

画像処理技術を用いた非接触 3 次元変位測定システムについて

Study on Non-contact 3Dimensional Displacement Measuring System by using Image-Processing Technology

北海道大学大学院工学研究科
北海道大学工学部
北海道大学大学院工学研究科
北海道大学大学院工学研究科
北見工業大学工学部

正 員 小幡卓司 (Takashi Obata)
○ 学生員 澤崎 渉 (Wataru Sawasaki)
F 会 員 林川俊郎 (Toshiro Hayashikawa)
学 生 員 倉戸 亮 (Ryo kurato)
正 員 宮森保紀 (Yasunori Miyamori)

1. まえがき

近年では、デジタル技術の進歩により画像や音響解析の分野等においてハード・ソフトウェアの両面で技術革新が進みつつある。特に動画・画像処理に関しては、CCDカメラの小型軽量化と高性能化、低価格化やコンピュータの演算処理能力の向上によって、比較的安価かつ簡便にデジタル動画の記録と画像処理ができるようになってきた。このような技術の応用により、DVカメラ等により社会基盤施設や崩落の危険のある斜面・岩盤等に設置したターゲットを撮影し、フレーム毎のターゲット位置の変化を算出すれば、各種の動態観測あるいは維持管理に大きな威力を発揮するものと期待でき、比較的安価に常時モニタリングが可能になると考えられる¹⁾。

一方、我が国の社会基盤構造物は、1954年の第一次道路整備五ヶ年計画により本格的な道路整備が始まったことを契機に、それ以降から1970年後半にかけて集中的に建設された²⁾。そのうち橋梁構造物については、2021年には供用後50年を超えるものが5万橋に上るものと予測されており、維持管理を効率的に実施して構造物の性能を維持することは非常に重要な課題となっている。効率的な維持管理を実現するためには、上述のような安価で高性能な常時モニタリングを実現する必要があると考えられる。また、構造物の動的挙動の変化をモニタリングすることで健全度診断等を行おうとする試みは、振動測定・解析が比較的容易に実施できることから、比較的多くの研究が行われている。

以上を踏まえて、本研究では2台のCCDカメラを用いて、社会基盤施設等の動的変位を3次元で同時計測するための基礎的検討を行うことを目的とする。

具体的には、まず2台のCCDカメラをパソコンに接続してターゲットを同時撮影する。次に得られた動画データから各コマ毎に画像処理を施し、画像面内の変位はターゲットの重心移動量を求めることにより、面外の変位は2台のステレオマッチングから算出する。得られた結果から、フーリエスペクトルおよびターゲットの3次元軌跡を求め、これらを検討することにより、社会基盤構造物のモニタリングへの適用可能性について考察を加えた。したがって、本研究はその結果を報告するものである。

2. 3次元立体計測システムの構築

2.1 計測装置

本研究は、構造物に設置したターゲットを市販のCCDカメラにより撮影して録画し、映像を再度パーソナルコンピュータに取り込み画像処理することで安価かつ簡便な変位計測を試みるものである。本研究では2種類のCCDカメラを用いる。まず、簡便な計測システム用として、一般にはPCカメラあるいはWebカメラとして販売されているLogicool QcamPro 4000(動画撮影時最大640×480画素)を用いている。これはビデオキャプチャカード等の周辺機器が不要であり、安価かつ持ち運びが容易であることから、現場で結果



写真-1 Logicool QcamPro 4000



写真-2 HAS200-R, HAS-PCI モノクロキャプチャカードを得ることのできる計測システムの構築が可能である。次に、高精度のシステム用としては、高速度CCDカメラHAS200-R(有効画素数504×243)を採用した。本カメラはHAS-PCIモノクロキャプチャカードを使用することでスロースキャンから400fpsまでの高速、高解像度の撮影が可能である。それぞれのカメラを写真-1および写真-2に示す。

