

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5610514号
(P5610514)

(45) 発行日 平成26年10月22日(2014.10.22)

(24) 登録日 平成26年9月12日(2014.9.12)

(51) Int.Cl. F I
GO 1 B 11/00 (2006.01) GO 1 B 11/00 H

請求項の数 7 (全 35 頁)

(21) 出願番号	特願2010-40546 (P2010-40546)	(73) 特許権者	504145283
(22) 出願日	平成22年2月25日 (2010.2.25)		国立大学法人 和歌山大学
(65) 公開番号	特開2011-174874 (P2011-174874A)		和歌山県和歌山市栄谷930番地
(43) 公開日	平成23年9月8日 (2011.9.8)	(74) 代理人	100147485
審査請求日	平成25年2月22日 (2013.2.22)		弁理士 杉村 憲司
		(74) 代理人	100143568
			弁理士 英 貢
		(72) 発明者	藤垣 元治
			和歌山県和歌山市栄谷930
		(72) 発明者	近藤 寛之
			大阪府貝塚市鳥羽17-3
		(72) 発明者	笹谷 優滋
			和歌山県和歌山市松江東4丁目7-29
		(72) 発明者	征谷 明大
			和歌山県和歌山市栄谷930

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 変位計測装置、方法およびプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

所定の位置における変位を計測するための変位計測装置であって、
 前記所定の位置に設けられた変位計測用の格子を含む変位計測用画像を撮影する撮影部と、

前記変位計測用画像に対して2次元フーリエ変換を行って得られた輝度の振幅およびサンプリングモアレ法による位相解析を行って得られた輝度の振幅に基づいて前記格子の領域を検出して該格子領域の画像を抽出する格子領域検出部と、

抽出した前記格子領域の画像に対してサンプリングモアレ法により前記格子領域の画像に対するモアレの位相分布を導出する位相分布導出部と、

前記位相分布から求められた前記所定の位置における変位前後の位相差と、予め定められた格子ピッチとから前記所定の位置における変位を決定する変位決定部と、
 を備えることを特徴とする変位計測装置。

【請求項2】

所定の位置における変位を計測するための変位計測装置であって、
 前記所定の位置に設けられた変位計測用の格子を含む変位計測用画像を撮影する撮影部と、

前記変位計測用画像から予め抽出された前記格子の領域の画像に対して、サンプリングモアレ法により前記格子領域の画像に対するモアレの位相分布を導出する位相分布導出部と、

導出した前記位相分布における所定の2地点間の画素数と格子数とから格子ピッチを検出する格子ピッチ検出部と、

前記位相分布から求められた前記所定の位置における位相差と、前記格子ピッチとから前記所定の位置における変位を決定する変位決定部と、
を備えることを特徴とする変位計測装置。

【請求項3】

前記格子領域検出部は、

前記変位計測用画像に対して2次元フーリエ変換を施してパワースペクトルを出力するフーリエ変換器と、

前記パワースペクトルにおける1次調和波成分のピークを検出し、該ピークの座標を出力する1次調和波ピーク検出器と、

前記変位計測用画像の縦および横方向の画素数を前記ピークの縦および横方向の座標でそれぞれ除算し、その商の整数部分である基準ピッチを出力する基準ピッチ決定器と、

前記基準ピッチを用いてサンプリングモアレ法によりモアレの位相分布とパワー分布を導出し、パワー分布を出力するパワー分布導出器と、

前記パワー分布に対してマスク画像を生成し、該マスク画像に対して膨張および縮小処理を施して前記変位計測用画像中の矩形領域を検出して格子領域決定器に出力する矩形領域検出器と、

前記矩形領域を前記変位計測用画像に当てはめて前記格子領域を決定し、前記格子領域の画像を出力する格子領域決定器と、

を備えることを特徴とする、請求項1に記載の変位計測装置。

【請求項4】

前記位相分布導出部は、

前記格子領域の画像に対して平滑化処理を施す平滑化処理部と、

平滑化された前記格子領域の画像を入力してフーリエ変換を施して前記パワースペクトルを出力するフーリエ変換器と、

前記パワースペクトルから1次調和波の抽出する1次調和波抽出器と、

抽出した前記1次調和波に対して逆フーリエ変換を施し、各画素に対して得られた複素振幅の実部と虚部の値から位相分布を導出する逆フーリエ変換器と、

導出された前記位相分布に対して位相接続を施し、連続化された位相分布を導出する位相接続器と、

を備えることを特徴とする、請求項1～3のいずれか一項に記載の変位計測装置。

【請求項5】

前記格子領域の画像に対してフーリエ変換を施し、得られたパワースペクトルにおける1次調和波に対する2次調和波のピーク値の比率から変位計測用画像を撮影する際の最適な露光時間を決定する露光時間調整部を更に備えることを特徴とする、請求項1～4に記載の変位計測装置。

【請求項6】

所定の位置における変位を計測するための変位計測方法であって、

前記所定の位置に設けられた変位計測用の格子を含む変位計測用画像を撮影するステップと、

前記変位計測用画像に対して2次元フーリエ変換を施してパワースペクトルを出力するステップと、

前記パワースペクトルにおける1次調和波成分のピークを検出し、該ピークの座標を出力するステップと、

前記変位計測用画像の縦および横方向の画素数を前記ピークの縦および横方向の座標でそれぞれ除算し、その商の整数部分である基準ピッチを出力するステップと、

前記基準ピッチを用いてサンプリングモアレ法によりモアレの位相分布とパワー分布を導出し、パワー分布を出力するステップと、

前記パワー分布に対してマスク画像を生成し、該マスク画像に対して膨張および縮小処

10

20

30

40

50

理を施して前記変位計測用画像中の矩形領域を検出して格子領域決定器に出力するステップと、

前記矩形領域を前記変位計測用画像に当てはめて前記格子領域を決定し、前記格子領域の画像を出力するステップと、

前記格子領域の画像に対して平滑化処理を施すステップと、

平滑化された前記格子領域の画像を入力してフーリエ変換を施して前記パワースペクトルを出力するステップと、

前記パワースペクトルから1次調和波を抽出するステップと、

抽出した前記1次調和波に対して逆フーリエ変換を施し、各画素に対して得られた複素振幅の実部と虚部の値から位相分布を導出するステップと、

導出された前記位相分布に対して位相接続を施し、連続化された位相分布を導出するステップと、

連続化された前記位相分布における所定の2地点間の画素数と格子数とから格子ピッチを検出するステップと、

連続化された前記位相分布から求められた前記所定の位置における位相差と、前記格子ピッチとから前記所定の位置における変位を決定するステップと、

を含むことを特徴とする変位計測方法。

【請求項7】

所定の位置における変位を計測するための変位計測装置として構成するコンピュータに、

前記所定の位置に設けられた変位計測用の格子を含む変位計測用画像を撮影するステップと、

前記変位計測用画像に対して2次元フーリエ変換を施してパワースペクトルを出力するステップと、

前記パワースペクトルにおける1次調和波成分のピークを検出し、該ピークの座標を出力するステップと、

前記変位計測用画像の縦および横方向の画素数を前記ピークの縦および横方向の座標でそれぞれ除算し、その商の整数部分である基準ピッチを出力するステップと、

前記基準ピッチを用いてサンプリングモアレ法によりモアレの位相分布とパワー分布を導出し、パワー分布を出力するステップと、

前記パワー分布に対してマスク画像を生成し、該マスク画像に対して膨張および縮小処理を施して前記変位計測用画像中の矩形領域を検出して格子領域決定器に出力するステップと、

前記矩形領域を前記変位計測用画像に当てはめて前記格子領域を決定し、前記格子領域の画像を出力するステップと、

前記格子領域の画像に対して平滑化処理を施すステップと、

平滑化された前記格子領域の画像を入力してフーリエ変換を施して前記パワースペクトルを出力するステップと、

前記パワースペクトルから1次調和波を抽出するステップと、

抽出した前記1次調和波に対して逆フーリエ変換を施し、各画素に対して得られた複素振幅の実部と虚部の値から位相分布を導出するステップと、

導出された前記位相分布に対して位相接続を施し、連続化された位相分布を導出するステップと、

連続化された前記位相分布における所定の2地点間の画素数と格子数とから格子ピッチを検出するステップと、

連続化された前記位相分布から求められた前記所定の位置における位相差と、前記格子ピッチとから前記所定の位置における変位を決定するステップと、

を実行させることを特徴とする変位計測プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

20

30

40

50

【0001】

本発明は、変位計測装置、方法およびプログラムに関し、特にサンプリングモアレ法により微小の変位を計測する変位計測装置、方法およびプログラムに関するものである。

【背景技術】

【0002】

甚大な被害をもたらす自然災害の予知に関心が高まっており、こうした自然災害の1つに「崖崩れ」がある。「崖崩れ」とは、急激に斜面が崩れ落ちる現象であり、その発生は突発的で人命にかかわることが多い。崖崩れの多くは、他の斜面変動と同様に雨や融雪により引き起こされるが、道路や鉄道、構造物の建設などでの山体の切取・盛土の作業によっても誘発される可能性がある。従って、崖崩れから身を守るためには、その前兆現象を検知することが重要となる。

10

【0003】

これまでに崖崩れの検知手法については様々な研究がなされている。最も一般的に用いられている手法は、ワイヤーを2本の杭の間に張って、杭の間の距離を伸縮計で継続的に測定する方法である（例えば、非特許文献1参照）。また、レーザー光と光センサーを用いて切土斜面の動態変化を観測する方法も提案されている（例えば、非特許文献2参照）。

【0004】

しかし、非特許文献1の手法では、変位する地盤と変位しない地盤を跨いでワイヤーを設置する必要があるため、両方の杭が移動領域に入る場合には変位を測定することは困難であり、変位を計測する領域に制限がある。また、非特許文献2の方法では、変位の検出精度が1mm程度と不十分であり、またレーザー光が照射されている1点のみについて変位を計測するため、地盤の回転成分を検出することは原理的に不可能である。

20

【0005】

こうした中、サンプリングモアレ法により微小な変位を計測する方法が提案されている（例えば、特許文献1参照）。この方法は、所定の位置における変位を計測する際に、その所定の位置に設けられた変位計測用の2次元格子を含む変位計測用画像を撮影し、サンプリングモアレ法により変位計測用画像からモアレの位相分布を導出することにより、所定の位置における変位前後の位相差から変位を計測するものである。

【先行技術文献】

30

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特許第3937024号明細書

【非特許文献】

【0007】

【非特許文献1】武居有恒、地すべり・崩壊・土石流 - 予測と対策、鹿島出版会、1980年、4-3、104頁

【非特許文献2】伊藤和也、他3名、「レーザーと光センサーを利用した2次元変位計測システムの開発と切土斜面の動態観測への適用」、土木学会論文集C、土木学会、2007年、Vol.63、No.2、pp.502-515

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

ところで、崖崩れの前兆現象を正しく捉えるためには、崖崩れの危険性を有する地点において、その地点における地形変動のデータを高い精度で検出し、昼夜を問わず定点観測を継続的に自動的に行うことが必要になる。

