

(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2007-333647
(P2007-333647A)

(43) 公開日 平成19年12月27日(2007.12.27)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 B 11/00 (2006.01)	GO 1 B 11/00 H	2 F 0 6 5
GO 6 T 1/00 (2006.01)	GO 6 T 1/00 3 0 0	5 B 0 5 7
GO 6 T 7/20 (2006.01)	GO 6 T 7/20 A	5 L 0 9 6
GO 1 B 11/16 (2006.01)	GO 1 B 11/16 H	
GO 1 B 11/26 (2006.01)	GO 1 B 11/26 H	

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2006-167873 (P2006-167873)	(71) 出願人 305060567 国立大学法人富山大学 富山県富山市五福3190
(22) 出願日 平成18年6月16日(2006.6.16)	(74) 代理人 100090206 弁理士 宮田 信道
特許法第30条第1項適用申請有り 平成18年2月21日に富山大学大学院理工学研究科博士前期課程機械知能システム工学専攻修士論文発表会にて発表	(72) 発明者 田代 発造 富山県富山市五福3190 国立大学法人富山大学内
	Fターム(参考) 2F065 AA01 AA31 AA65 BB11 DD03 FF04 QQ17 QQ21 QQ24 QQ25 QQ28 QQ31 QQ33 QQ38 RR09 UU05 5B057 BA02 CA08 CA12 CA16 CE06 DA07 DA16 DC01 DC34 5L096 CA04 DA02 EA13 EA14 EA16 EA17 FA34 FA67 FA69 HA02

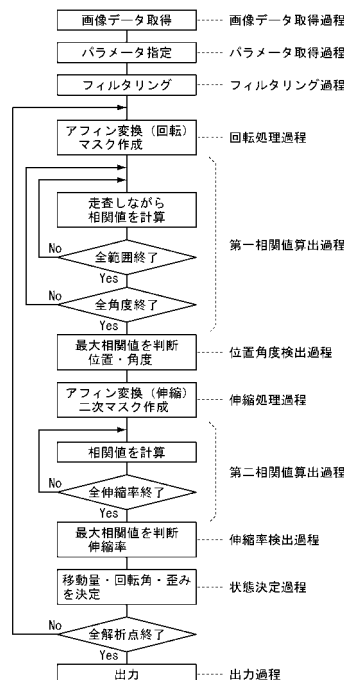
(54) 【発明の名称】 画像処理方法、画像処理装置および画像処理プログラム

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 画像相関法による変位、変形、歪みを測定する画像処理方法、画像処理装置および画像処理プログラムの提供。

【解決手段】 対象物Tの変化前後の画像データ取得過程と微小領域4の大きさと解析点3の移動量解析範囲5回転角解析範囲6および歪み解析範囲7の数値データのパラメータ取得過程と微小領域4をアフィン変換によりマスク8を生成する回転処理過程と各マスク8を走査しながら変化後画像データ2との相関値を計算する第一相関値算出過程と、最大相関値となる位置および角度を検出する位置角度検出過程と、最大相関値を示すマスク8をアフィン変換により伸縮させた二次マスク9を生成する伸縮処理過程と各二次マスク9と変化後画像データ2との第二相関値算出過程と最大相関値となる伸縮率を検出する伸縮率検出過程と最大相関値を与える位置、角度および伸縮率から解析点の移動量、回転角および歪みを決定する状態決定過程からなる画像処理方法。

【選択図】 図4



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

画像データ取得手段(101)が対象物(T)の変化前画像データ(1)および変化後画像データ(2)を受け付ける画像データ取得過程と、

パラメータ取得手段(102)が変化前画像データ(1)上の解析点(3)の座標および解析点(3)を中心とする微小領域(4)の大きさならびに解析点(3)の移動量解析範囲(5)、回転角解析範囲(6)および歪み解析範囲(7)の数値データを受け付けるパラメータ取得過程と、

回転処理手段(103)が微小領域(4)をアフィン変換により回転角解析範囲(6)において所定角度ずつ回転させたマスク(8)を生成する回転処理過程と、

第一相関値算出手段(104)が変化後画像データ(2)上の移動量解析範囲(5)において各マスク(8)を走査しながら変化後画像データ(2)との相関値を計算する第一相関値算出過程と、

位置角度検出手段(105)が最大相関値となる位置および角度を検出する位置角度検出過程と、

伸縮処理手段(106)が最大相関値を示すマスク(8)をアフィン変換により歪み解析範囲(7)において所定伸縮率ずつ伸縮させた二次マスク(9)を生成する伸縮処理過程と、

第二相関値算出手段(107)が各二次マスク(9)と変化後画像データ(2)との相関値を計算する第二相関値算出過程と、

伸縮率検出手段(108)が最大相関値となる伸縮率を検出する伸縮率検出過程と、

状態決定手段(109)が最大相関値を与える位置、角度および伸縮率から、それぞれ解析点の移動量、回転角および歪みを決定する状態決定過程と、
を備えることを特徴とする画像処理方法。

【請求項 2】

前記微小領域(4)の形状が、円形であることを特徴とする請求項1記載の画像処理方法。

【請求項 3】

連続体上の複数点についての変位、変形および歪みの解析を行う場合において、

解析範囲決定手段(110)が解析しようとする現解析点の移動量、回転角および歪みのうち少なくとも一つについて、現解析点の近傍の点ですでに解析した前解析点の移動量、回転角および歪みの値を基準とした相対的な解析範囲を定める解析範囲決定過程を備えることを特徴とする請求項1又は2記載の画像処理方法。

【請求項 4】

変化前および変化後の対象物(T)を撮像し、変化前画像データ(1)および変化後画像データ(2)として出力する撮像手段(200)と、

請求項1、2又は3記載の画像処理方法を実行する画像処理手段(100)と、
を備えることを特徴とする画像処理装置。

【請求項 5】

コンピュータに、

請求項1、2又は3記載の画像処理方法を実行させることを特徴とする画像処理プログラム。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、対象物の変化前と変化後の二枚の画像の相関値を求め最大となった点を移動先とみなす画像相関法により、対象物の変位、変形および歪みを測定する画像処理方法、画像処理装置および画像処理プログラムに関するものである。

【背景技術】**【0002】**

10

20

30

40

50

従来、物体の変位・変形を画像処理によって求める方法として、画像相関法が用いられている。画像相関法は、変化前と変化後の二枚の画像を用い、一方の画像データ上で他方の画像データの部分領域（基準画像）を走査させながら相関値を計算し、最大相関値が得られる点に基準画像が存在するとみなすものであり、二次元画像の変位量測定では、基準画像を二次元方向に走査させることで二次元の変位量を導き出すことができる。このような画像による測定は、接触式による測定が不可能な測定対象や、測定範囲や測定点の数が多いときに有効である。

ところで、一般に画像相関法による測定では、測定対象が並進運動する場合を前提に解析が行われていた（例えば、特許文献1）。そのため、測定対象が大きく変形し、回転やせん断変形、伸縮等の変形を伴っている場合には解析を行うことが困難であった。

10

【特許文献1】特開平8-166208号公報

【0003】

そこで発明者らは、画像相関法において基準画像を幾何学変換により回転させる手法を提案している（非特許文献1）。この手法は、基準画像をある角度ずつ回転させその都度走査させることを繰り返すもので、従来の並進運動のみを考慮する手法では対象が10度程度回転すると解析不能になっていたところ、この手法では30度回転した場合でもおおむね解析が可能である。

