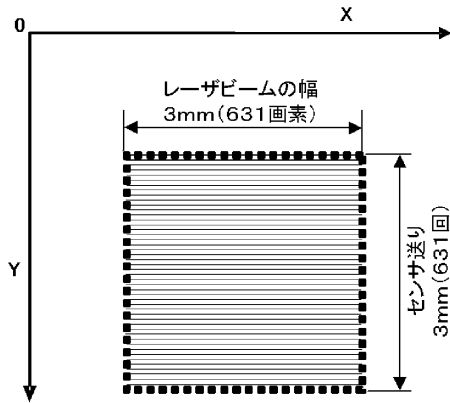


【図2】

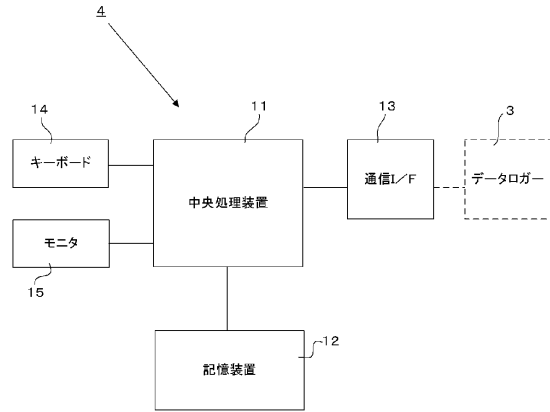




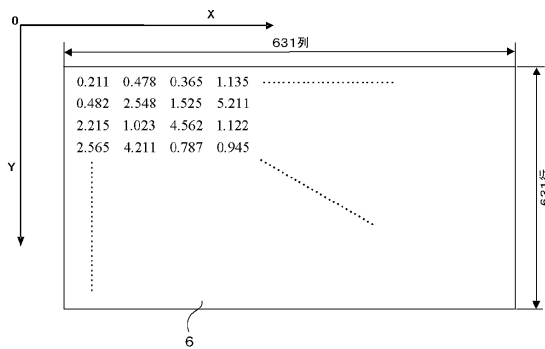
【図3】



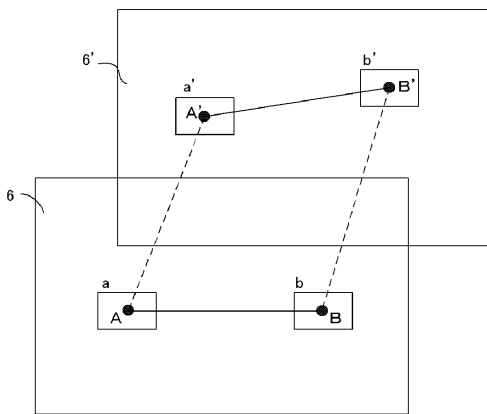
【図5】



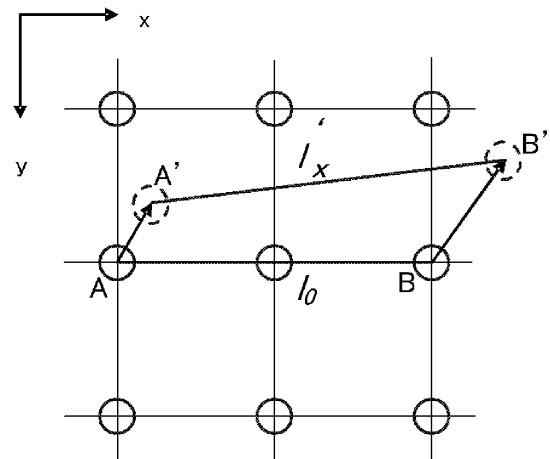
【図4】



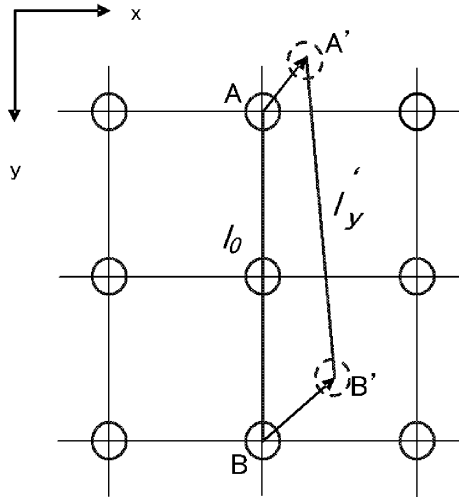
【図6】



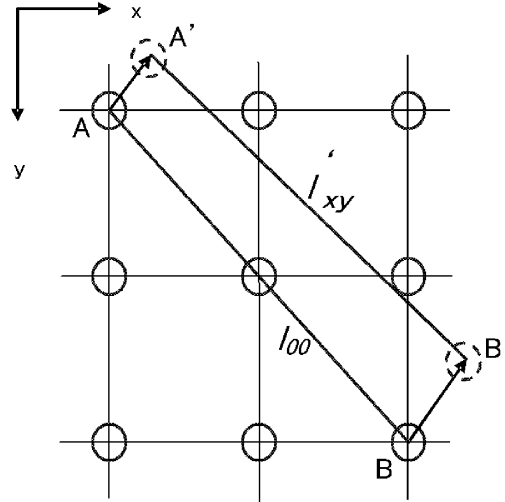
【図7】



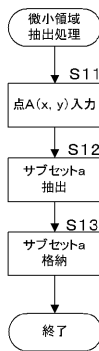
【図 8】



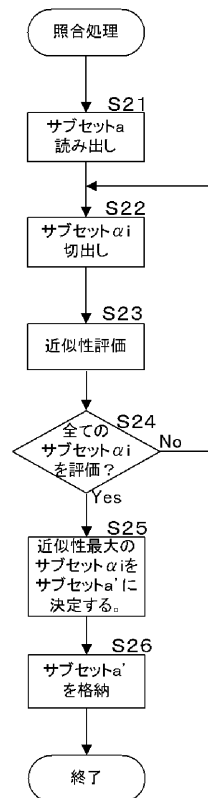
【図 9】



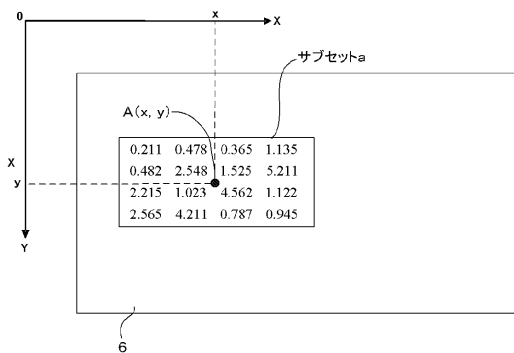
【図 10】



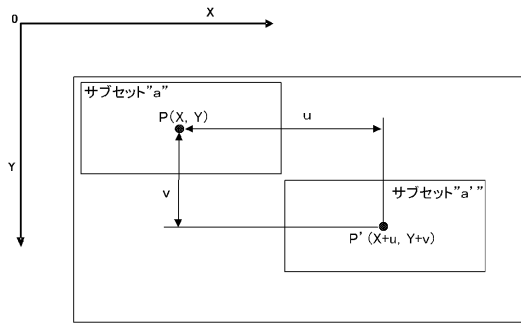
【図 12】



【図 11】