【0009】

しかしながら、特許文献1の方法は、変位計測用の2次元格子のピッチおよび解析すべき領域の入力や、CCDカメラ等の撮影装置の露光時間の調整等は手動で行う必要があり、変位計測装置の自動化が困難である。また、モアレの位相解析処理は変位計測用画像の

50

画素の並び方向に対して行うため、撮影装置の撮影方向と変位計測用の２次元格子の法線方向とが平行でない場合には誤差を生じてしまい、検出された変位の精度の点で改良の余地を有している。さらに、変位計測に不要な領域も含む変位計測用画像全体に対してモアレの位相解析を行うため、解析時間の点で効率的とは言い難い。

【 0 0 1 0 】

そこで、本発明の目的は、サンプリングモアレ法により所定の位置における微小な変位を高精度かつ高効率に自動的に計測する装置、方法およびプログラムを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 1 】

本発明の所定の位置における変位を計測するための変位計測装置は、前記所定の位置に設けられた変位計測用の格子を含む変位計測用画像を撮影する撮影部と、前記変位計測用画像に対して２次元フーリエ変換を行って得られた輝度の振幅およびサンプリングモアレ法による位相解析を行って得られた輝度の振幅に基づいて前記格子の領域を検出して該格子領域の画像を抽出する格子領域検出部と、抽出した前記格子領域の画像に対してサンプリングモアレ法により前記格子領域の画像に対するモアレの位相分布を導出する位相分布導出部と、前記位相分布から求められた前記所定の位置における変位前後の位相差と予め定められた格子ピッチとから前記所定の位置における変位を決定する変位決定部とを備えることを特徴とするものである。これにより、格子領域の画像のみを解析すればよいので、変位の解析時間を大きく低減することができる。

【 0 0 1 2 】

また、本発明の所定の位置における変位を計測するための変位計測装置は、前記所定の位置に設けられた変位計測用の格子を含む変位計測用画像を撮影する撮影部と、前記変位計測用画像から予め抽出された前記格子の領域の画像に対して、サンプリングモアレ法により前記格子領域の画像に対するモアレの位相分布を導出する位相分布導出部と、導出した前記位相分布における所定の２地点間の画素数と格子数とから格子ピッチを検出する格子ピッチ検出部と、前記位相分布から求められた前記所定の位置における位相差と前記格子ピッチとから前記所定の位置における変位を決定する変位決定部とを備えることを特徴とするものである。これにより、変位計測用画像の法線方向と変位計測用の格子の法線方向が一致していない場合にピッチを補正することができる。

【 0 0 1 3 】

また、本発明の変位計測装置において、前記格子領域検出部は、前記変位計測用画像に対して２次元フーリエ変換を施してパワースペクトルを出力するフーリエ変換器と、前記パワースペクトルにおける１次調和波成分のピークを検出し、該ピークの座標を出力する１次調和波ピーク検出器と、前記変位計測用画像の縦および横方向の画素数を前記ピークの縦および横方向の座標でそれぞれ除算し、その商の整数部分である基準ピッチを出力する基準ピッチ決定器と、前記基準ピッチを用いてサンプリングモアレ法によりモアレの位相分布とパワー分布を導出し、パワー分布を出力するパワー分布導出器と、前記パワー分布に対してマスク画像を生成し、該マスク画像に対して膨張および縮小処理を施して前記変位計測用画像中の矩形領域を検出して格子領域決定器に出力する矩形領域検出器と、前記矩形領域を前記変位計測用画像に当てはめて前記格子領域を決定し、前記格子領域の画像を出力する格子領域決定器とを備えることを特徴とするものである。

【 0 0 1 4 】

また、本発明の変位計測装置において、前記位相分布導出部は、前記格子領域の画像に対して平滑化処理を施す平滑化処理部と、平滑化された前記格子領域の画像を入力してフーリエ変換を施して前記パワースペクトルを出力するフーリエ変換器と、前記パワースペクトルから１次調和波の抽出する１次調和波抽出器と、抽出した前記１次調和波に対して逆フーリエ変換を施し、各画素に対して得られた複素振幅の実部と虚部の値から位相分布を導出する逆フーリエ変換器と、導出された前記位相分布に対して位相接続を施し、連続化された位相分布を導出する位相接続器とを備えることを特徴とするものである。

【 0 0 1 5 】

また、本発明の変位計測装置において、前記格子領域の画像に対してフーリエ変換を施し、得られたパワースペクトルにおける1次調和波に対する2次調和波のピーク値の比率から変位計測用画像を撮影する際の最適な露光時間を決定する露光時間調整部を更に備えることを特徴とするものである。これにより変位計測用画像の露出を適正にして格子領域の画像を容易に抽出することができる。

【 0 0 1 6 】

また、本発明の所定の位置における変位を計測するための変位計測方法は、前記所定の位置に設けられた変位計測用の格子を含む変位計測用画像を撮影するステップと、前記変位計測用画像に対して2次元フーリエ変換を施してパワースペクトルを出力するステップと、前記パワースペクトルにおける1次調和波成分のピークを検出し、該ピークの座標を出力するステップと、前記変位計測用画像の縦および横方向の画素数を前記ピークの縦および横方向の座標でそれぞれ除算し、その商の整数部分である基準ピッチを出力するステップと、前記基準ピッチを用いてサンプリングモアレ法によりモアレの位相分布とパワー分布を導出し、パワー分布を出力するステップと、前記パワー分布に対してマスク画像を生成し、該マスク画像に対して膨張および縮小処理を施して前記変位計測用画像中の矩形領域を検出して格子領域決定器に出力するステップと、前記矩形領域を前記変位計測用画像に当てはめて前記格子領域を決定し、前記格子領域の画像を出力するステップと、前記格子領域の画像に対して平滑化処理を施すステップと、平滑化された前記格子領域の画像を入力してフーリエ変換を施して前記パワースペクトルを出力するステップと、前記パワースペクトルから1次調和波を抽出するステップと、抽出した前記1次調和波に対して逆フーリエ変換を施し、各画素に対して得られた複素振幅の実部と虚部の値から位相分布を導出するステップと、導出された前記位相分布に対して位相接続を施し、連続化された位相分布を導出するステップと、連続化された前記位相分布における所定の2地点間の画素数と格子数とから格子ピッチを検出するステップと、連続化された前記位相分布から求められた前記所定の位置における位相差と、前記格子ピッチとから前記所定の位置における変位を決定するステップとを含むことを特徴とするものである。

【 0 0 1 7 】

また、本発明の変位計測プログラムは、所定の位置における変位を計測するための変位計測装置として構成するコンピュータに、前記所定の位置に設けられた変位計測用の格子を含む変位計測用画像を撮影するステップと、前記変位計測用画像に対して2次元フーリエ変換を施してパワースペクトルを出力するステップと、前記パワースペクトルにおける1次調和波成分のピークを検出し、該ピークの座標を出力するステップと、前記変位計測用画像の縦および横方向の画素数を前記ピークの縦および横方向の座標でそれぞれ除算し、その商の整数部分である基準ピッチを出力するステップと、前記基準ピッチを用いてサンプリングモアレ法によりモアレの位相分布とパワー分布を導出し、パワー分布を出力するステップと、前記パワー分布に対してマスク画像を生成し、該マスク画像に対して膨張および縮小処理を施して前記変位計測用画像中の矩形領域を検出して格子領域決定器に出力するステップと、前記矩形領域を前記変位計測用画像に当てはめて前記格子領域を決定し、前記格子領域の画像を出力するステップと、前記格子領域の画像に対して平滑化処理を施すステップと、平滑化された前記格子領域の画像を入力してフーリエ変換を施して前記パワースペクトルを出力するステップと、前記パワースペクトルから1次調和波を抽出するステップと、抽出した前記1次調和波に対して逆フーリエ変換を施し、各画素に対して得られた複素振幅の実部と虚部の値から位相分布を導出するステップと、導出された前記位相分布に対して位相接続を施し、連続化された位相分布を導出するステップと、連続化された前記位相分布における所定の2地点間の画素数と格子数とから格子ピッチを検出するステップと、連続化された前記位相分布から求められた前記所定の位置における位相差と、前記格子ピッチとから前記所定の位置における変位を決定するステップとを実行させることを特徴とするものである。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 8 】

本発明によれば、崖崩れ等の危険な場所における微小な変位を高精度かつ高効率で自動的に計測することができる。

【 0 0 1 9 】

また、検出用の格子パターン、CCDカメラ等の撮影装置およびパソコン等の解析処理装置のみで変位の計測を行うことができ、特別な計測器や電源の設置、およびそれらの配線作業等を必要としないため、低コストで変位の計測を行うことができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 0 】

【図1】本発明の一実施例による変位計測装置のブロック図である。

10

【図2】本発明の一実施例による変位計測装置における格子領域検出部のブロック線図である。

【図3】本発明の一実施例による変位計測装置における位相分布導出部のブロック線図である。

【図4】斜面に設置した2次元格子プレートと撮影用カメラを示している。

【図5】斜面に設置した2次元格子プレートの実例を示している。

【図6】(a)~(d)は、サンプリングモアレ法による位相算出の原理を示している。

【図7】(a)~(g)は、サンプリングモアレ法による2次元格子の位相解析の例を示している。

【図8】撮影された変位検出用画像の模式図を示している。

20

【図9】撮影された変位検出用画像に対してフーリエ変換を施して得られたパワースペクトルを示している。

【図10】x方向の強度によるマスク画像を示している。

【図11】y方向の強度によるマスク画像を示している。

【図12】新たに作成されたマスク画像を示している。

【図13】設定された作業領域(矩形領域)を示している。

【図14】撮影された画像に作業領域(矩形領域)を当てはめた様子を示している。

【図15】抽出された2次元格子領域を示している。

【図16】抽出された2次元格子領域に対してフーリエ変換を施して得られたパワースペクトルを示している。

30

【図17】x方向の位相分布を示している。

【図18】位相接続されたx方向の位相分布を示している。

【図19】y方向の位相分布を示している。

【図20】位相接続されたy方向の位相分布を示している。

【図21】露光が過剰な場合の撮影された画像とそのヒストグラムを示している。

【図22】露光がわずかに過剰な場合の撮影された画像とそのヒストグラムを示している。

【図23】露光が適正な場合の撮影された画像とそのヒストグラムを示している。

【図24】露光が過小な場合の撮影された画像とそのヒストグラムを示している。

【図25】露光が過剰な場合の2次調和波を示している。

40

【図26】露光が適正な場合の2次調和波を示している。

【図27】本発明の一実施例による変位計測方法のフローチャートを示している。

【図28】2次元格子が撮影された画像を示している。

【図29】撮影された2次元格子に対してフーリエ変換を施して得られたパワースペクトルを示している。

【図30】検出されたパワースペクトル中の1次調和波のピークを示している。

【図31】検出されたピーク領域を切り抜いた結果を示している。

【図32】撮影された画像に対するモアレ縞の位相分布を示している。

【図33】フーリエ変換して得られたパワースペクトルに基づくマスク画像である。

【図34】マスク画像に対して縮小・膨張処理を施して得られた格子領域を示している。

50

【図 3 5】作成された矩形領域を示している。

【図 3 6】撮影された変位計測用画像に矩形領域を当てはめて抽出した格子領域の画像を示している。

【図 3 7】抽出された格子領域の画像に対してフーリエ変換を施して得られたパワースペクトルを示している。

【図 3 8】逆フーリエ変換を施して得られた横方向の位相分布を示している。

【図 3 9】逆フーリエ変換を施して得られた縦方向の位相分布を示している。

【図 4 0】位相接続された横方向の位相分布を示している。

【図 4 1】位相接続された縦方向の位相分布を示している。

【発明を実施するための形態】

10

【0021】

以下、図面を参照して本発明の実施形態について詳細に説明する。

【0022】

まず、本発明の一実施例による変位計測装置を説明する。図 1 に示す本発明の一実施例による変位計測装置 100 は、変位計測用画像撮影部 1 と、格子領域検出部 2 と、位相分布導出部 3 と、格子領域ピッチ検出部 4 と、変位決定部 5 と、露光時間調整部 6 とを備える。