また、画像相関法による処理を行う際に、対象画像にアフィン変換を施す発明が提案されている（特許文献2）。ここでアフィン変換とは、平行移動、回転、左右反転、拡大/縮小、せん断の組み合わせによる座標変換である。ただし特許文献2においては、平行移動、回転、拡大/縮小（x方向およびy方向に同じ倍率）のみを考慮している。この発明は、対象物の画像データ上を走査してあらかじめ登録されたモデル画像との相関値を求めるもので、アフィン変換のパラメータを変化させながら走査を所定回数繰り返し、最大相関値となる点を導き出す。さらに、何度もアフィン変換することを避けるため、対象を二値化処理して主軸角を求め、それに基づきアフィン変換のパラメータを定める。

20

【非特許文献1】廣瀬、田代、園田、野村、神谷、「2次元幾何学変換を用いた画像処理による変位測定に関する研究」、精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集、2004年、p.1083-1084

【特許文献2】特開平7-220026号公報

【発明の開示】

30

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、非特許文献1の手法においては、基準画像の変換に際して回転しか考慮されていなかったため、連続体を対象とした場合、変形を伴わない移動や回転および連続体の微小部分は歪まないといふ小変形については解析可能であったが、微小部分の歪みまで考慮して解析することは不可能であった。

また、特許文献2の発明は、あらかじめ登録されたモデル画像により対象物の認識および位置の計測を行うものであり、連続体の変形を対象とすることはできなかつた。さらに、主軸角からアフィン変換のパラメータを定める方法も、連続体の変形を計測するような場合には一つの主軸角を定めることができず、用いることができなかつた。

40

【0005】

本発明は、上記事情を鑑みたものであり、主に連続体を対象とし、画像相関法によりその変位、変形および歪みを測定することができる画像処理方法、画像処理装置および画像処理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】

【0006】

本発明のうち請求項1の発明は、画像データ取得手段が対象物の変化前画像データおよび変化後画像データを受け付ける画像データ取得過程と、パラメータ取得手段が変化前画像データ上の解析点の座標および解析点を中心とする微小領域の大きさならびに解析点の移動量解析範囲、回転角解析範囲および歪み解析範囲の数値データを受け付けるパラメー

50

タ取得過程と、回転処理手段が微小領域をアフィン変換により回転角解析範囲において所定角度ずつ回転させたマスクを生成する回転処理過程と、第一相関値算出手段が変化後画像データ上の移動量解析範囲において各マスクを走査しながら変化後画像データとの相関値を計算する第一相関値算出過程と、位置角度検出手段が最大相関値となる位置および角度を検出する位置角度検出過程と、伸縮処理手段が最大相関値を示すマスクをアフィン変換により歪み解析範囲において所定伸縮率ずつ伸縮させた二次マスクを生成する伸縮処理過程と、第二相関値算出手段が各二次マスクと変化後画像データとの相関値を計算する第二相関値算出過程と、伸縮率検出手段が最大相関値となる伸縮率を検出する伸縮率検出過程と、状態決定手段が最大相関値を与える位置、角度および伸縮率から、それぞれ解析点の移動量、回転角および歪みを決定する状態決定過程と、を備えることを特徴とする。

10

【0007】

また、請求項2の発明は、前記微小領域の形状が、円形であることを特徴とする。

【0008】

さらに、請求項3の発明は、連続体上の複数点についての変位、変形および歪みの解析を行う場合において、解析範囲決定手段が解析しようとする現解析点の移動量、回転角および歪みのうち少なくとも一つについて、現解析点の近傍の点ですでに解析した前解析点の移動量、回転角および歪みの値を基準とした相対的な解析範囲を定める解析範囲決定過程を備えることを特徴とする。

【0009】

また、請求項4の発明は、画像処理装置であって、変化前および変化後の対象物を撮像し、変化前画像データおよび変化後画像データとして出力する撮像手段と、請求項1、2又は3記載の画像処理方法を実行する画像処理手段と、を備えることを特徴とする。

20

【0010】

さらに、請求項5の発明は、画像処理プログラムであって、コンピュータに、請求項1、2又は3記載の画像処理方法を実行させることを特徴とする。

【発明の効果】

【0011】

本発明のうち請求項1の発明によれば、対象物に接触することなく、変化前画像データおよび変化後画像データのみから対象物の変位、変形および歪みを測定することができる。特に、画像相関の際に微小領域に対してアフィン変換による伸縮を適用することで、従来の方法では不可能であった微小部分の歪みを伴う大きな変形についても解析可能であり、また従来可能であった解析についてもより高い精度で行うことができる。さらに、歪みから各点の応力を直接的に把握することも可能である。なお、本発明の具体的な用途としては、金属の大変形の測定を始めとし、橋やビル等の構造体の変形、地滑り等の土砂災害の予兆システム等の解析が考えられる。

30

【0012】

本発明のうち請求項2の発明によれば、微小領域の形状を円形とすることで、微小領域をアフィン変換により回転させた場合でも領域内に含まれる計算点数が変化せず、回転させない場合と同じ条件で解析することができる。

【0013】

本発明のうち請求項3の発明によれば、連続体上のある点の解析範囲をその近傍の点の解析結果から定めることで、解析範囲を限定し、計算量を低減することができる。

40

【0014】

本発明のうち請求項4の発明によれば、使用者は、撮像手段により対象物を撮像し、画像処理手段により画像データを処理することで、本発明の画像処理方法による測定を行うことができる。

【0015】

本発明のうち請求項5の発明によれば、使用者は、汎用のパーソナルコンピュータ等によって、本発明の画像処理方法を実施することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

50

【 0 0 1 6 】

本発明は、対象物の変化前と変化後の二枚の画像の相関値を求め最大となった点を移動先とみなす画像相関法により、対象物の変位、変形および歪みを測定するものである。そこでまず、本発明において用いられる画像のアフィン変換について式により説明する。

【 0 0 1 7 】

アフィン変換による座標変換式は、変換前の座標を (x, y) 、変換後の座標を (x', y') 、回転中心の座標を (q_x, q_y) 、回転角を θ 、 x 方向および y 方向の伸縮率を (s_x, s_y) としてとして式 (1) で表される。

【 数 1 】

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & q_x \\ 0 & 1 & q_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -q_x \\ 0 & 1 & -q_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad \dots(1)$$

10

なお、このような座標変換を行う方法には、順変換とよばれる方法と逆変換とよばれる方法がある。式 (1) で表される順変換は、変換前画像の座標 (x, y) の光強度の数値を変換後の座標 (x', y') に内挿する方法であるのに対し、以下の式 (2) で表される逆変換は、変換後画像の座標 (x', y') に内挿する光強度を変換前画像の座標 (x, y) から参照する方法である。逆変換による方法では内挿する光強度を補間法により計算することができるため、ここでは逆変換を用いる。また、補間法としては最近隣内挿法、線形補間法、三次畳み込み内挿法等があるが、特に三次畳み込み内挿法が高精度であり適当である。

20

【 数 2 】

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -q_x \\ 0 & 1 & -q_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 1 & 0 & q_x \\ 0 & 1 & q_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} \quad \dots(2)$$

