

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2007～2008

課題番号：19360053

研究課題名（和文） 高速サブナノ変位分布計測法の開発と振動変形解析

研究課題名（英文） Development of High-speed Subnano-meter Displacement Distribution Measurement Method and Vibration Analysis

研究代表者

森本 吉春 (MORIMOTO YOSHIHARU)

和歌山大学・学内共同利用施設等・理事（システム工学部教授併任）

研究者番号：20029573

研究成果の概要：

本研究の目的は、静的な方法であった Windowed PSDHI を振動体の動的変位分布計測法に発展させることである。次の研究成果が得られた。(1) 高速な位相シフトを行うために、 piezo 素子と光学素子を組み合わせた位相シフト機構を作成した。高速度カメラと同期させるために、ミラーによってレーザーを繰り返し反射させ、それによって得られた干渉縞の移動を利用してカメラのトリガをかける装置を試作した。また、piezo によるミラーの移動量をあらかじめ計測しておき、そのデータを元に、電気回路によってトリガを発生させる装置も試作した。(2) 位相シフト機構と高速度ビデオカメラと同期した撮影システムを構築し、それによって、動的な物体の変位分布を計測する実験を行った。(3) 時間平均法に本手法を適用し、振動物体の振幅分布計測に適用した。(4) その他、ソフトウェアのアルゴリズムを改良することで、高速な位相シフト撮影と解析が行えるようにすることや、顕微鏡レンズを通して計測する時に必要となる再生距離の実測でない同定手法の開発、三軸移動ステージを用いることによる画素ごとのキャリブレーション手法の改良など、本研究に必要な周辺技術の研究を行った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	11,700,000	3,510,000	15,210,000
2008 年度	2,400,000	720,000	3,120,000
年度			
年度			
年度			
総計	14,100,000	4,230,000	18,330,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械材料，材料力学

キーワード：デジタルホログラフィ，位相シフト，変位分布計測，ひずみ分布計測，高速振動現象，Windowed PSDHI

1. 研究開始当初の背景

大型構造物の欠陥検査として、ひずみを計測する必要があるが、現場で使える応力ひずみ計測法は、ほとんどが、ひずみゲージ法である。接触式で一点計測法であり、分布を求めることは困難である。一方、ホログラフィなどの光学的方法は、非接触で容易に分布計測ができる。しかし、防振に苦勞することや、光学系の調整にかなりの技術が必要であり、現場では余り使われていない。ホログラフィの欠点はスペckルが発生することにより、信頼性の低いデータが混じり誤差が大きくなることである。とくに微分が必要なひずみ計測では致命的となる。そこで、周辺データの平均値を1点のデータとする平滑化法が採用されているが、空間分解能が悪く、き裂等を検出しにくい。また、振動物体等の動的変動中の変位やひずみの分布を現場で精度良く求める方法がない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、静的な方法であったWindowed PSDHIを振動物体の動的変位分布計測法に発展させることである。高速に撮影ができるようになると、振動やゆらぎの影響が低減でき、従来、デジタルホログラフィによる変位やひずみ計測が困難であった現場における検査に適用できるようになる。これにより、トンネル、橋梁、建物、機械など実物の粗面物体である構造物の動的応力ひずみ解析や振動変位解析が従来の方法より遥かに高速高精度に計測解析できるようになり、強度信頼性の確認ができ、安全性が増すだけでなく、既設構造物の長寿命化が可能となる。

3. 研究の方法

高速な位相シフトを行うためには、従来用いているフィードバック付きのピエゾステージではなく、フィードバック無しの位相シフト機構が必要となる。一般にピエゾ素子はヒステリシスを持つため、フィードバックをしないと入力電圧に対して線形に移動量が決まらない。そこで、フィードバックをせずに、一定の移動量となった時に自動的にトリガが発生できるような装置を開発する。

次に、高速度カメラに上記の位相シフト機構を適用する。それを用いて短時間に3枚以上の位相シフト撮影を行いシステムを構築する。それを用いて動的に形状が変化する物体の計測に適用する。

また、振動変形解析の手法として、振動時の変形をホログラフィで計測する時間平均法

がある。この手法にWindowed PSDHIを適用することで、精度よく振動解析ができることも実験的に確認する。

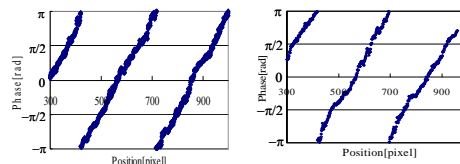
4. 研究成果

(1) 位相シフト機構の開発

まず、高速な位相シフトを行うために、ピエゾ素子と光学素子を組み合わせた位相シフト機構を作成した。位相シフト量に応じて撮影トリガ信号が出力されるように、図1に示すような多重反射によるトリガ信号発生メカニズムを持ったピエゾ素子による位相シフト機構を開発した。図2に示すように、フィードバック付きピエゾステージを用いる場合とほぼ同じ位相分布を得ることができた。