【0023】

格子領域検出部 2 は、フーリエ変換器 21 と、1 次調和波ピーク検出器 22 と、基準ピッチ決定器 23 と、パワー分布導出器 24 と、矩形領域検出器 25 と、格子領域決定器 26 とを有する。

20

【0024】

また、位相分布導出部 3 は、平滑化処理器 31 と、フーリエ変換器 32 と、1 次調和波抽出器 33 と、逆フーリエ変換器 34 と、位相接続器 35 とを有する。

【0025】

変位計測用画像撮影部 1 は、変位を計測する所定の位置に設けられた変位計測用格子を含む画像を撮影して格子領域検出部 2 に出力する。変位計測用格子を撮影する際には、露光時間調整部 6 により決定された最適な露光時間で撮影するようにする。変位計測用画像撮影部 1 は、例えば CCD カメラとすることができる。

【0026】

格子領域検出部 2 は、入力した画像から変位計測用格子の領域を検出して抽出し、位相分布導出部 3 および露光時間調整部 6 に出力する。

30

【0027】

フーリエ変換器 21 は、入力した画像に対して 2 次元フーリエ変換を施し、得られたパワースペクトルを 1 次調和波ピーク検出器 22 に出力する。

【0028】

1 次調和波ピーク検出器 22 は、入力したパワースペクトルから x および y 方向双方に対して 1 次調和波成分のピークを検出し、検出したピークの x および y 座標を基準ピッチ決定器 23 に出力する。

【0029】

基準ピッチ決定器 23 は、変位計測用画像の x (y) 方向の画素数を入力した 1 次調和波成分のピークの x (y) 座標で除算し、その商を例えば小数点以下を四捨五入して整数化し、x (y) 方向の基準ピッチとしてパワー分布導出器 24 に出力する。

40

【0030】

パワー分布導出器 24 は、後述するサンプリングモアレ法により、モアレの位相分布とパワー分布を導出し、パワー分布を矩形領域検出器 25 に出力する。

【0031】

矩形領域検出器 25 は、入力したパワー分布に対して所定のしきい値を用いて二値化し、x および y 方向のそれぞれに対してマスク画像を生成し、両者のパワーの大きい共通領域をマスク画像として置き換える。続いてマスク画像に対して膨張・縮小処理を施して画

50

像中の矩形領域を検出し、格子領域決定器 2 6 に出力する。

【 0 0 3 2 】

格子領域決定器 2 6 は、入力した矩形領域から格子領域を決定し、格子領域の画像を位相分布導出部 3 に出力する。

【 0 0 3 3 】

位相分布導出部 3 は、入力した格子領域の画像に対して、サンプリングモアレ法により位相分布を導出して格子領域ピッチ検出部 4 に出力する。

【 0 0 3 4 】

平滑化処理器 3 1 は、入力した格子領域の画像に対して平滑化処理を施し、フーリエ変換器 3 2 に出力する。平滑化処理器 3 1 としては、例えばローパスフィルタや移動平均フィルタ、加重平均フィルタ等を使用することができる。

【 0 0 3 5 】

フーリエ変換器 3 2 は、平滑化された格子領域の画像を入力して 2 次元フーリエ変換を施し、得られたパワースペクトルを 1 次調和波抽出器 3 3 に出力する。

【 0 0 3 6 】

1 次調和波抽出器 3 3 は、入力したパワースペクトルに対して 1 次調和波を抽出し、逆フーリエ変換器 3 4 に出力する。

【 0 0 3 7 】

逆フーリエ変換器 3 4 は、入力した 1 次調和波に対して逆フーリエ変換を施し、各画素に対して得られた複素振幅の実部と虚部の値から位相分布を導出して位相接続器 3 5 に出力する。

【 0 0 3 8 】

位相接続器 3 5 は、入力した位相分布に対して位相接続を施し、連続化された位相分布を導出して格子領域ピッチ検出部 4 に出力し、また記憶装置（図示せず）に記憶する。

【 0 0 3 9 】

格子領域ピッチ検出部 4 は、入力した位相分布における所定の 2 点間の画素数と格子の数から格子ピッチを検出して変位決定部 5 に出力する。

【 0 0 4 0 】

変位決定部 5 は、入力した格子ピッチと、記憶装置（図示せず）から読み出した位相分布から求めた変位前後の位相差とから、所定の位置における変位を算出して出力する。

【 0 0 4 1 】

露光時間調整部 6 は、格子領域検出部 2 により抽出された前記格子領域の画像に対してフーリエ変換を施し、得られたパワースペクトルにおける 1 次調和波に対する 2 次調和波のピーク値の比率から変位計測用画像を撮影する際の最適な露光時間を決定し、変位計測用画像撮影部 1 に出力する。

【 0 0 4 2 】

尚、警報装置を更に備えて、計測された変位量が所定の値を超えた場合に警報を発するように構成することもできる。

【 0 0 4 3 】

このような変位計測装置 1 0 0 を用いて所定の位置における微小な変位を高精度かつ高効率で自動的に計測することができる。

【 0 0 4 4 】

次に、変位計測装置 1 0 0 の動作について、原理も含めて詳細に説明する。

【 0 0 4 5 】

（サンプリングモアレ法の原理）

まず、サンプリングモアレ法による位相解析の原理について説明する。サンプリングモアレ法とは、撮影された変位計測用画像の中の格子領域の画像に対して、サンプリング点およびサンプリング間隔を変えながら、得られる複数枚の位相シフトされたモアレ縞画像から位相分布を求める位相解析手法である。

【 0 0 4 6 】

10

20

30

40

50

図4は、斜面の微小変位計測を行うための2次元の基準格子(以下、「2次元格子」と称する)のプレートと撮影装置であるCCDカメラの配置を示している。また、図5は、実際の変位計測に使用される2次元格子プレートの写真である。図6にサンプリングモアレ法による位相解析の原理を1次元の基準格子(以下、「1次元格子」と称する)を用いて説明する。図6(a)における黒点はCCDカメラのサンプリング点であり、図6(b)は変位計測用の1次元格子の様様である。図6(c)は図6(b)の基準格子を図6(a)のサンプリング点で撮影したときに得られた輝度値である。CCDカメラにおいては、画素ピッチの正方形の面積に入ってくる光量を積分するため、白黒以外に灰色の輝度データが存在する。

【0047】

この段階ではモアレ縞を観察することができないが、既知のサンプリングモアレ法を用いて、基準格子のピッチ(以下、「基準ピッチ」と称する)に近い画素数(ここでは4画素を例とする)で間引き処理を行うことにより、図6(d)~図6(g)に示すようなモアレ縞を観察することができる(例えば、Y. Arai他、“High Precision Two-dimensional Spatial Fringe Analysis Method”、Journal of Modern Optics、1997、Vol. 44、No. 4、p. 739-751参照)。即ち、図6(d)は画像の左側から1番目のサンプリング点から4画素おきに間引いたものであるのに対して、図6(e)~図6(g)はそれぞれ2番目、3番目、4番目のサンプリング点から間引いている。この処理は4回位相シフトしたことに相当する。さらに、図6(h)~図6(k)に示すように、欠落したデータに対して、近傍のデータを用いて線形補間を行うことにより、元の変位計測用画像と同じ解像度のモアレ縞を得ることができる。

【0048】

図6の例においては4画素おきに間引き処理を行っているが、後に詳述するように撮影される格子の基準ピッチに応じて間引きの画素数を決める。位相シフト回数をN、位相シフト量が $2k/N$ のときの輝度を I_k とすると式(1)が導かれ、この式から位相値を求めることができる。

【数1】

$$\tan\theta = -\frac{\sum_{k=0}^{N-1} I_k \sin(k \frac{2\pi}{N})}{\sum_{k=0}^{N-1} I_k \cos(k \frac{2\pi}{N})} \quad (1)$$

また、振幅aは以下に示す式(2)より求めることができる。

【数2】

$$a = \sqrt{\left(\sum_{k=0}^{N-1} I_k \sin(k \frac{2\pi}{N})\right)^2 + \left(\sum_{k=0}^{N-1} I_k \cos(k \frac{2\pi}{N})\right)^2} \quad (2)$$

【0049】

このようにして得られる位相値は、間引き処理を行うことによって得られるモアレ縞の位相値である。モアレ縞の位相値 θ_m は、元の格子の位相値 θ_g と基準となる位相値 θ_r (間引き処理のピッチを1周期とした場合の各画素の位相値)との差であるため、次の式が成り立つ。

【数3】

$$\theta_m = \theta_g - \theta_r \quad (3)$$

したがって式(3)から

10

20

30

40

【数4】

$$\theta_g = \theta_m + \theta_r \quad (4)$$

となり、簡単に元の基準格子の位相値を求めることができる。

【0050】

図7にサンプリングモアレ法による2次元格子を使用した位相解析の例(横方向の位相解析)を示す。2次元格子の場合は、まず位相解析を行う方向(横または縦方向)とその垂直方向に平滑化処理を行う。平滑化の幅は、格子ピッチ以上の大きさとする。図7(a)に撮影された2次元格子、図7(b)に縦方向に平滑化処理を行った後の画像を示す。図7(c)に図7(b)から得られたサンプリングモアレ画像を示す。図7(d)は、図7(c)に対して式(1)を適用することによって得られたサンプリングモアレの位相分布を示す。図7(e)は、サンプリングを行う2次元格子の位相分布を示す。図7(f)は、図7(d)と図7(e)から式(4)によって得られた2次元格子の横方向の位相分布を示している。図7(g)は、図7(f)を位相接続した位相分布を示す。このようにして、2次元格子の場合にもサンプリングモアレ法により位相分布が得られることが分かる。

10

【0051】

所定の位置における変位前後の位相分布から求まる位相差を d 、格子のピッチを p (mm)とすると、変位量 d_x は式(5)のようになる。

【数5】

$$d_x = -\frac{d\theta}{2\pi} \times p \quad (5)$$

20

こうして所定の位置における変位前後の変位量 d_x を求めることができる。

【0052】

(2次元格子領域の自動検出方法)

次に、格子領域を含む変位計測用画像から格子領域を検出して抽出する方法について説明する。これは、変位計測用画像には上述のサンプリングモアレ法による位相解析に不要な領域が含まれるため、格子領域の画像を抽出することによって処理時間の低減を図るものである。これにより、同じ時間内に平均化する回数を増やすことができるため、計測精度が向上する。また、外乱によってCCDカメラ等の撮影装置の向きが変化した場合にも自動的に撮影領域の変更を行うことができる。