【 0 0 1 8 】

式 (2) の逆行列を計算すると式 (3) となる。

30

【 数 3 】

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & q_x \\ 0 & 1 & q_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/s_x & 0 & 0 \\ 0 & 1/s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -q_x \\ 0 & 1 & -q_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} \quad \dots(3)$$

さらに式 (3) を展開すると式 (4) が求められる。

【 数 4 】

$$\left. \begin{aligned} x &= \left(\frac{x' - q_x}{s_x} \right) \cos\theta + \left(\frac{y' - q_y}{s_x} \right) \sin\theta + q_x \\ y &= - \left(\frac{x' - q_x}{s_y} \right) \sin\theta + \left(\frac{y' - q_y}{s_y} \right) \cos\theta + q_y \end{aligned} \right\} \quad \dots(4)$$

40

【 0 0 1 9 】

次に、本発明で用いる画像相関の手法について図および式により説明する。図 1 に示すのは、本発明の画像処理方法の概念図である。ここでは対象物 T として、片持ち梁を想定する。

【 0 0 2 0 】

50

まず、変化前画像データ 1 上において、解析点 3 の座標と、解析点 3 を中心とする微小領域 4 の形状および大きさを定める。この微小領域 4 を変化後画像データ 2 上において 1 画素ずつシフトさせながら相関値を計算し、最大相関値が得られる点に解析点 3 が存在するとみなす。

【0021】

微小領域 4 の大きさは、小さいほど空間分解能が高くなるが、測定の精度は低下しエラーが生じやすくなる。よってそのバランスを考慮して実施者が決定すべきものであるが、ここでは 15×15 画素とする。解析点 3 の変位がある程度予想できる場合は、変位する方向に短く、変位しない方向に長い形状としてもよい。

【0022】

また、微小領域 4 をシフトさせる範囲（移動量解析範囲 5）については、対象物 T の変位がまったく予想できない場合は変化後画像データ 2 上全域となるが、ある程度予想できる場合は、その予想範囲内でシフトさせればよい。例えば図 1 に示すような場合には、梁は必ず下方に変位すると考えられるので、移動量解析範囲 5 を解析点 3 よりも下方の範囲のみに限定してもよい。

【0023】

ここで、ある点の相関値は、変化前後の画像において、当該点 1 画素とその近傍 8 画素の計 9 画素の差分をとり、その差分値によって求めることにする。式 (5) において、変化前画像の点 (x, y) における光強度の差分値を $g(x, y)$ 、変化後画像の点 (x, y) における光強度の差分値を $g'(x, y)$ として、相関値 $S(x, y)$ を求める。

10

20

【数 5】

$$S(\Delta x, \Delta y) = \sum g(x, y) g'(x + \Delta x, y + \Delta y) \quad \dots(5)$$

【0024】

なお、ここに挙げた手法は一例であり、画像データ相互の類似度を判断できる手法であればどのようなものであってもよい。

【0025】

次に、微小領域 4 の回転について説明する。対象物 T の変位が平行移動又は微小な回転のみである場合には上記の方法のみで対応できるが、大きな回転変位を伴う場合、上記の方法では適切な点で最大相関値が得られない。そこで、微小領域 4 をアフィン変換により回転させて相関をとる必要がある。ここでは、式 (4) において伸縮の項を省いた以下の式 (6) を用いる。

30

【数 6】

$$\left. \begin{aligned} x &= (x' - q_x) \cos \theta + (y' - q_y) \sin \theta + q_x \\ y &= -(x' - q_x) \sin \theta + (y' - q_y) \cos \theta + q_y \end{aligned} \right\} \quad \dots(6)$$

【0026】

式 (6) により所定角度ずつ回転させたそれぞれの微小領域 4 を、ここではマスク 8 とよぶ。ここで、回転中心は微小領域 4 の中心であり、すなわち解析点 3 の座標となる。このように生成されるマスク 8 を、一枚ずつ変化後画像データ 2 上においてシフトさせながら相関値を計算し、最大相関値が得られる x, y および θ が、それぞれ解析点 3 の移動量および回転角とみなされる。

40

【0027】

ここで、微小領域 4 を回転させる範囲（回転角解析範囲 6）については、対象物 T の回転がまったく予想できない場合は $0^\circ \sim 360^\circ$ の全域となるが、ある程度予想できる場合は、その予想範囲内で回転させればよい。また、初めから細かい角度毎（例えば、 1° 毎）のマスク 8 を生成してもよいが、粗い角度毎（例えば、 5° 毎）のマスク 8 を生成してそ

50

れぞれの相関値を計算し、最大相関値が得られた角度の近傍で細かい角度毎のマスク 8 を生成して再び相関値を計算すると、全体のマスク 8 生成数が減り、解析時間を短縮することができる。

【0028】

なお、このように微小領域 4 を回転させる場合、微小領域 4 の形状が問題となる。すなわち、微小領域 4 の形状が正方形の場合、図 2 (a) に示すように、回転させることで変形後画像と相関をとるための計算点数が減少してしまい (図では 25 点 17 点) 、同じ条件を保つことができない。そこで、図 2 (b) に示すように、微小領域 4 を円形とすれば、回転させても計算点数が減少しない。

【0029】

次に、微小領域 4 の伸縮について説明する。上記の手法に加えて、さらに微小領域 4 の伸縮を考慮することにより、解析点 3 の歪みを求めることができる。

【0030】

上記の手法により移動量および回転角が定められた微小領域 4 について、式 (4) により所定伸縮率ずつ伸縮させたそれぞれの微小領域 4 を、ここでは二次マスク 9 とよぶ。このように生成される二次マスク 9 について、一枚ずつ変化後画像データ 2 との相関値を計算し、最大相関値が得られる s_x , s_y が、x 方向および y 方向の歪みとみなされる。

【0031】

ここで、微小領域 4 を伸縮させる範囲 (歪み解析範囲 7) については、変化前画像データ 1 および変化後画像データ 2 を見比べて定めてもよいし、対象物 T の材質の歪みの限界値 (破壊に至る直前の歪みの値) がわかる場合にはその値から定めてもよい。

【0032】

以上より、解析点 3 の移動量、回転角および歪みが求められた。この一連の解析を対象物 T の全域に渡って行えば、対象物全体の変位、変形および歪みの状態を把握することができる。

【0033】

なお、上記の手法においては、変化前画像データ 1 上において解析点 3 および微小領域 4 を定め、それを変化後画像データ 2 上においてシフトさせたが、これとは逆に、変化後画像データ 2 上において解析点 3 および微小領域 4 を定め、それを変化前画像データ 1 上においてシフトさせてもよい。前者の方法によれば、変化前の対象物の各点の移動先が把握できるので、ある物体に力を加えたときにどのように変形するか、といったことを検討する場合に好適である。一方、後者の方法によれば、変化後の対象物 T の各点の移動元が把握できるので、地滑りの際にどの部分がどのように変位したのか、といったことを検討する場合に好適である。

【0034】

実際に本発明の画像処理方法を実施するには、以下に示す画像処理装置および画像処理プログラムを利用する。

【0035】

本発明の画像処理プログラムは、キーボードやマウス等からなる入力装置、ディスプレイ等からなる出力装置、本プログラムの命令を順番に実行する CPU、本プログラムおよび本プログラムの実行に必要なデータおよび計算結果等を保存しておく記憶装置を構成要素とする標準的なコンピュータにより実行され、コンピュータが各種の手段として機能する。また、本発明の画像処理装置における撮像手段 200 は、一般的なデジタルカメラからなり、画像処理手段 100 は、前記プログラムが実行されるコンピュータにより構成される。図 3 に示すのは、本発明の画像処理装置の第一実施形態の構成を示すブロック図であり、図 4 に示すのは、本発明の画像処理装置の第一実施形態が実行する画像処理方法の流れを示すフローチャートである。