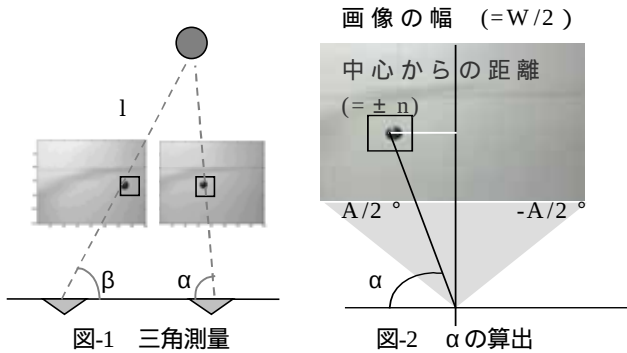
2.2 動画撮影

本研究における動画撮影に関しては、Webカメラを使用する場合ではMATLABで直接撮影を行うために、法政大学工学部システム制御工学科小林研究室で開発されたDLL、vcapg2を使用した^{3),4)}。Color mapについては、16bitRGBを用い、また撮影コマ数の関係から画素数は160×120とし、fpsは30に設定して動画のチャプターを行った。また、高速度カメラの場合、1台のPCとカメラ同期ユニットを介して、640×480画素、fps200の条件で撮影を行った。なお、高速度カメラにおいては、Color mapは8bitグレースケールとなっている。

2.3 画像処理による変位計測

非接触で変位計測を行う場合、対象物の一点に着目し変位を計測するのが一般的である。本システムにおいても、まず計測対象に追跡用ターゲットを設置し、CCDカメラを用いてターゲットを定点撮影してパーソナルコンピュータに取り込み、得られたデジタル画像からターゲットの重心を計算し、撮影フレーム毎の重心の移動距離を構造物の変位として算出するものである。

画像面内の変位算定に関しては、本研究では動画をフレーム毎に分解し、画像の2値化、ラベリングによるターゲット領域の抽出、ターゲット領域の重心計算という過程を経ている^{5),6)}。重心計算後、初期の重心座標との相対変位を計算し、1画素あたりの長さを乗じることにより応答変位として算出を行った。



また、本研究では上述のような画像処理プロセスにより得られた画面上の変位をもとに画面上の応答変位を算出する手法として、ステレオマッチング法を用いることとした。ステレオマッチング法とは三角測量の原理に基づき対象物の3次元位置を推測する手法である。本研究では、左右に配置されたカメラにより撮影された2枚1組の画像から、右のカメラで撮影された画像が、左のカメラで撮影された画像のどの部分に対応するかの面積相関の計算を行い、何画素のずれが生じているかを求め、その対応関係から面外の変位を算定する。それぞれの画像より得られた情報から図-1,2に示すようなカメラと対象物の角度 α は次式で表される。

$$\alpha = 90^\circ \pm \frac{A}{2} \times 2 \times \frac{n}{W} \cdots \cdots (1)$$

ここで、 A はカメラの視野角、 n は中心からの画素数、 W は横方向の全画素数である。角度 β についても同様の式で表され、これらの角度とカメラ間距離を用いて、正弦定理より対象物との距離が得られる。