30

【0053】

式(2)により得られる振幅 a は、画像の1画素ごとに得られる値である。この値は、サンプリングのピッチに近いピッチを有する格子が撮影されている領域では大きな値となり、格子以外のパターンが撮影されている領域では小さな値となる。これを利用することにより、格子が撮影されている領域を抽出することができる。ただし、ランダムなパターンであっても、サンプリングを行うピッチに近い間隔の明暗が偶然存在する場合があるが、その場合にも振幅 a は大きな値となる。そこで、撮影された変位計測用画像に対して2次元フーリエ変換を行い、格子の位相解析を行う処理も合わせて行い、その共通する領域を格子領域として抽出する。2次元フーリエ変換で得られる振幅の分布は、面内方向に平滑化されたものとなっているため、2次元格子の領域が抽出されることになる。

40

【0054】

一方、サンプリングモアレ法による振幅は、細かい領域の振幅を表しており、ノイズが多いものの、境界付近であっても格子領域を明確に抽出ができる。その共通する領域を抽出することにより、格子パターンが撮影されている部分を精度よく抽出することができる。

【0055】

以下に、格子領域を検出する手順を以下に簡単に示す。まず、2次元格子の描かれたターゲットをCCDカメラで撮影する。

50

【 0 0 5 6 】

次に、図 8 に示す撮影された変位検出用画像に対して 2 次元フーリエ変換を行う。

【 0 0 5 7 】

続いて、フーリエ変換により得られたパワースペクトルの画像から x 方向（横方向）の 1 次調和波成分（領域 A_x ）のピークを探す。同様に y 方向（縦方向）の 1 次調和波成分（領域 A_y ）のピークも探す。

【 0 0 5 8 】

得られたピークの座標から、基準ピッチを求める。変位計測用画像の横方向の画素数を中心からピークの x 座標で割り整数化した値を x 方向の基準ピッチとする。y 方向（縦方向）の基準ピッチも同様にして求める。

10

【 0 0 5 9 】

次に、得られた基準ピッチを間引き間隔とし、図 8 に示す撮影された変位検出用画像（模式図）に対してサンプリングモアレ法によりモアレの位相分布とパワーの分布（パワースペクトル）を求める。続いて、得られたパワースペクトルに対して所定のしきい値を用いて二値化を行い、図 9 に示すようなマスク画像を作成する。これを x 方向と y 方向についてそれぞれ行うことにより、図 10 と図 11 に示すマスク画像をそれぞれ得る。ここで、2 次元格子が存在する部分は、x 方向のマスク画像と y 方向のマスク画像の双方において白色（マスクされていない点）となる。

【 0 0 6 0 】

しかし、背景についても、上述のように背景の模様によってはパワーが大きくなる領域が発生する。ただし、x 方向と y 方向の両方ともにパワーが大きくなるような点は実際にはあまり存在しない。そのため、図 10 と図 11 に示すマスク領域（黒色の領域）のどちらか片方でも黒色であれば黒とする画像演算を行うことにより、図 12 に示すマスク画像を得ることができる。このようにすれば、図 12 に示すように、背景の部分にマスクされていない領域は少ししか残らないようになる。

20

【 0 0 6 1 】

図 12 に示すマスク画像に対して、マスク領域（黒色の領域）の縮小・膨張を何度か行うことにより背景の白い点を消すことができる（例えば、奥富正俊編、「デジタル画像処理」、第二版、財団法人画像情報教育振興協会、2006年3月1日、p. 179 - 180 参照）。縮小・膨張処理は、画像全体で白色の領域が 1 か所になるまで縮小を繰り返

30

【 0 0 6 2 】

その後、残っている白色の領域内に矩形領域を作成して作業領域とすることにより、図 13 のような格子領域の画像が得られ、格子領域を特定できる。

【 0 0 6 3 】

このようにして、最終的に得られた白色のマスクの領域を元の変位計測用画像に当てはめることにより、格子の描かれている格子領域のみを抽出することができる（図 14 参照）。

【 0 0 6 4 】

（位相分布の導出）

40

上述の方法または他の適切な方法により 2 次元格子領域を検出して解析すべき作業領域（格子領域）が決まったら、その領域内の画像を切り出し、上述のサンプリングモアレ法により、モアレの位相分布を導出する。まず、格子領域の画像に対して 2 次元フーリエ変換を行う。図 15 に切り出された格子画像を示す。この画像に対して 2 次元フーリエ変換を行うと、図 16 に示すようなパワースペクトルが得られる。

【 0 0 6 5 】

次に、x（y）方向の 1 次調和波を抽出する。ここで「1 次調和波の抽出」とは、図 16 において x（y）方向に存在する領域 A_x （ A_y ）の内側を残して、領域 A_x （ A_y ）の外側の領域の値を全て 0 とする処理を意味している。

【 0 0 6 6 】

50

続いて、抽出された $x(y)$ 方向の1次調和波に対して逆フーリエ変換を行い、さらに1画素ごとに得られた複素振幅の実部と虚部の値からその画素の位相値を求めると、図17(図19)に示すような位相分布が得られる。図17(図19)では、位相 $-$ から $+$ までが黒から灰色を通して白までの濃淡で表現されている。

【0067】

さらに、導出された位相分布に対して位相接続することにより、図18(図20)に示すような連続化された位相分布 $\phi_x(x, y)$ ($\phi_y(x, y)$)が得られる。格子の1ピッチが位相値では2に相当する。

【0068】

上記の方法で導出された連続化された位相分布 $\phi_x(x, y)$ および $\phi_y(x, y)$ は、あくまで変位計測用画像の縦および横方向において求められたものであることに注意する。即ち、変位計測用画像撮影部1の撮影方向と、変位計測用の2次元格子の法線方向が平行ではない場合には、得られた2次元格子のピッチは最適なものではない。ここで、最適な2次元格子のピッチを検出する方法について説明する。

【0069】

(2次元格子ピッチの自動検出方法)

ここで、最適な2次元格子のピッチを検出する方法を説明する。まず x 方向(横方向)について考えると、上述のように導出された連続化された位相分布は、 xy 平面に対する位相 ϕ_x の分布と考えることができる。図18に示すように、位相分布内で y 座標を同一とする任意の2点 P と Q を選択し、その2点間の画素数 D_x と位相差 $\Delta\phi_x$ を得る。 $\Delta\phi_x / 2$ が2点 PQ 間に含まれる格子の本数を意味するため、 x 方向の格子ピッチ p_x は、 $p_x = 2 D_x / \Delta\phi_x$ として求めることができる。

【0070】

同様に y 方向(縦方向)についても求められ、上述のように導出された連続化された位相分布は、 xy 平面に対する位相 ϕ_y の分布と考えることができる。図20に示すように、位相分布内で x 座標を同一とする任意の2点 P と Q を選択し、その2点間の画素数 D_y と位相差 $\Delta\phi_y$ を得る。 $\Delta\phi_y / 2$ が2点 PQ 間に含まれる格子の本数を意味するため、 y 方向の格子ピッチ p_y は、 $p_y = 2 D_y / \Delta\phi_y$ として求めることができる。このように、変位計測用画像撮影部1の撮影方向と変位計測用の2次元格子の法線方向が平行ではない場合にも、最適な2次元格子のピッチを求めることができ、計測精度を向上させることができる。

【0071】

(露光時間の調整方法)

続いて、図1における露光時間調整部6による変位計測画像の撮影の際の露光時間の調整方法について説明する。図1の変位計測用画像撮影部1により変位計測用画像を撮影する際に、露光時間を長くしすぎると、格子の明線部分において輝度値の明るさが限界を超えた状態(以降、「オーバーフロー」と称する)となる。明線部分がオーバーフローすると、格子の輝度の波形が変化する。2次調和波のピーク値 h_2 は、波形が上下方向の対称性を失うと大きくなる性質を有しているため、1次調和波に対する2次調和波のピーク値 h_2 の比率によってオーバーフローが発生しているか否かを判定することができる。以下に、この判定結果を使用して変位計測用画像を撮影する際の露光時間を調整する方法について説明する。

【0072】

図21~26は、露光時間を変化させた場合に撮影された画像とヒストグラムを示している。撮影対象物は2次元格子パターンである。まず、大きな露光オーバーの状態についてみると、図21は露光時間が1/6秒、1次調和波に対する2次調和波のピーク値の比率が0.096の場合の撮影された格子画像とそのヒストグラムを示している。撮影された格子画像における黒の部分と白の部分は、右側に示すヒストグラムにそれぞれ山のよう現れる。ヒストグラムを見ると、右側の山が最大輝度に大きくかかっていることが分かる。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 3 】

図 2 2 は、露光時間が 1 / 1 0 秒、1 次調和波に対する 2 次調和波のピーク値の比率が 0 . 0 6 8 の場合の露光オーバーがわずかな場合に対する結果を示している。ヒストグラムを見ると、右側の山が最大輝度に一部かかっていることが分かる。左側の撮影された画像からも、一部が白飛びしている様子が分かる。

【 0 0 7 4 】

図 2 3 は、露光時間が 1 / 1 1 秒、1 次調和波に対する 2 次調和波のピーク値の比率が 0 . 0 3 5 の場合の適正な露光で撮影された場合の結果を示している。ここで「適正な露光」とは、ヒストグラムにおいて 2 つの山がオーバーフローせず、かつその間隔が最も離れた状態を意味している。図 2 2 の場合に比べると分かるように、2 つの山がオーバーフローしておらず、かつ 2 つの山の間隔も大きい。

10

【 0 0 7 5 】

図 2 4 は、露光時間が 1 / 6 5 秒、1 次調和波に対する 2 次調和波のピーク値の比率が 0 . 0 4 3 の場合の露光時間が短すぎる場合の結果を示している。2 つの山の間隔が狭く、白と黒のコントラストが低いことが分かる。

【 0 0 7 6 】

図 2 5 および 2 6 は、それぞれ図 2 1 に示した露光が過多の場合と、図 2 3 に示した適正な露光の場合の 2 次調和波を示している。

【 0 0 7 7 】

格子領域検出部 2 により、変位計測用画像から抽出された格子領域の画像が得られたら、該格子領域の画像に対してフーリエ変換を施してパワースペクトルを導出する。次にパワースペクトルにおける 1 次調和波に対する 2 次調和波のピーク値の比率を求める。露光時間を長く調整した場合に上記比率が上がる場合には露光過多を意味しているため、露光時間を短くしていき、上記比率の変化がなくなるまで続ける。こうして変位計測用画像の撮影時に露光時間が最適となるように調整することができ、時間変化や雲の動きによる照度変化、または夜間時に最適な露光量で 2 次元格子の撮影を行うことができるようになる。

20

【 0 0 7 8 】

以上の変位計測装置 1 0 0 の動作のフローチャートを図 2 7 に示す。

【 0 0 7 9 】

(変位計測方法)