【0036】

最初の過程は画像データ取得過程であり、撮像手段 200 が、対象物の変化前画像および変化後画像を撮像し、それを画像データ取得手段 101 が、変化前画像データおよび変

10

20

30

40

50

化後画像データとして取得する。画像データの解像度は、両者が同じであれば特に限定されないが、もちろん高解像度であるほうが解析の精度は高くなる。また、この段階で画像データ上の明らかに対象物でない部分（背景に相当する部分）を省いてしまってもよい。

【0037】

次はパラメータ取得過程であり、パラメータ取得手段102が、使用者による入力手段300からのパラメータの入力を受け付ける。入力手段300は一般的なキーボードやマウス等の入力装置からなる。ここでは、解析点の座標および解析点を中心とする微小領域の大きさならびに解析点の移動量解析範囲（例えば、x方向およびy方向に ± 80 画素）、回転角解析範囲（例えば、 $\pm 30^\circ$ ）および歪み解析範囲（例えば、x方向およびy方向に0.9~1.1）を設定し、さらに1画素に対応する実寸を設定する。解析点の座標は複数指定することもできる。また、微小領域の形状も指定することができ、形状に合わせて、矩形であれば縦横の長さ、円形であれば半径を指定する。

10

【0038】

次はフィルタリング過程であり、フィルタリング手段151が、変化前画像データおよび変化後画像データに対してフィルタ処理を行い、画像を先鋭化する。フィルタには種々のものがあるが、ここではラプラシアンフィルタが好適である。このような処理を行うことで、画像のエッジが強調され、測定精度が向上する。

【0039】

次は回転処理過程であり、回転処理手段103が、解析点を中心とした微小領域をアフィン変換により回転させたマスクを生成する。例えば、回転角解析範囲を $\pm 30^\circ$ 、回転単位を 1° とすれば、60枚のマスクが生成される。

20

【0040】

次は第一相関値算出過程であり、第一相関値算出手段104が、各マスクをx方向およびy方向へ1画素ずつシフトさせながら、変形後画像との相関値を計算する。シフトさせる範囲は、先に設定した移動量解析範囲であり、設定した範囲内におけるすべてのx, y, の組み合わせについての相関値が求められる。

【0041】

次は位置角度検出過程であり、位置角度検出手段105が、第一相関値算出過程において得られた相関値の中から最大相関値を検出し、最大相関値を与えるx, yおよび解析点の移動量および回転角とみなす。

30

【0042】

次は伸縮処理過程であり、伸縮処理手段106が、位置角度検出過程において最大相関値が得られたマスクについて、アフィン変換により伸縮させた二次マスクを生成する。例えば、伸縮率解析範囲をx方向およびy方向にそれぞれ0.9~1.1、伸縮単位を0.01とすれば、440枚のマスクが生成される。

【0043】

次は第二相関値算出過程であり、第二相関値算出手段107が、各マスクと変形後画像との相関値を計算する。設定した範囲内におけるすべての s_x , s_y の組み合わせについての相関値が求められる。

【0044】

次は伸縮率検出過程であり、伸縮率検出手段108が、第二相関値算出過程において得られた相関値の中から最大相関値を検出し、最大相関値を与える s_x , s_y を解析点の歪みとみなす。

40

【0045】

次は状態決定過程であり、状態決定手段109が、位置角度検出過程において最大相関値を与えるx, yおよび s_x , s_y ならびに伸縮率検出過程において最大相関値を与える s_x , s_y を、解析点の移動量、回転角および歪みとみなし、変化後の解析点の状態を決定する。

【0046】

以上の過程により、ある解析点についての移動量、回転角および歪みが求められる。解

50

析点を複数指定した場合、その数の分だけ回転処理過程～状態決定過程を繰り返す。

【0047】

すべての解析点についての移動量、回転角および歪みが求められたあと、最後は出力過程であり、出力手段400が、解析結果を出力・表示する。出力手段400は一般的なディスプレイ等の出力装置からなる。出力の形式は、各解析点の移動量、回転角および歪みの数値データをリストにして表示するものや、変位をベクトルで表示するもの、等変位線を色の濃淡やカラーで表示するものなど、どのようなものであってもよい。

【0048】

図5に示すのは、本発明の画像処理装置の第二実施形態の構成を示すブロック図であり、図6に示すのは、本発明の画像処理装置の第二実施形態が実行する画像処理方法の流れを示すフローチャートである。

10

【0049】

ここで、第二実施形態の考え方を示す。解析範囲の設定に際して、第一実施形態においては、全解析点について同じ解析範囲で計算を行うか、解析点毎に解析範囲を設定するが、連続体の変位・変形について考える場合には、さらに効率的に解析範囲を定めることができる。すなわち、連続体上のある点の移動量、回転角および歪みの値は、その点の近傍の点の各値に極めて近いものと考えられる。そこで、ある点の解析範囲を定めるにあたり、その近傍の点ですでに解析した点の移動量、回転角および歪みの値を基準とした相対的な解析範囲を定めることができる。この方法によれば、連続体上の各解析点において相対的な解析範囲を狭くすることができるので、解析時間を短縮することができる。以下において、第一実施形態と異なる部分のみ説明する。

20

【0050】

第一実施形態では、パラメータ取得過程において移動量解析範囲、回転角解析範囲および歪み解析範囲が設定されていたが、これらはこれから解析しようとする現解析点を基準に定められていた（例えば、「現解析点から±80画素」）。一方、第二実施形態では、解析範囲決定過程において、解析範囲決定手段110が、パラメータ取得手段102が受け付けた使用者の相対的解析範囲の入力値と、状態決定手段109が決定した現解析点の近傍の点ですでに解析した前解析点の移動量、回転角および歪みのデータとを読み込み、それらの値から解析範囲を設定する（例えば、使用者の相対的解析範囲の入力値が±5画素、前解析点の移動量が+10画素であれば、「現解析点から+5画素～+15画素」）。この方法による場合、現解析点の移動量、回転角および歪みは、前解析点のそれらと非常に近いと考えられるため、各解析範囲を狭く設定することができ、結果として計算量が少なくなる。

30

【0051】

なお、画像相関法を用いる際には、対象物の表面に特徴ある模様や印が付いている必要がある。対象物表面が元々ランダムな模様であればそれを使えばよいが、模様がない場合や不適切な模様がある場合は、ランダムなドットを塗布するとよい。この際、ドットの数や分布および大きさ等が測定精度に影響するが、白地に黒の円形ドットを塗布する場合、同じ直径のドットよりランダムな直径のドットを塗布するほうが、測定精度がよい。また、黒いドット部分より白い地の部分の比率が高い方が、測定精度がよい。さらに、種々の色（例えば、赤、緑、青）のドットを塗布してもよい。

