

# PC カメラを用いた非接触多点変位計測システムについて

Study on Non-contact Multi Point Displacement Measuring System by using PC camera

北海道大学大学院工学研究科	正員	小幡卓司 (Takashi Obata)
九州大学大学院工学研究院	正員	宮森保紀 (Yasunori Miyamori)
北海道大学大学院工学研究科	F 会員	林川俊郎 (Toshiro Hayashikawa)
北海道大学大学院工学研究科	F 会員	佐藤浩一 (Koichi Sato)
北海道大学大学院工学研究科	○学生員	浅香康弘 (Yasuhiro Asaka)
北海道大学大学院工学研究科		高橋史典 (Fuminori Takahashi)

## 1. まえがき

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、高度経済成長期から1970年後半にかけて非常に多くが建設された<sup>1)</sup>。そのうち橋梁については、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いる。これらの橋梁をすべて更新することは不可能であり、維持管理を効率的に実施し構造物の性能を維持することが今後は非常に重要である。この効率的な維持管理を実現するためには、安価で高性能な何らかの常時モニタリングを実現する必要があると考えられる。中でも、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うとする試みは、振動測定が比較的容易に実現できることから、多くの研究がなされている。

一方、近年では CCD カメラの小型軽量化、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コンピュータによる画像処理ができるようになってきた。このため、DV カメラ等により構造物の振動を撮影し、フレームごとに構造物の位置の変化を算出すれば、構造物の変位振幅を得ることが十分可能であり、レーザーなどの専用機器を用いずとも取り扱いが容易な振動測定システムが構築可能になるものと思われる<sup>2)</sup>。

以上を踏まえて、本研究では最近非常に安価で販売されるようになった PC または Web カメラと称される CCD カメラを複数台用いて、構造物の動的変位を多点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、3台の CCD カメラを USB にてパソコンに接続し、MATLAB を用いて画像の撮影から応答変位の算出までを可能とするシステムの開発を行った。このシステムを用いて、カメラ接続台数とフレームレートの関係、記録可能なフレーム数等について検討を行い、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. 多点変位計測システムの構築

### 2.1 システムの概要

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。今回実験に使用したパソコンについては、複数のカメラを同時に制御することを考慮して、比較的高性能なタワー型 PC を用いている。主なスペックは、CPU: Pentium4 3.0GHz (HT 対応)、Memory: DDR3200DIMM1024MB、Graphic: GeForce FX5200 OS: Windows2000 であり、現状では描画性能がやや劣る以外は十分な性能を有していると思われる。また CCD カメラは、一般には PC カメラあるいは Web カメラとして安価に販売されているものであり、本研究では Intel Pocket PC Camera 1台と、Logicool QcamPro 4000 2台 (両モデルとも CCD 動画撮影時最大 640×480 画素) を使用した。計測装置の一式を写真-1 に示す。

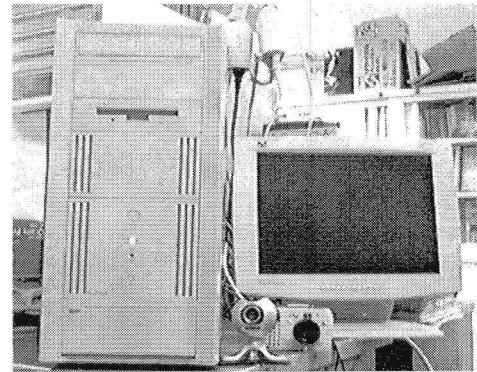


写真-1 測定装置

### 2.2 動画撮影と画像処理

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が、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む。次に、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。

まず、動画撮影に関しては、本研究では MATLAB で直接撮影するために、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, vcapp2 を使用した<sup>3),4)</sup>。この vcapp2 は、IEEE1394, USB 等の複数のインターフェースに対応し、最大 6 台までのカメラを接続できる。ただし、USB 接続の場合、USB そのものの帯域幅の制限を受けるため、このバスのみでの使用では 3 台程度の接続が限界である。また、Preview interval の変更も可能であり、カメラ側が対応出来れば、通常の DV でしばしば問題となるフレームレート 30fps (Frame per second) を超えることも期待される。なお、Color map については、16bit RGB を用いることとした。

次に、画像処理に関しては、本研究では動画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<sup>5),6)</sup>。画像の 2 値化とは、8bit の 0(黒)~255(最大輝度)で量子化された画像を、予め設定した閾値より大きい場合には 1(白)、小さい場合は 0(黒)の 2 値のみで表される画像に変換することである。閾値はターゲットを抽出できるように設定するが、画像内にターゲット部分以上の輝度を持つ画素があった場合、2 値化後もこの画素が残ってしまう。これを取り除くために、2 値化画像の白色領域に番号を割り当てるラベリング処理を施し、ターゲット以外の白色領域の輝度を 1 から 0 に変換した。また、ラベリング処理により白色領域内の画素数および位置座標を把握することができるようになるため、分布領域が  $m \times n$  ピクセルで表される範囲  $f(m,n)$  であるときの重心座標  $(x, y)$  をそれぞれ、

$$x = \frac{\sum_m \sum_n m f(m,n)}{\sum_m \sum_n f(m,n)} \cdots \cdots (1)$$

$$y = \frac{\sum_m \sum_n n f(m,n)}{\sum_m \sum_n f(m,n)} \cdots \cdots (2)$$

として計算した<sup>9)</sup>。重心計算後、初期の重心座標との相対変位を計算し、1画素あたりの長さに乗じることにより応答変位として算出を行った。

### 3. 実験結果とその考察

#### 3.1 非接触多点変位測定

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、30cm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。実験は、カメラの接続台数を1~3台まで変化させたときの最大フレームレートとその変位測定、カメラ2台接続時の両者の位相差(時間遅れ)と変位そのものの差異を測定した。なお、カメラの解像度は120×160を用いている。