まず、ステップ S 1 にて、変位計測用画像撮影部 1 により、変位を計測する所定の位置に設けられた変位計測用格子を含む画像を撮影する。

30

【 0 0 8 0 】

ステップ S 2 にて、フーリエ変換器 2 1 により、入力した画像に対して 2 次元フーリエ変換を施し、得られたパワースペクトルを出力する。

【 0 0 8 1 】

ステップ S 3 にて、1 次調和波ピーク検出器 2 2 により、入力したパワースペクトルから x および y 方向双方に対して 1 次調和波成分のピークを検出し、検出したピークの x および y 座標を出力する。

40

【 0 0 8 2 】

ステップ S 4 にて、基準ピッチ決定器 2 3 により、変位計測用画像の x (y) 方向の画素数を入力した 1 次調和波成分のピークの x (y) 座標で除算し、その商を例えば小数点以下を四捨五入して整数化し、x (y) 方向の基準ピッチとしてパワー分布導出器 2 4 に出力する。

【 0 0 8 3 】

ステップ S 5 にて、パワー分布導出器 2 4 により、サンプリングモアレ法により、モアレの位相分布とパワー分布を導出し、導出した x および y 方向に対するパワー分布を出力する。

【 0 0 8 4 】

50

ステップS 6にて、矩形領域検出器 25により、入力したxおよびy方向のパワー分布に対して所定のしきい値を用いて二値化し、xおよびy方向のそれぞれに対してマスク画像を生成し、両者のパワーの大きい共通領域をマスク画像として置き換える。続いてマスク画像に対して以下に詳述する膨張・縮小処理を施して画像中の矩形領域を検出して出力する。

【0085】

ステップS 7にて、格子領域決定器 26により、入力した矩形領域から格子領域を決定し、格子領域の画像を出力する。

【0086】

ステップS 8にて、平滑化処理部 31により、入力した格子領域の画像に対して平滑化処理を施す。

10

【0087】

ステップS 9にて、フーリエ変換器 32により、平滑化された格子領域の画像を入力してフーリエ変換を施し、パワースペクトルを出力する。

【0088】

ステップS 10にて、1次調和波抽出器 33により、入力したパワースペクトルに対して1次調和波を抽出する。

【0089】

ステップS 11にて、逆フーリエ変換器 34により、入力した1次調和波に対して逆フーリエ変換を施し、各画素に対して得られた複素振幅の実部と虚部の値から位相分布を導出する。

20

【0090】

ステップS 12にて、位相接続器 35により、入力した位相分布に対して位相接続を施し、連続化された位相分布を導出して出力する。

【0091】

ステップS 13にて、格子領域ピッチ検出部 4により、入力した位相分布における所定の2点間の画素数と格子の数から格子ピッチを検出して出力する。

【0092】

ステップS 14にて、変位決定部 5により、入力した格子ピッチと、記憶装置(図示せず)から読み出した位相分布から求めた変位前後の位相差とから、所定の位置における変位を算出して出力する。

30

【0093】

こうして、崖崩れ等の危険を有する所定の位置における微小な変位を高精度かつ高効率に自動的に検出できる。

【0094】

(変位計測結果)

以下に、上述の変位計測装置を使用した結果を示す。変位計測に際して2本の杭を用いし、一方を杭A、他方を杭Bとして杭Aに10mmと5mmのピッチの2次元格子を付けた。変位計測は、カメラと杭Aを5m離して行い、杭Aの近くに鉄杭を打ちつけ人為的に変位を与えた。変位前と変位後で1枚ずつ撮影し、サンプリングモアレ法を適用することによって位相分布を求め、変位量を調べた。以下、変位計測処理について説明する。まず、2次元格子が描かれたターゲットをCCDカメラで撮影し(図28参照)、該撮影画像に対して2次元フーリエ変換を施した(図29参照)。続いて、得られたパワースペクトルにおける1次調和波のピークを検出し(図30参照)、検出されたピークを含む領域を抽出した(図31参照)。ピークを検出した後に変位計測用画像の画素数とピークの座標から2次元格子の基準ピッチを求めた。続いて、得られた基準ピッチを間引き間隔として、サンプリングモアレ法を用いてモアレの位相分布(図32参照)とパワーの分布を求め、得られたパワーの分布にしきい値を設けてマスク画像を作成した(図33参照)。作成されたマスク画像に対して、格子領域のみが残るように縮小・膨張処理を施し(図34参照)、縮小・膨張処理を施して得られた画像から矩形領域を作成した(図35参照)。そ

40

50

の後、作成した矩形領域を元の変位計測用画像に当てはめて抽出し（図36参照）、抽出された格子領域の画像に対して2次元フーリエ変換を施した（図37参照）。得られたパワースペクトルにおける横方向空間周波数成分のある領域内と縦方向空間周波数成分のある領域に対してそれぞれ逆フーリエ変換を施し、横方向および縦方向の位相分布を求めた（図38および図39参照）。得られた位相分布のそれぞれに対して位相接続を施し、連続化された位相分布を得た（図40および図41参照）。得られた連続化された位相分布から所定の位置における変位前後の位相差を求めることにより、変位を求めた。得られた連続化された位相分布から所定の位置における変位前後の位相差を求めることにより、所定の位置における変位を求めることができる。このようにして、撮影された変位計測用画像から、所定の位置における変位を求めることができた。

10

【0095】

更に、本発明の一態様として、変位計測装置100を、各装置として機能するコンピュータとしてそれぞれ構成させることができる。コンピュータに、前述した各構成要素を実現させるためのプログラムは、各コンピュータの内部又は外部に備えられる記憶部に記憶される。そのような記憶部は、外付けハードディスクなどの外部記憶装置、或いはROM又はRAMなどの内部記憶装置で実現することができる。各コンピュータに備えられる制御部は、中央演算処理装置（CPU）などの制御で実現することができる。即ち、CPUが、各構成要素の機能を実現するための処理内容が記述されたプログラムを、適宜、記憶部から読み込んで、各構成要素の機能をコンピュータ上で実現させることができる。ここで、各構成要素の機能をハードウェアの全部又は一部で実現しても良い。

20

【0096】

以上、具体例を挙げて本発明を詳細に説明してきたが、本発明の特許請求の範囲から逸脱しない限りにおいて、あらゆる変形や変更が可能であることは当業者に明らかである。例えば、露光時間を変位計測用画像の撮影前に調整するように構成することも可能である。従って、本発明は上記の実施形態に限定されるものではない。

【産業上の利用可能性】

【0097】

本発明によれば、微小な変位を高精度かつ高効率で自動的に計測できるので、崖崩れ等の危険を有する地点における変位の定点観測等に有用である。

【符号の説明】

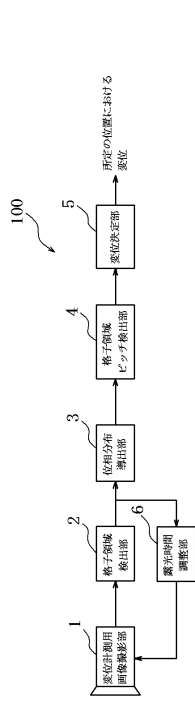
30

【0098】

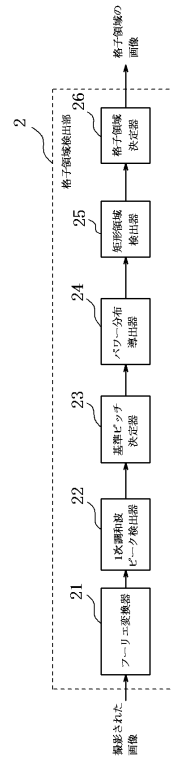
- 1 変位計測用画像撮影部
- 2 格子領域検出部
- 3 位相分布導出部
- 4 格子領域ピッチ検出部
- 5 変位決定部
- 6 露光時間調整部
- 21, 32 フーリエ変換器
- 22 1次調和波ピーク検出器
- 23 基準ピッチ決定器
- 24 パワー分布導出器
- 25 矩形領域検出器
- 26 格子領域決定器
- 31 平滑化処理器
- 33 1次調和波抽出器
- 34 逆フーリエ変換器
- 35 位相接続器
- 100 変位計測装置