図1 多重反射による位相シフト機構



(a) フィードバック付きピエゾステージ (b) 多重反射による位相シフト機構

図2 位相分布の比較

また、ピエゾによるミラーの移動量をあらかじめ計測しておき、そのデータを元に、図3に示す電気回路によってトリガを発生させる装置も試作した。

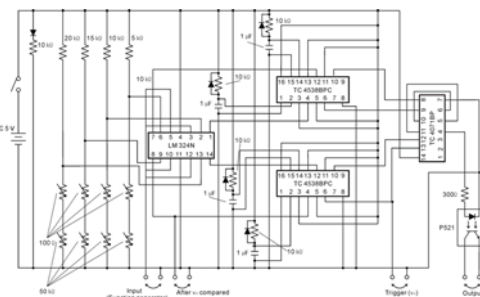


図3 試作したトリガ発生回路

(2) 高速度ビデオカメラと同期した撮影システムの構築

次に、位相シフト機構と高速度ビデオカメラと同期した撮影システムを構築し、それによって、動的な物体の変位分布を計測する実験を行った。上述の位相シフト機構を高速度カメラに適用する実験を行った。8 ms の時間内に4枚の位相シフト画像を撮影することができた。それによって得られた位相差分布を図4に示す。また、このシステムを使って、振動する片持ち梁の変位分布を図5に示すように250ms 間隔で計測することができた。

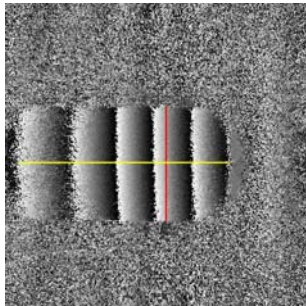


図4 高速度カメラを用いて得られた面外変位を表す位相差分布

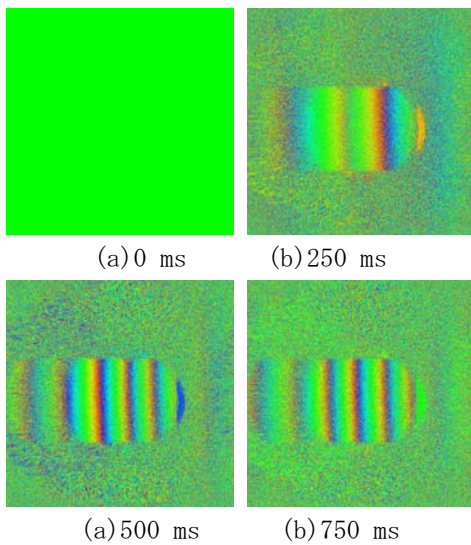
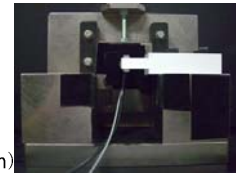
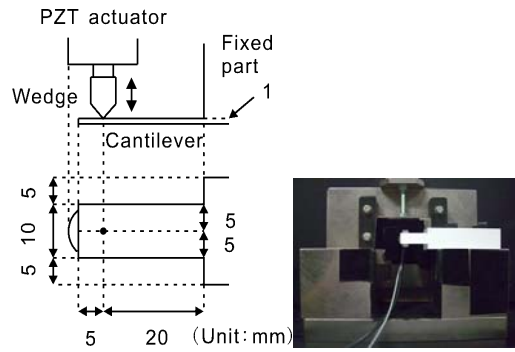


図5 動的な変位計測結果

(3) 振動物体の振幅分布計測

時間平均法に本手法を適用し、振動物体の振幅分布計測を行った。図6に示す片持ち梁の計測試料を100 Hzで振動させたときの面外変位計測を行った。窓関数を使うスペクル除去手法を利用することで、図7に示すように、ほとんどのノイズを除去することができた。



(a) 図 (b) 写真

図6 振動計測実験の計測試料

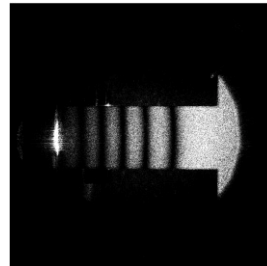
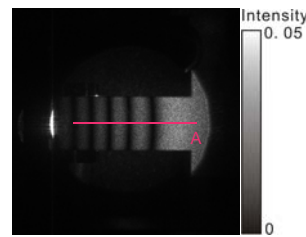
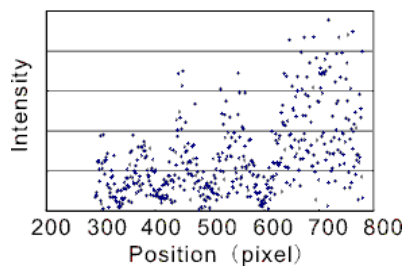


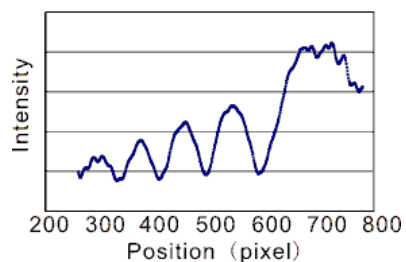
図6 時間平均法により撮影した振動時の変位分布を表す縞画像



(a) 窓関数適用前の再生像



(b) 窓関数適用前



(c) 窓関数適用後

図7 ラインA上の強度分布図

(4) 周辺技術の研究

ソフトウェアのアルゴリズムを改良することで、高速な位相シフト撮影と解析が行えるようにすることや、顕微鏡レンズを通して計測する時に必要となる再生距離の実測でない同定手法の開発、三軸移動ステージを用いることによる画素ごとのキャリブレーション手法の改良など、本研究に必要な周辺技術の研究を行った。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

著者名, 論文標題, 雑誌名, 査読の有無, 巻, 発行年 (西暦), ページ

① Shiotani, K., Fujigaki, M., Matui, T. and Morimoto, Y.