40

【0052】

また、画像相関法の解析による変位量測定の最小単位は1画素であり、基本的にはそれ以下の感度で測定することができない。しかし、二次元サブピクセル処理によって1画素の1/10程度の感度で測定することができる。この方法は、最大相関点とその近傍8点の相関値による近似曲面を最小二乗法により作成し、真の最大相関位置を1画素以下の単位で求めることにより、1画素以下の変位を得る方法である。これにより、変位が微小な場合でも適切な結果が得られる。

【0053】

上記実施形態ではプログラムによりコンピュータを各手段として機能させているが、各

50

手段の一部又は全部をそれぞれ専用のハードウェアにより構成するものであってもよい。また、各過程の順序は、同等の結果を得られる範囲で上記実施形態と異なるものであってもよく、二以上の過程が並列的に実行されるものであってもよい。

【0054】

以下において、本発明の画像処理方法により実際に物体の変形を測定した解析例を示す。測定対象は金属製の防振ダンパで、これを油圧シリンダで加力して変形させたものであり、解析にはその一部分を拡大した画像を用いた。図7に示すのが解析に用いた画像であり、(a)は変化前画像、(b)は変化後画像である。画像中の防振ダンパの下部は固定されており、上部は右方へ変位している。

【0055】

まず、比較対照のために、測定対象の並進運動のみを考慮し、回転を考慮しない手法による解析を行う。図8に示すのがその解析結果で、(a)は各点の移動量を色の濃淡で表したものであり(色が濃いほど移動量大きい)、(b)は各点の移動の様子をベクトルにより表したものである。(a)においては、所々に色の濃淡が不連続に変化している部分があり、正確な解析結果が得られていないことがわかる。また(b)においても、所々に周囲と異なる向きのベクトルが存在する。

【0056】

次に、本発明の手法による解析を行う。本発明の手法では、並進および回転を考慮した解析により測定対象の移動量および回転角が求められ、さらに伸縮を考慮した解析により測定対象の歪みが求められる。まず図9に示すのは移動量の解析結果で、(a)および(b)が表すものは図8の場合と同様である。回転も考慮して解析すると、(a)においては色の濃淡の不連続な部分がほとんど見られず、正確な解析結果が得られていることがわかる。また(b)においても、周囲と異なる向きのベクトルは見られない。

【0057】

さらに、伸縮を考慮した解析について、ここでは解析点を図10のように三点選んだ。解析点Aは歪みが少ないと考えられる点、解析点Bは歪みが生じていると考えられる点、解析点Cは大きな歪みが生じていると考えられる点である。解析にあたっては、伸縮率解析範囲をx方向およびy方向にそれぞれ0.960~1.040、伸縮単位を0.005とした。図11の(a)、(b)、(c)はそれぞれ、A、B、Cの各点における相関値の計算結果を示すものである。これらより最大相関値が求められ、それを与える伸縮率が各点の歪みとなる。

【0058】

表1に、各点の座標と、移動量、回転角および歪みの解析結果を示す。座標は画像の左上を原点とし、右方向をx方向、下方向をy方向とした。表より、解析点Aは歪みがほとんどなく、解析点Bはy方向に2%の歪みがあり、解析点Cはx方向およびy方向にそれぞれ2%の歪みがあることがわかる。

【表1】

	解析点A		解析点B		解析点C	
	x	y	x	y	x	y
座標(画素)	616	329	363	245	668	189
移動量(画素)	16	0	28	1	37	9
回転角(deg)	7		6		14	
歪み	1	0.995	1	1.02	1.02	0.98

【0059】

以上のように、本発明の手法によれば、測定対象の移動量および回転角を高い精度で求めることができる。さらに、従来手法では不可能であった歪みの解析も可能であり、対象物の状態をより詳細に把握することができる。

10

20

30

40

50

【図面の簡単な説明】

【0060】

【図1】本発明の画像処理方法において用いられる画像関連の概念図。

【図2】微小領域の形状と回転の関係を示す説明図。

【図3】本発明の画像処理装置の第一実施形態の構成を示すブロック図。

【図4】本発明の画像処理装置の第一実施形態が実行する画像処理方法の流れを示すフローチャート。

【図5】本発明の画像処理装置の第二実施形態の構成を示すブロック図。

【図6】本発明の画像処理装置の第二実施形態が実行する画像処理方法の流れを示すフローチャート。

10

【図7】解析に用いた実際の画像。

【図8】従来の手法による移動量の解析結果を示す図。

【図9】本発明の手法による移動量の解析結果を示す図。

【図10】解析点の位置を示す説明図。

【図11】歪みの解析における相関値の計算結果を示すグラフ。

【符号の説明】

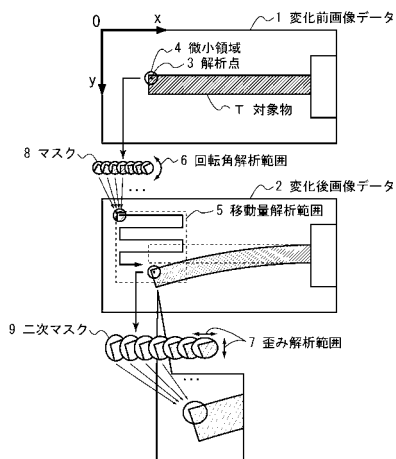
【0061】

- 1 変化前画像データ
- 2 変化後画像データ
- 3 解析点
- 4 微小領域
- 5 移動量解析範囲
- 6 回転角解析範囲
- 7 歪み解析範囲
- 8 マスク
- 9 二次マスク
- T 対象物
- 100 画像処理手段
- 101 画像データ取得手段
- 102 パラメータ取得手段
- 103 回転処理手段
- 104 第一相関値算出手段
- 105 位置角度検出手段
- 106 伸縮処理手段
- 107 第二相関値算出手段
- 108 伸縮率検出手段
- 109 状態決定手段
- 110 解析範囲決定手段
- 200 撮像手段