40

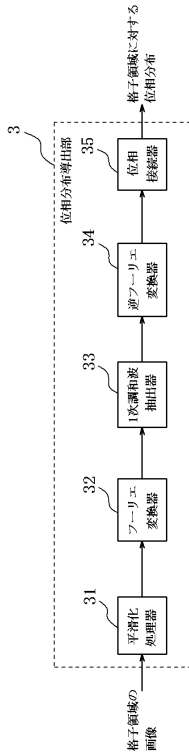
【図 1】



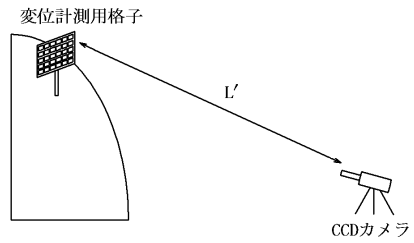
【図 2】



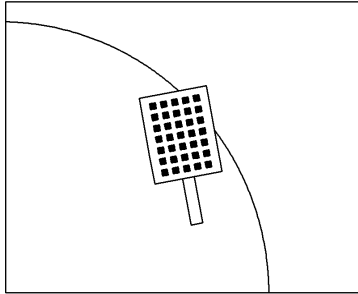
【図 3】



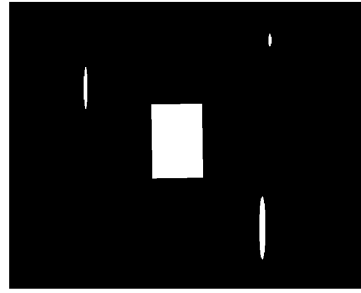
【図 4】



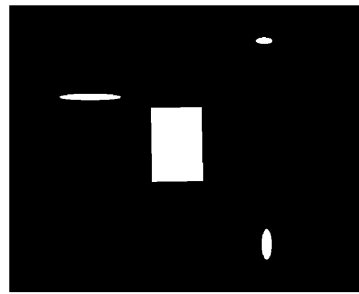
【図 8】



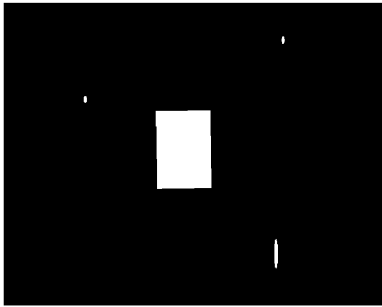
【図 10】



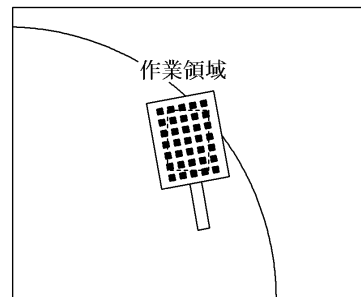
【図 11】



【図 12】



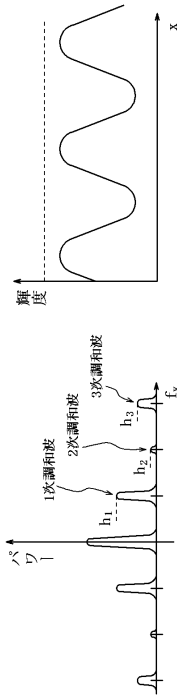
【図 14】



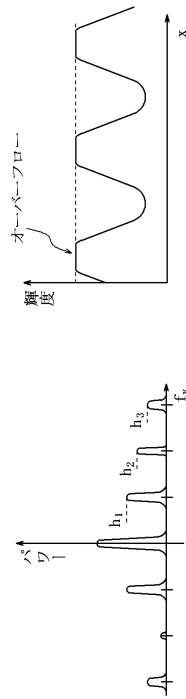
【図 13】



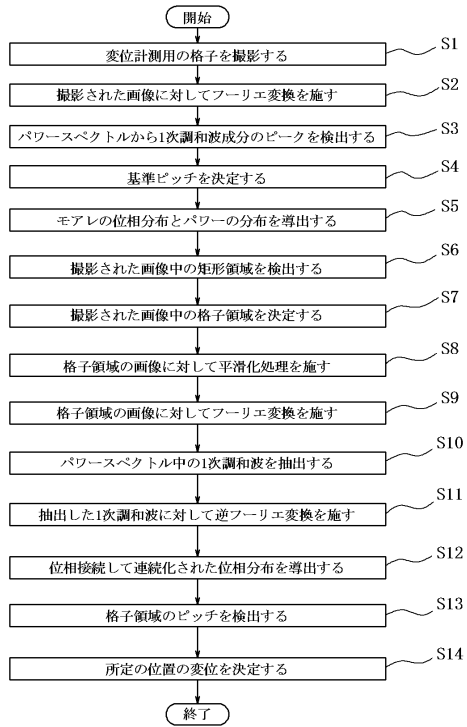
【図25】



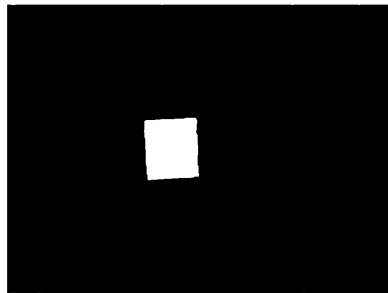
【図26】



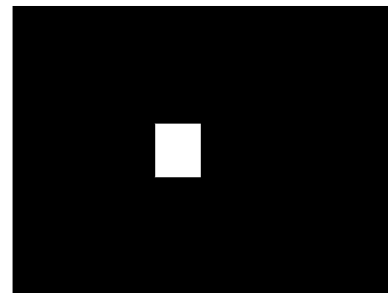
【図27】



【図34】



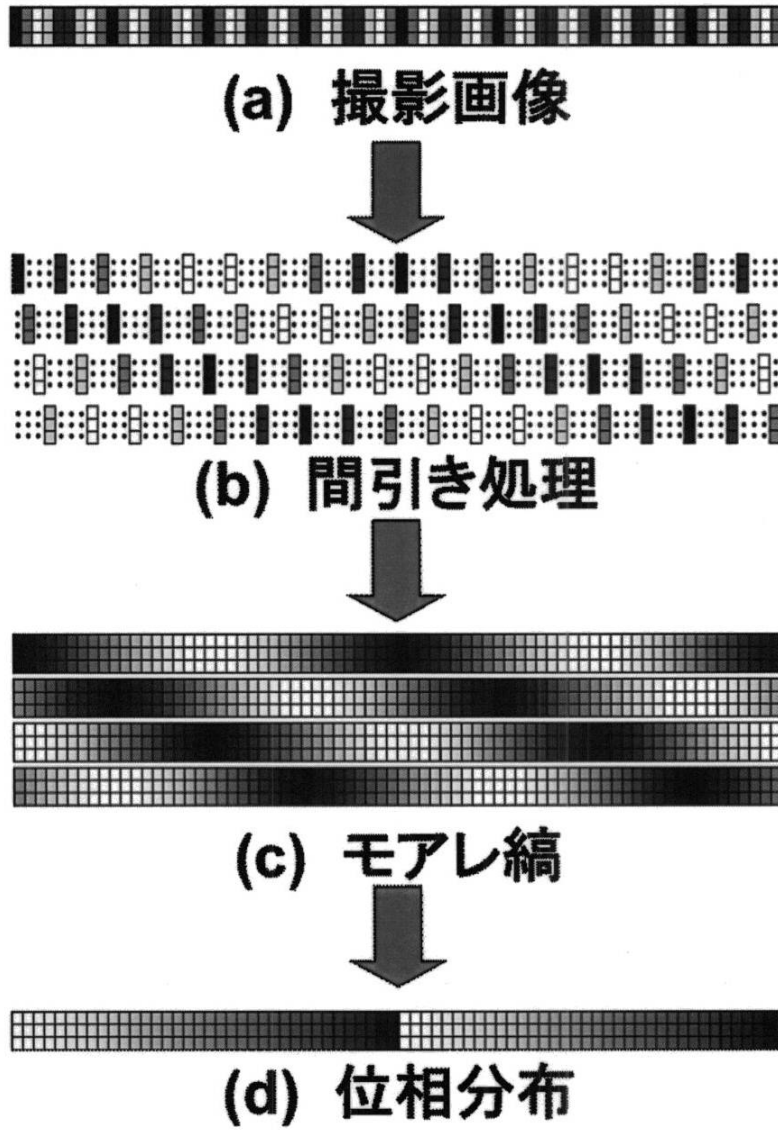
【図35】



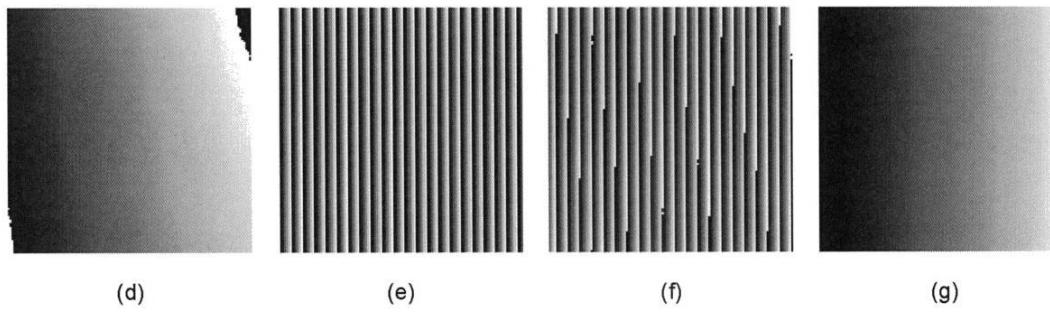
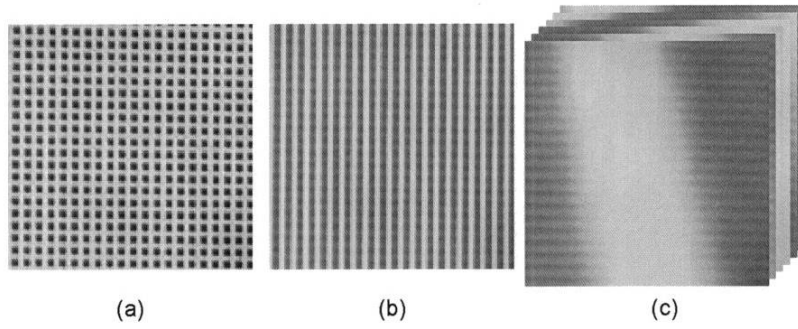
【 図 5 】