以上より、対象物の3次元の挙動を簡便に捉えることが可能であり、本研究においては、この手法を用いて解析を行うこととした。

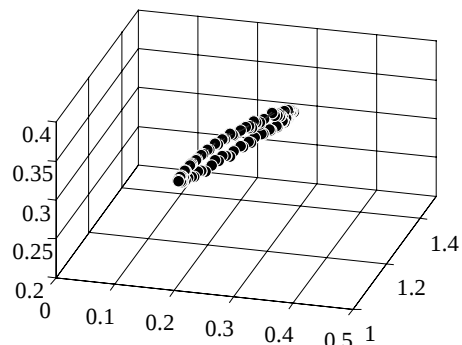
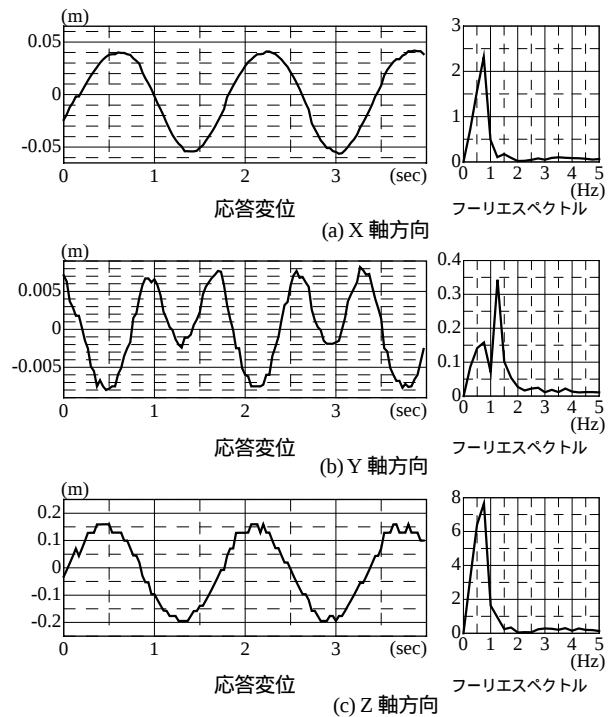
3. 実験結果とその考察

以上のような手法を用いて、変位計測実験を実施した。測定対象は、60cmの吊糸に重さ45.6gの球体を懸吊した振り子状の構造体を用いることとした。結果の一例として Logicool QcamPro 4000 を用いた場合の解析結果を図-3 ならびに図-4に示す。なお、図-3における座標系は、画面上にX軸(水平方向)、Y軸(鉛直方向)を取り、奥行き方向をZ軸として表現した。

図-3の応答変位に着目すると、X軸方向は滑らかな波形が得られており、Y軸方向は応答変位が非常に小さいながらも程度振動波形の把握が可能であることから、振幅が大きければさらに精度が良くなると考えられ、既往の研究より画面上の振動特性を捉えていると思われる⁷⁾。Z軸方向の応答変位波形には若干の乱れが生じているが、面外方向は2台のカメラの相対画像によって位置を求めるため、コマ落ちの影響が面内方向に比して大きくなったものと考えられる。しかしながら、今回行った測定については、問題となるような大きな誤差は生じておらず、ある程度の精度を有した応答変位および卓越振動数を把握していると判断できる。したがって計測対象やその環境等に応じて機器の調節を正しく行うことで、容易にターゲットの軌跡およびフーリエスペクトルが得られることから、本研究の手法は、社会基盤構造物のモニタリングに対して適用可能性を有するものと思われる。

4. あとがき

以上のように、本研究は市販のCCDカメラを2台用いて、社会基盤施設等の動的変位を3次元で同時計測するための基



礎的検討を行ったものである。本研究の手法は、2台のカメラから得られた情報より対象物の3次元計測が可能であることが確認された。また、本研究で用いたステレオマッチング法はカメラの設置が比較的容易であり、社会基盤構造物のモニタリングへの適用可能性を有するものと考えられる。

なお、本研究の一部に平成15年度科学研究費補助金 基盤研究(C)(2) (代表研究者：小幡卓司 課題番号：15560400)の援助を受けたことを付記する。

参考文献

- 1) 安達一恵・宮森保紀・小幡卓司・林川俊郎・佐藤浩一：PCカメラを用いた実時間遠隔変位計測システムについて、土木学会北海道支部論文報告集第59号，pp22-25，2003。
- 2) 西川和廣：道路橋の寿命と維持管理、土木学会論文集、No.501/I-29, pp.1-10, 1994。
- 3) 小林一行：MATLAB 活用ブック、秀和システム、2001。
- 4) 小林一行：MATLAB Resources by IKKO Home page, <http://www.ikko.k.hosei.ac.jp/~matlab/>。
- 5) 酒井幸市：デジタル画像処理入門、コロナ社、1997。
- 6) 高井信勝：「信号処理」「画像処理」のための MATLAB 入門、工学社、2000。
- 7) 小幡卓司・宮森保紀・林川俊郎・佐藤浩一・浅香康弘・高橋史典：PCカメラを用いた非接触他店変位計測システムについて、土木学会北海道支部論文報告集第60号，pp100-101，2004。