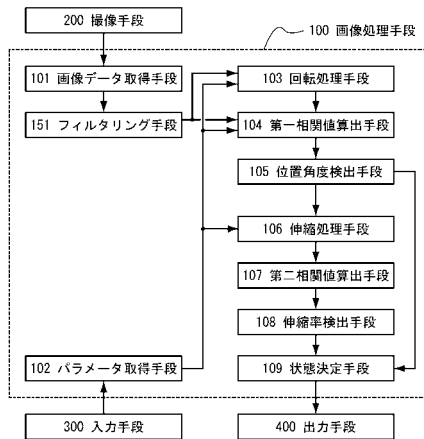
20

30

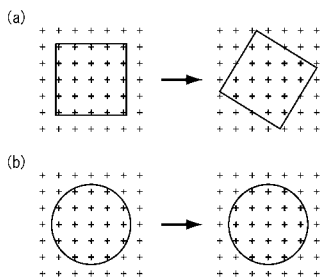
【 図 1 】



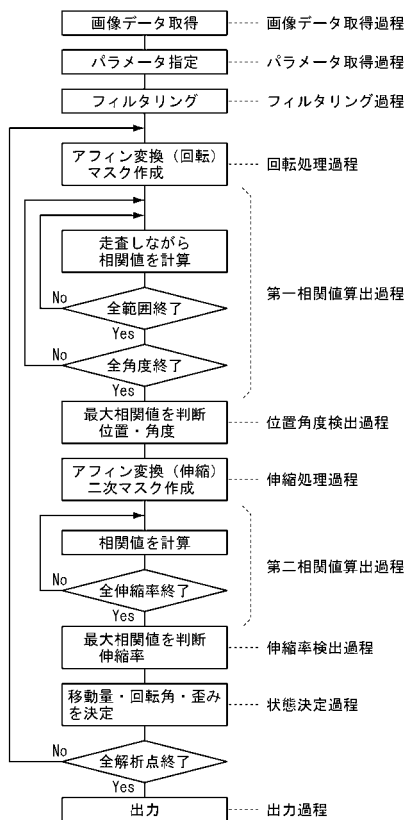
【 図 3 】



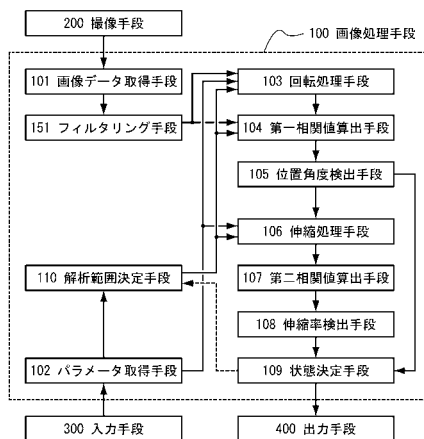
【 図 2 】



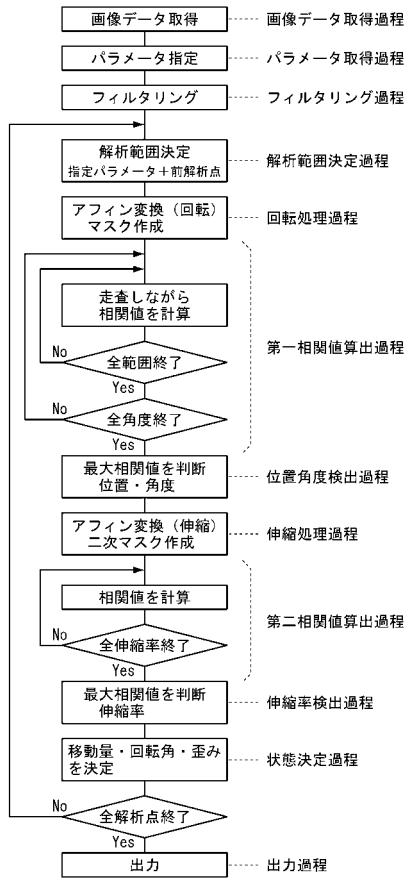
【 図 4 】



【 図 5 】

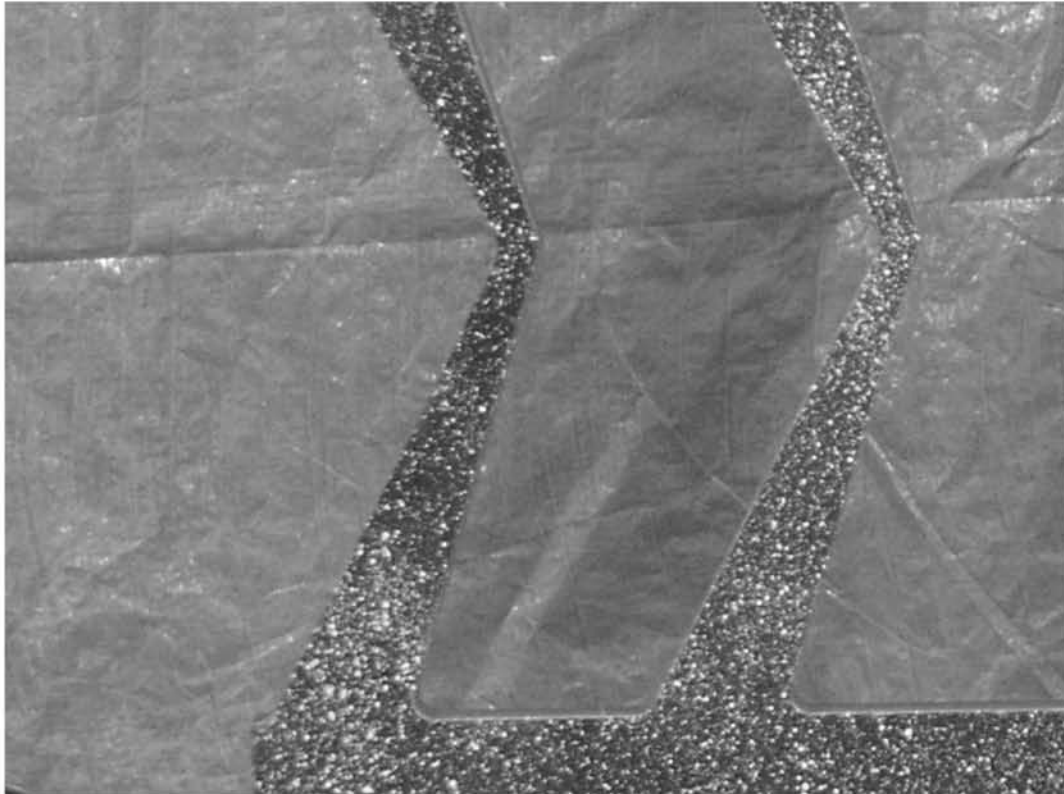


【 図 6 】

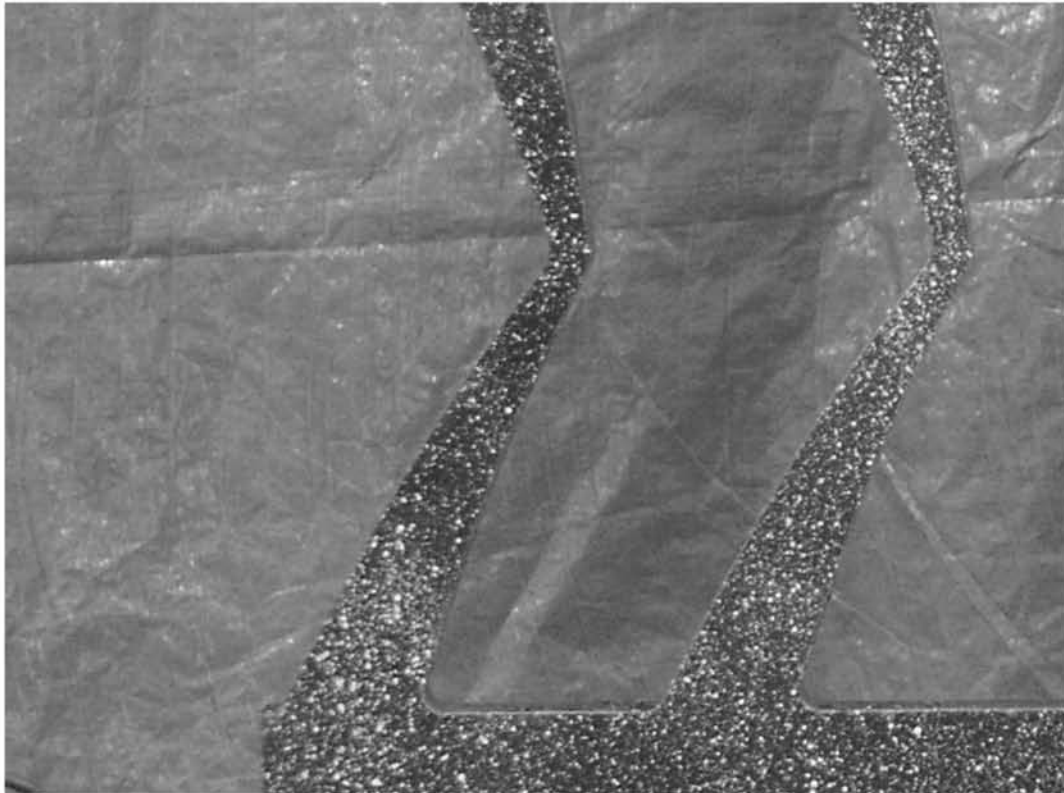


【 図 7 】

(a)