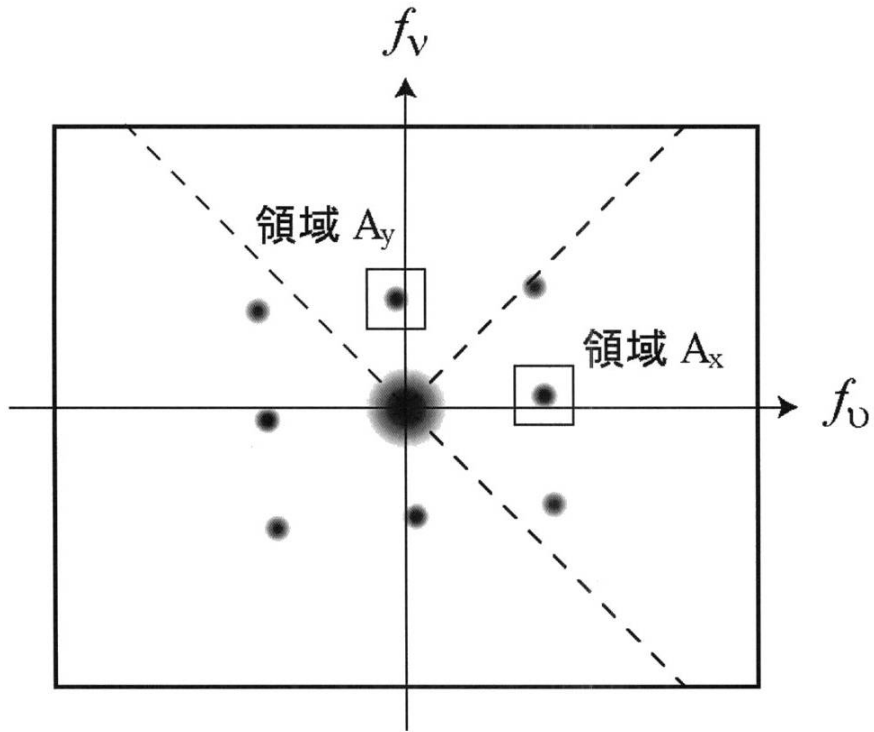
【図6】



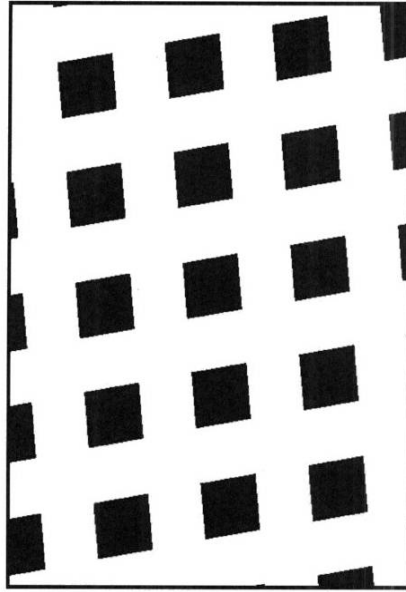
【 図 7 】



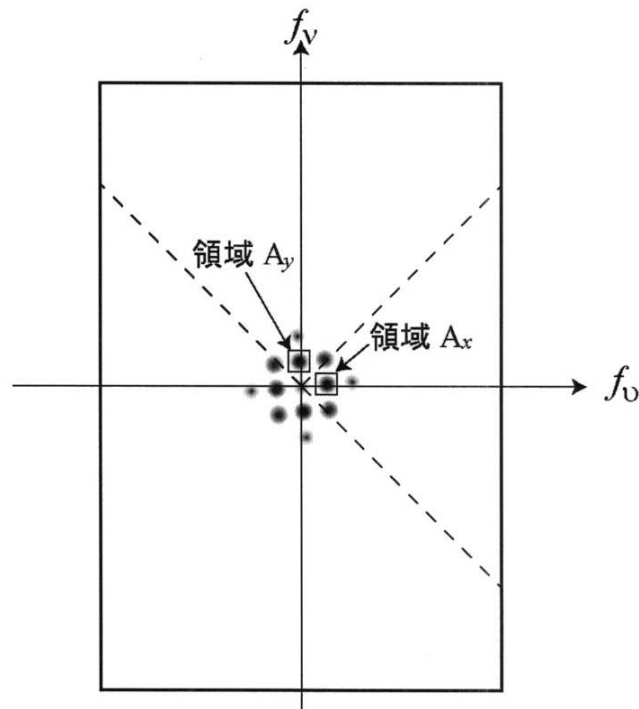
【図9】



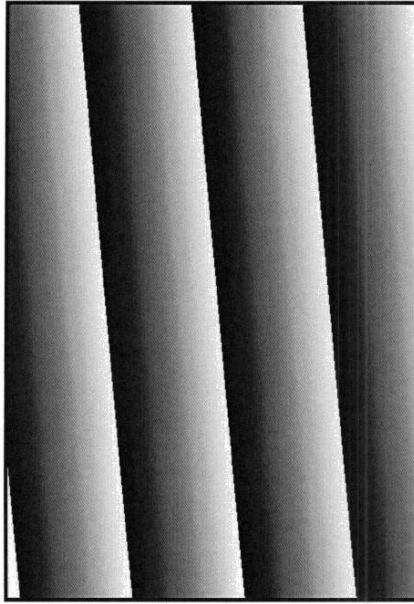
【図 15】



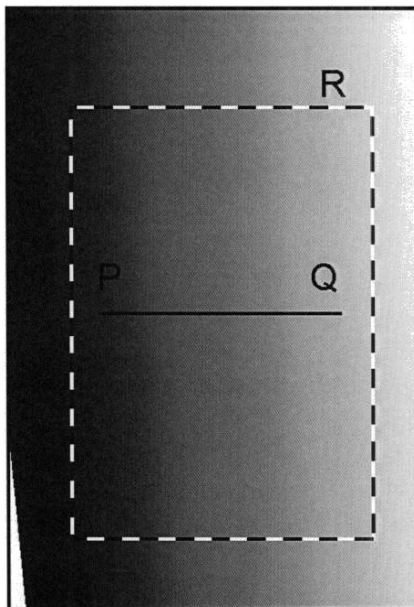
【図 16】




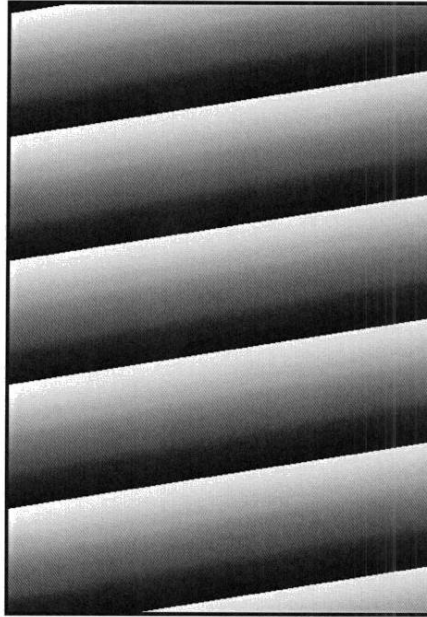
【 17】




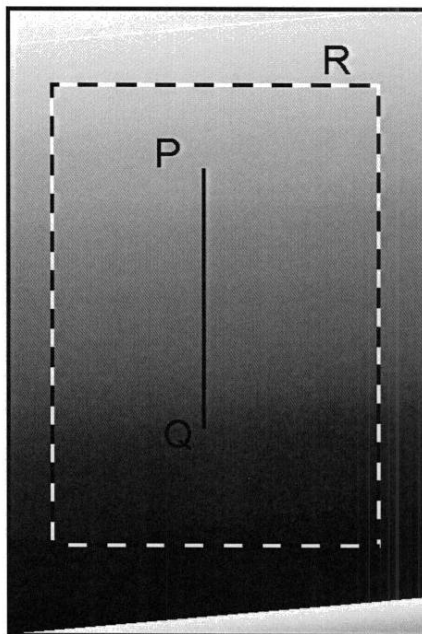
【 18】



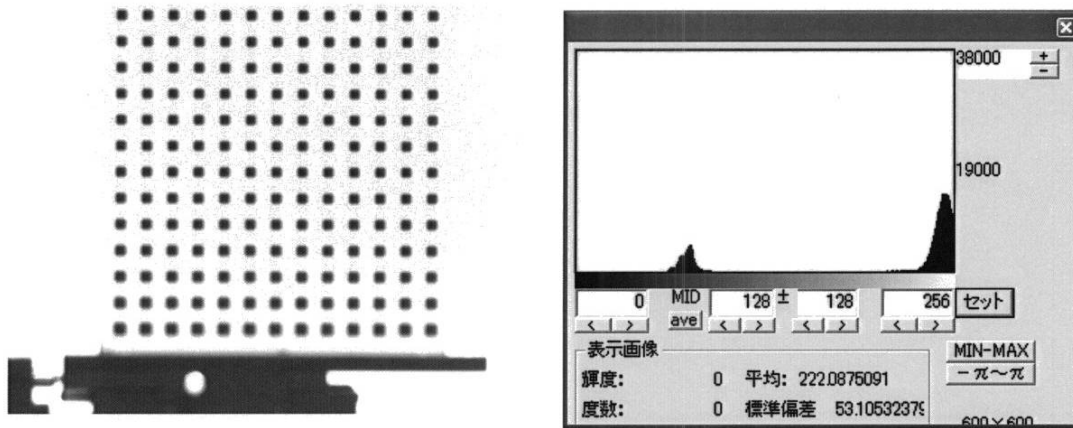
【 19】



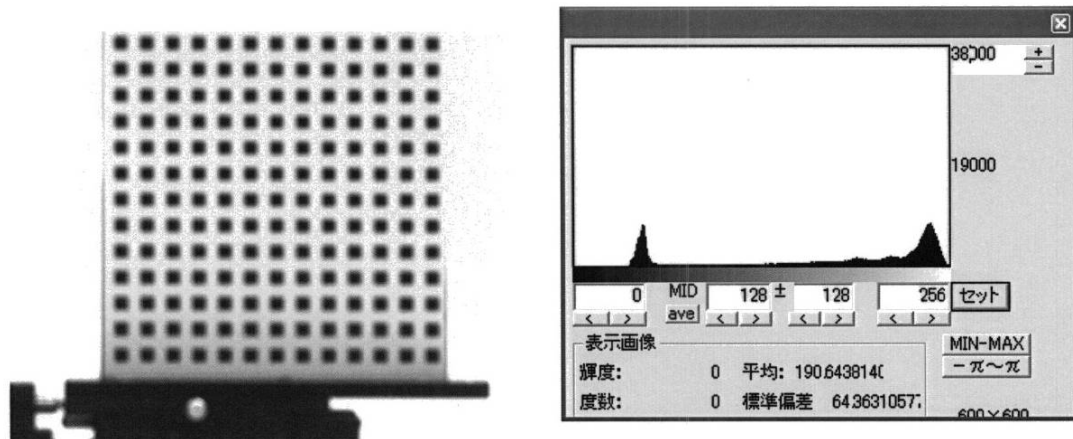
【 20】



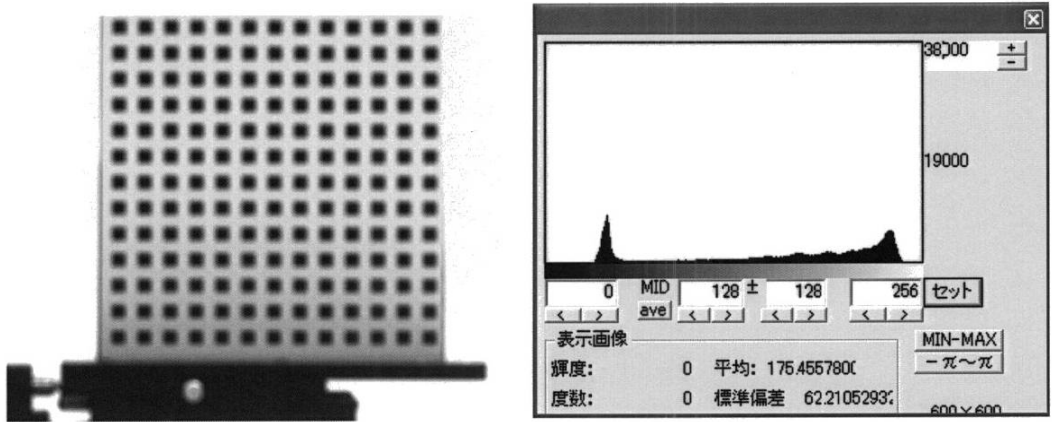
【図 2 1】



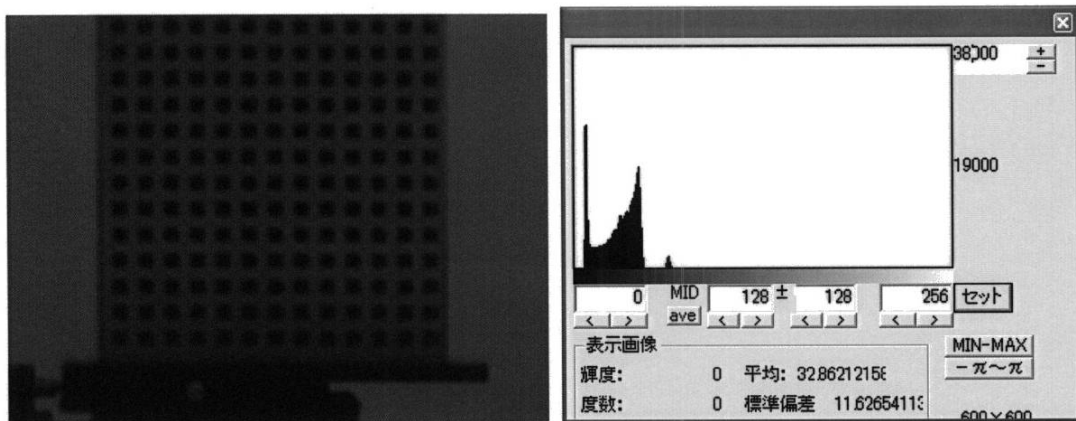
【図 2 2】



【 図 2 3 】



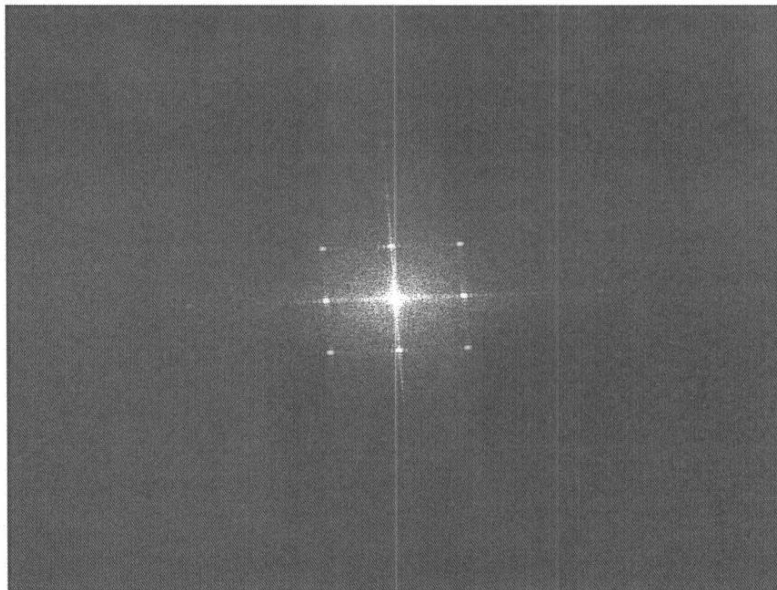
【 図 2 4 】




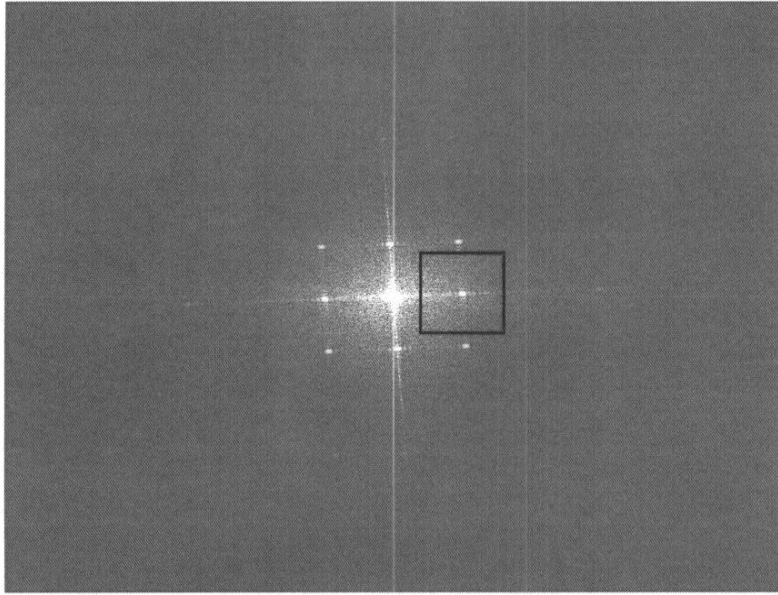
【図 28】