まず、最大フレームレートに関しては、カメラ1台の場合で130fps、2台で80fps、3台では46fpsで撮影可能であることが判明した。図-1にカメラ1台の場合の応答変位とフーリエスペクトルを示す。図-1に着目すると、130fpsの場合においてはその結果が階段状になっており、変位が変化していない部分があることがわかる。データからは、この現象はほぼ4ステップ毎に生じており、これに基づいたフレームレートを計算すると、約32fpsであった。これは、アプリケーションからの画像の入力要求に、カメラ側が追従していないことが原因と思われる。よって、本システムは高速なカメラを接続することにより、従来のmpeg等のDVフォーマットに依存しない動画撮影が可能であると考えられる。

次に、カメラ2台接続時の測定結果を図-2に示す。この際のフレームレートは30fpsを用いている。図-2からは、問題となるような位相差は発生しておらず、2台のカメラが同時に制御され、同時刻に個々の画像の取り込みが行われていると考えられる。また、応答変位そのものに若干の差が見られるが、これは画像解析の際にターゲットの初期値として個々のカメラにおける最初の映像を基準としているため、複数のカメラとターゲットとの相互関係を現状では補正していないためである。この補正は、複数のカメラにおける初期値画像の相対位置を算出することで容易に行うことができる。したがって、本研究の手法は、社会基盤構造物のモニタリングに適用できる可能性を有するものと思われる。

#### 3.2 遠隔モニタリングシステムへの適用性

今後のモニタリングシステムでは、IT技術を用いた遠隔化が不可欠の条件であると考えられる。本システムにおいても、ここで遠隔化の適用性に関して考察を加える。

一般のDVフォーマットでは、比較的高い画像圧縮が行われ、およそ3Mbps以上の通信環境下では、ある程度のリアルタイム性は確保されつつある。しかしながら、本研究の画像は未圧縮であり、高速通信には不向きである。そこで、リアルタイム性は若干失われるが、Wake in motion、あるいは一定のスケジュールで画像を撮影し、撮影後にFTPにてサーバーにデータを転送して解析を実施するような手法を用いることとした。この方法では、「撮影後」に映像を確認することにはなるが、データの保存性に有利な面もあり、また、サーバーのアクセス権を発行することで複数の管理者等がデータの検討を行える利点を有する。したがって、本システムの遠隔化に際しては、前述のような手法を採用する。

#### 4. あとがき

以上のように、本研究は市販のCCDカメラを複数台用いて、構造物の動的変位を多点同時計測するための基礎的検討を行ったものである。

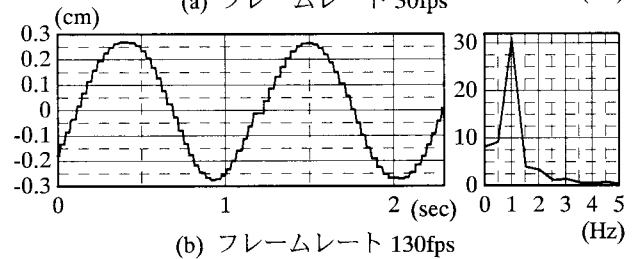
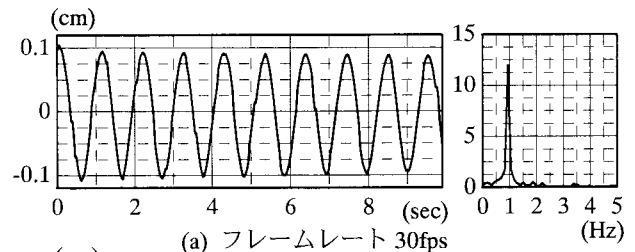


図-1 カメラ1台での測定結果

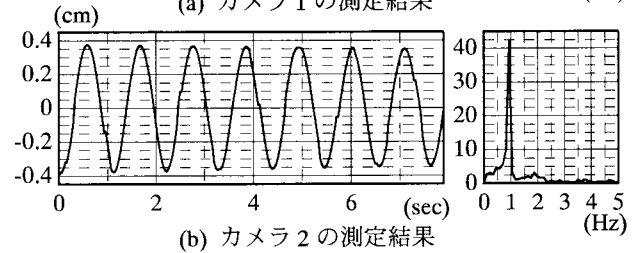
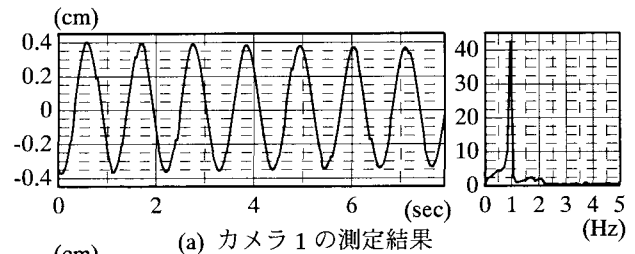


図-2 カメラ2台を用いた測定結果

実験結果から、本測定システムは従来よりもかなり高速な撮影が可能であり、カメラの性能が十分であれば、比較的高い振動数にも対応が可能であることが判明した。また、カメラを複数台用いた場合でも、本研究で確認した限りにおいては映像の時間遅れは認められず、動画解析プロセスの改良を行えば、例えば膜構造のモニタリング等にも適用できると考えられる。さらに、遠隔化に際してもリアルタイム性には劣るものの遠隔化そのものへの対応はでき得ると思われ、よって、社会基盤構造物のモニタリングに適用できる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) 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.
- 2) 安達一憲・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.
- 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.