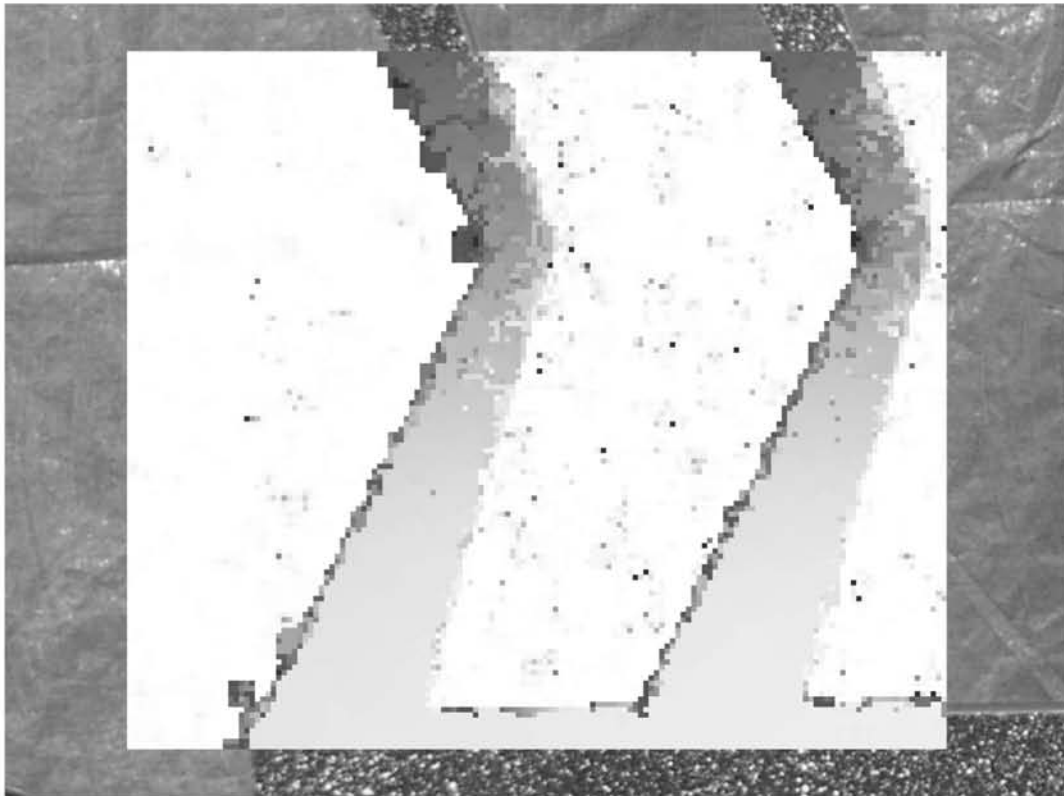


(b)

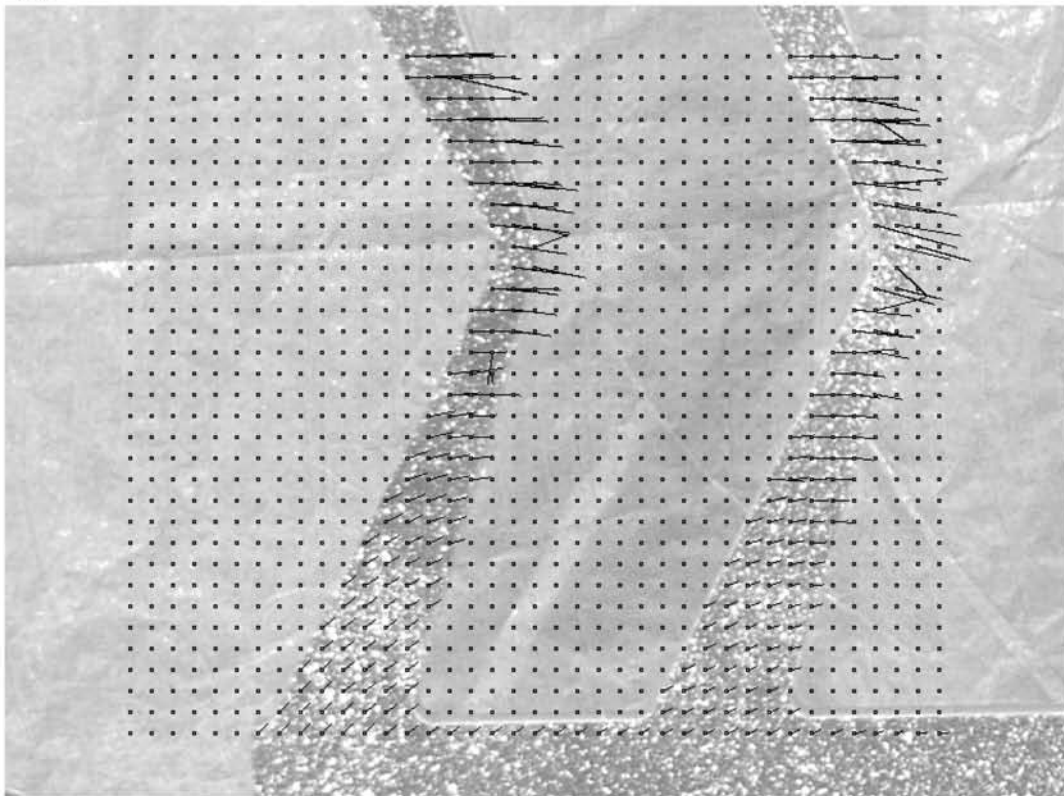


【 図 8 】

(a)