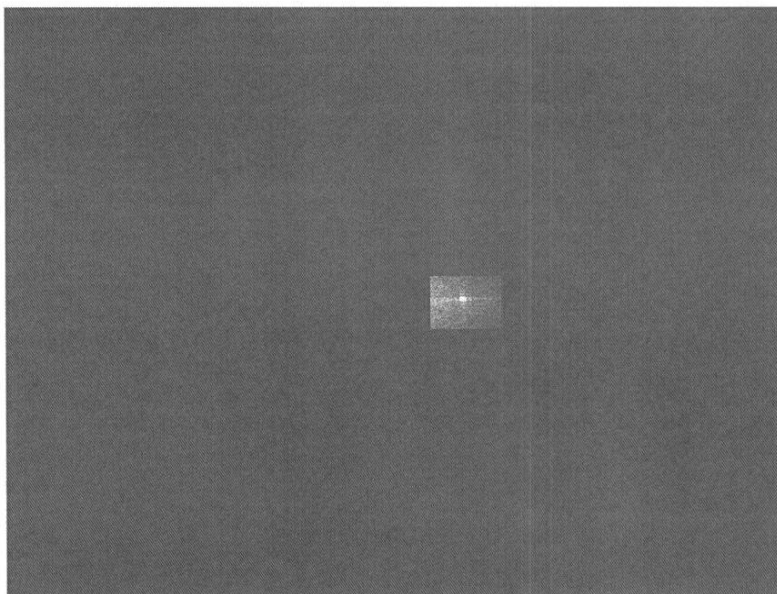
【図 29】



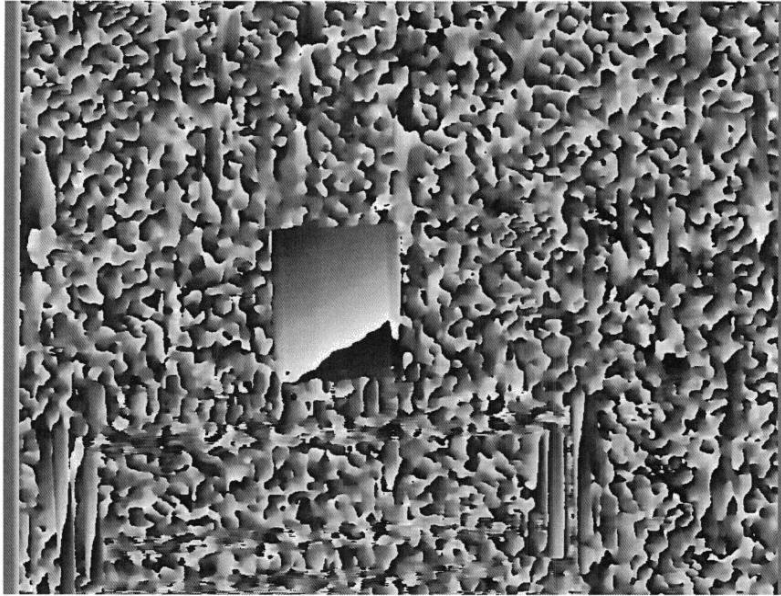
【 3 0】



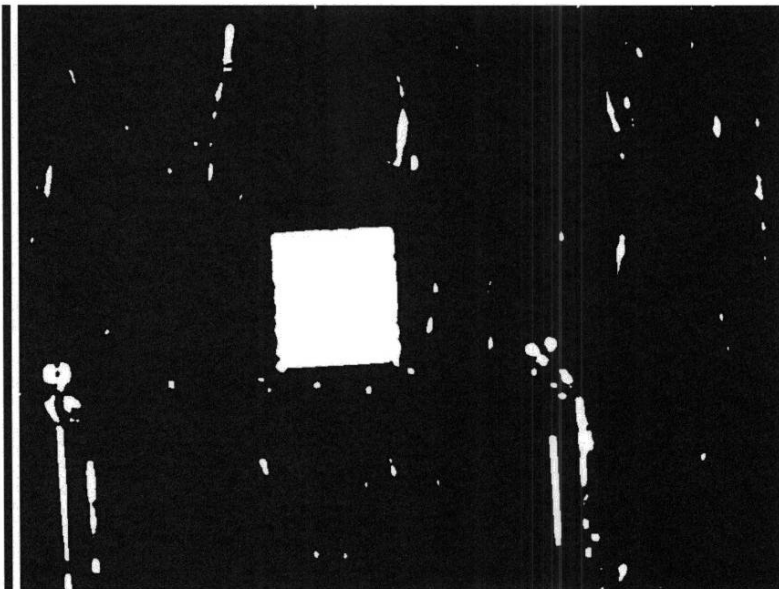
【 3 1】



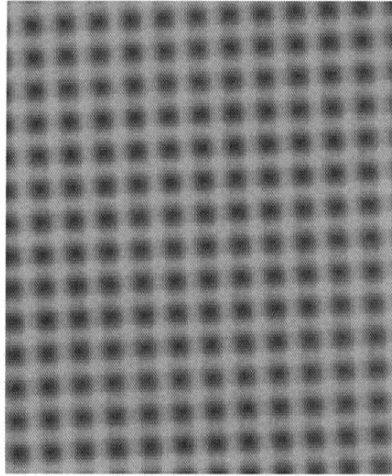
【図 3 2】



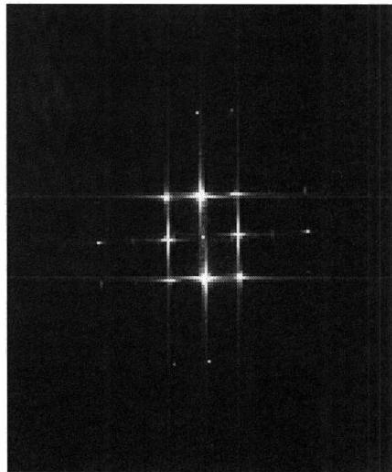
【図 3 3】



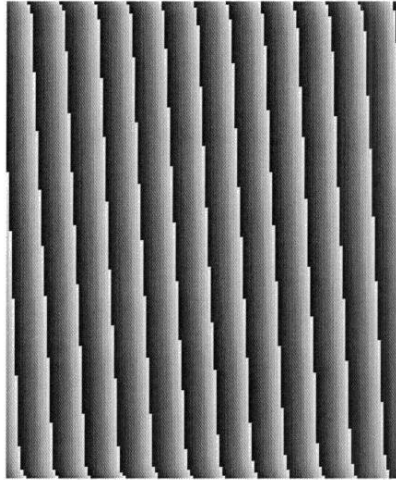
【図 36】



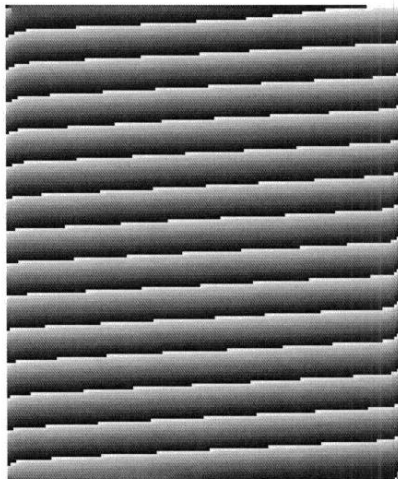
【図 37】



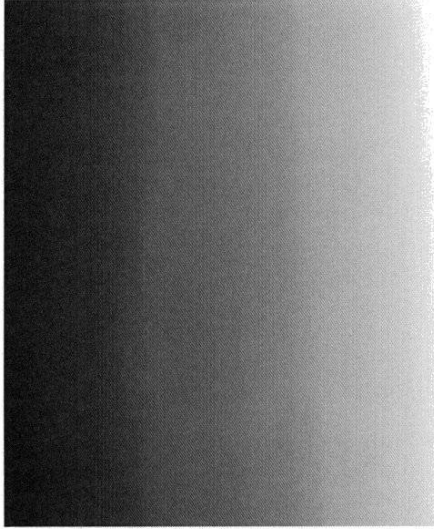
【 38】



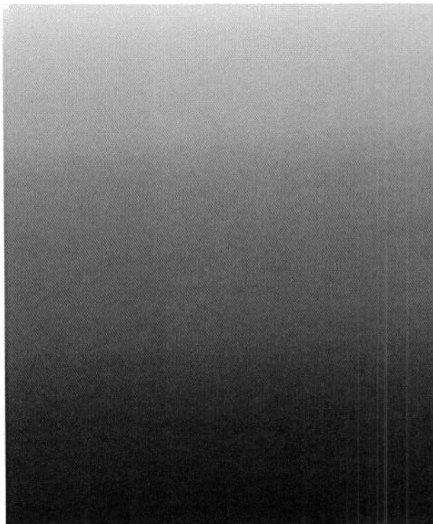
【 39】



【 4 0】



【 4 1】



フロントページの続き

(72)発明者 森本 吉春

大阪府泉佐野市羽倉崎2丁目1番4-804号

審査官 神谷 健一

(56)参考文献 特開2009-264852(JP,A)

特開2004-279178(JP,A)

特開平03-222102(JP,A)

特開平10-082614(JP,A)

特開2001-349706(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B 11/00 - 11/30