Strain Measurement Method for Tilted Planar Object by Phase-Shifting Digital Holography Combined with Grating Projection Method
JSEM学会誌「実験力学」,
Special Issue Vol. 8 2008, 108-113
査読 有

② Fujigaki, M., Ashimura, Y., Matui, T., and Morimoto, Y.

Identification of Specimen Position and Orientation Using Standard Deviation of Intensity in Phase-Shifting Digital Holography
Strain Vol. 44 2008, 374-379

[学会発表] (計 13 件)

発表者 (代表) 名, 発表標題, 学会等名, 発表年月日, 発表場所

① 藤垣元治, 塩谷航平, 木戸良介, 森本吉春

位相シフトデジタルホログラフィによる可搬型表面ひずみ計測システムの小型化

日本非破壊検査協会, 第40回応力・ひずみ測定と強度評価シンポジウム

2009.1. 東京都

② 木戸良介, 藤垣元治, 森本吉春

位相シフトデジタルホログラフィによる微小物体の表面ひずみ計測

日本非破壊検査協会, 第40回応力・ひずみ測定と強度評価シンポジウム

2009.1. 東京都

③ 塩谷航平, 藤垣元治, 森本吉春

コンパクトなひずみ分布計測システムの精度向上手法

日本非破壊検査協会,
平成20年度第2回応力・ひずみ測定分科会

2008.11. 新潟県

④ Fujigaki, M., Kido, R., Shiotani, K., Morimoto, Y.

High-speed and Compact Strain Measurement System by Phase-shifting Digital Holography
SEM presents its 2008 Fall Conference

2008.10. アメリカ, マサチューセッツ州

⑤ Fujigaki, M., Shiotani, K., Kido, R., Morimoto, Y.

Strain Distribution Measurement by Digital Holographic Interferometry Using Three Spherical Waves
SPIE International Symposium

2008.8. アメリカ, カリフォルニア州

⑥ Kido, R., Morimoto, Y., Fujigaki, M.

Reduction of Wavy-noise on Strain Distribution in Phase-shifting Digital Holography
SEM XI International Congress & Exposition on Experimental and Applied Mechanics

2008.6. アメリカ, フロリダ州

⑦ Shiotani, K., Matsui, T., Fujigaki, M., Morimoto, Y.

Strain Measurement Using Three Spherical Waves in Digital Holography
SEM XI International Congress & Exposition on Experimental and Applied Mechanics

2008.6. アメリカ, フロリダ州

⑧ Fujigaki, M., Kubota, S., Matui, T., Morimoto, Y.

Identification of Reconstruction Distance in Phase-Shifting Digital Holography
SEM XI International Congress & Exposition on Experimental and Applied Mechanics

2008.6.4. アメリカ

⑨ Morimoto, Y., Matui, T., Fujigaki, M.

Application of Three-dimensional Displacement and Strain Distribution Measurement by Windowed Phase-shifting Digital Holographic Interferometry
International Conference on Multi-functional Materials and

Structures

2008. 6. 3. アメリカ

⑩ Morimoto, Y

Whole-Field Optical Systems and
Image Processing Techniques
for Shape and Deformation Measurements
SEM XI International Congress &
Exposition on Experimental and
Applied Mechanics

2008. 6. 3. アメリカ

⑪ 藤垣元治, 恩田朋幸, 森本吉春

位相シフトデジタルホログラフィによ
る振動物体の振幅分布計測
日本非破壊検査協会平成20年度春季講
演大会

2008. 5. 東京都

⑫ Morimoto, Y. Fujigaki, M

Shape and Deformation Measurements of
Materials by Optical Methods
ESM 2008 Mechanics Conference

2008. 5. アメリカ・バージニア州

⑬ Morimoto, Y., Matui, T.

Fujigaki, M

Application of Three-dimensional
Displacement and Strain
Distribution Measurement by
Windowed Phase-shifting Digital
Holographic Interferometry
International Conference on
Multi-functional and Structures

2008. 2. 中国, 香港

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森本 吉春 (MORIMOTO YOSHIHARU)
和歌山大学・学内共同利用施設等・理事
(システム工学部教授併任)
研究者番号: 20029573

(2) 研究分担者

松井 徹 (MATUI TORU)
和歌山大学・システム工学部・准教授
研究者番号: 00157231
藤垣 元治 (FUJIGAKI MOTOHARU)
和歌山大学・システム工学部・准教授
研究者番号: 40273875