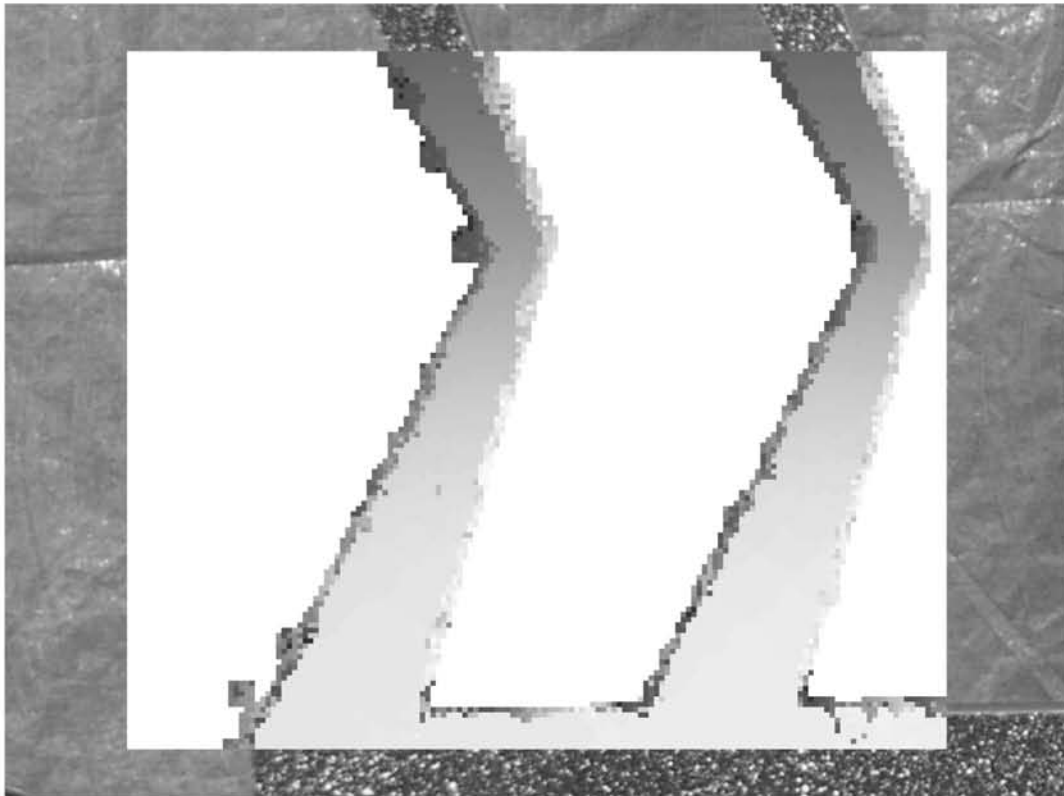


(b)

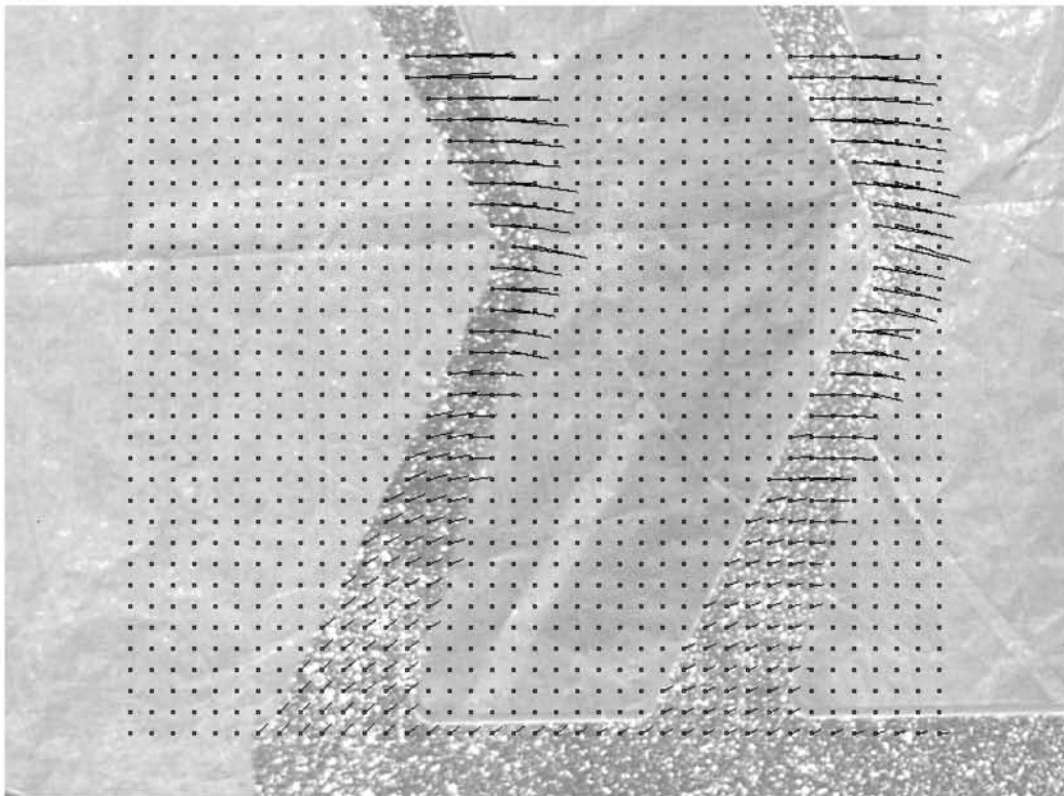


【 図 9 】

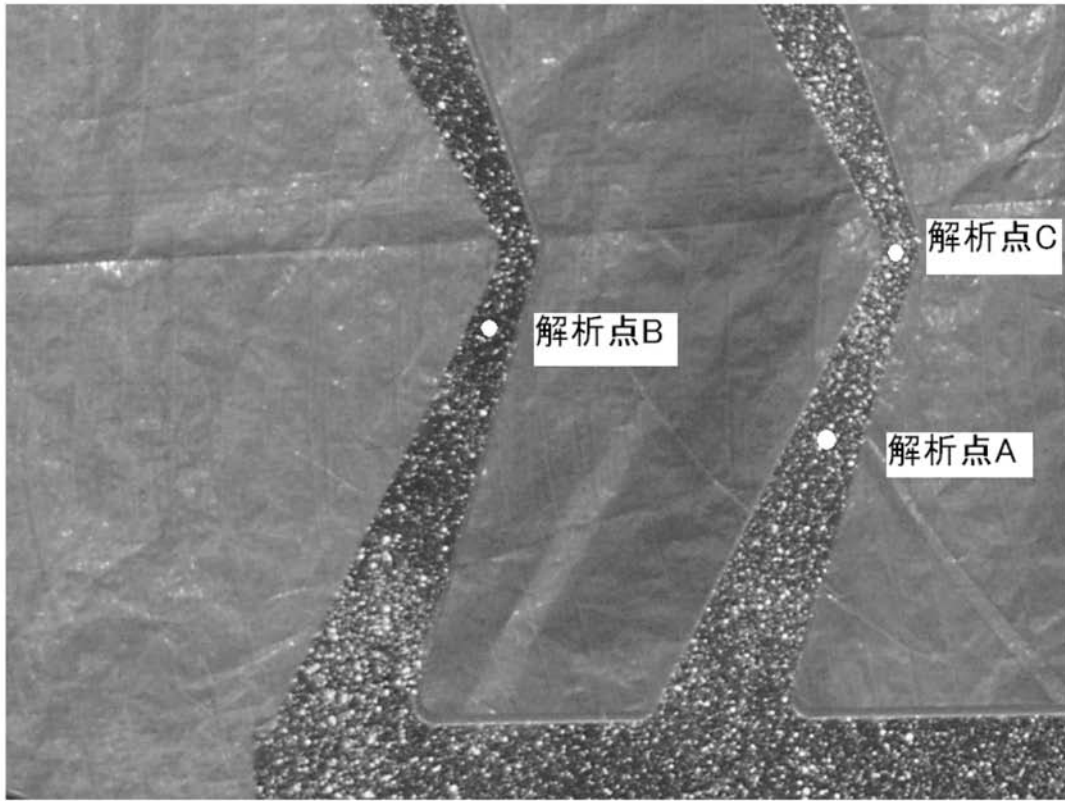
(a)



(b)



【图 10】



【 図 1 1 】