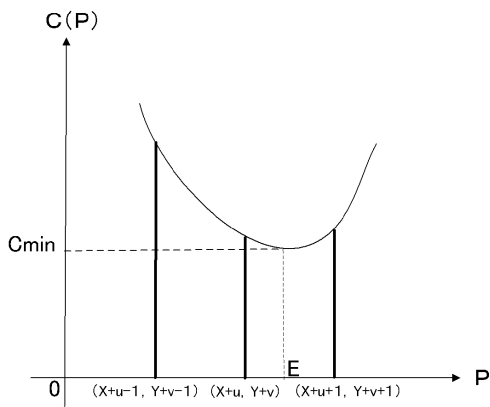
【図13】



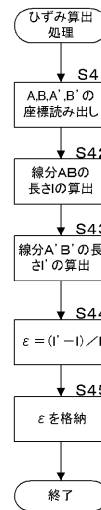
【図14】



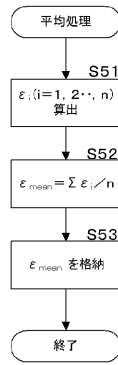
【図15】



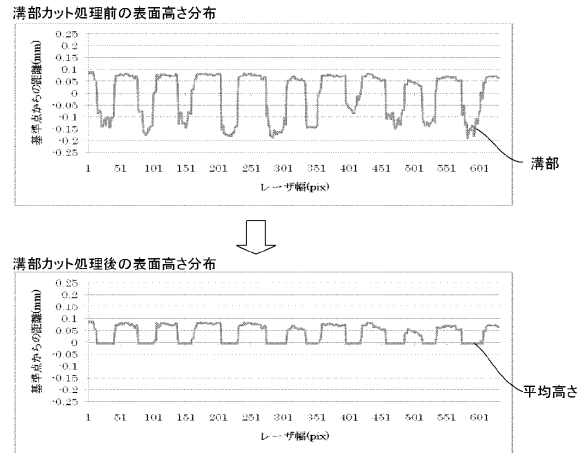
【図16】



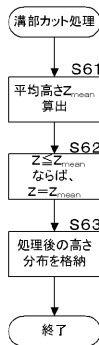
【図17】



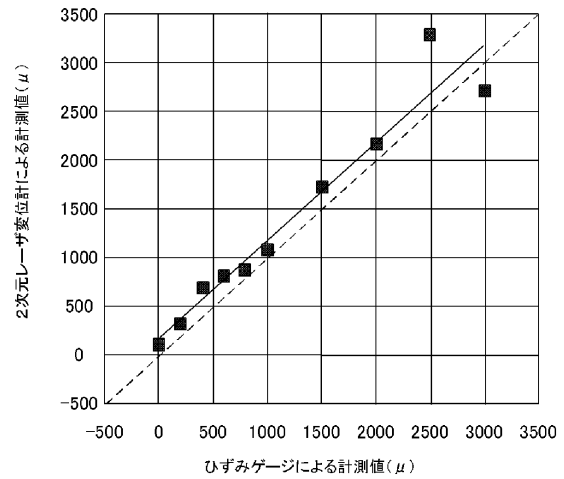
【図18】



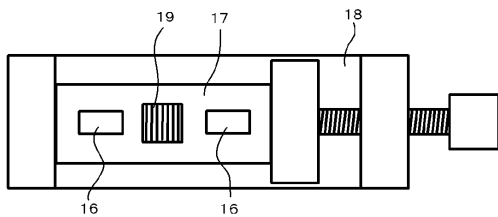
【図19】



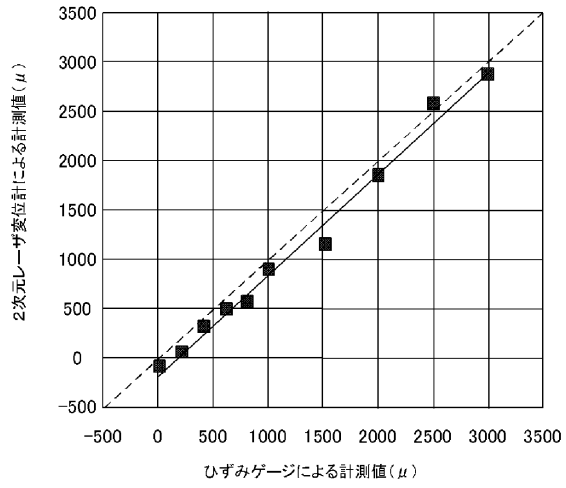
【図21】



【図20】



【図 22】



## フロントページの続き

- (72)発明者 井上 賢優  
佐賀県佐賀市本庄町1番地 国立大学法人佐賀大学内
- (72)発明者 松田 浩  
長崎県長崎市文教町1-14 国立大学法人 長崎大学内
- (72)発明者 内野 正和  
福岡県北九州市八幡東区祇園原町16番5号

審査官 梶田 真也

- (56)参考文献 特開平10-170234(JP,A)  
特開2000-222585(JP,A)  
特開2007-333508(JP,A)  
特開平07-169812(JP,A)  
特開平06-018223(JP,A)  
特開昭63-191005(JP,A)  
特開平08-147304(JP,A)  
特開2006-261969(JP,A)  
特開2007-170955(JP,A)  
特開2000-251059(JP,A)  
特開2007-003380(JP,A)  
特開2000-227959(JP,A)  
特開2004-117204(JP,A)  
特開平11-045349(JP,A)  
特開平11-025263(JP,A)

## (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B	11/00	-	11/30
G01B	5/00	-	5/30
G01B	21/00	-	21/32
G06T	1/00	-	1/40
G06T	3/00	-	5/50
G06T	9/00	-	9/40
G06T	11/60	-	13/80
G06T	17/05		
G06T	19/00	-	19/20