デジタル画像処理技術を応用した非接触多点変位計測システムについて

北海道大学大学院工学研究科　正　員　小幡卓司
北　見　工　業　大　学　正　員　宮森保紀

１．まえがき

我が国の社会基盤構造物は、現在壮年期にあると言われ、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。このため、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が、最近の非常に重要な課題となっている。この効率的な維持管理の実現のためには、安価で高性能な何らかの常時モニタリングを行う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おうとする試みは、振動測定がある程度容易に実施できることから、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動画像の記録と画像処理が可能になってきた。このため、DV カメラ等により構造物の挙動を撮影し、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 [2), 3)]。

以上を踏まえて、本研究では 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 PC 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ので、ここに報告するものである。

２．多点変位計測システム

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直接画像を PC に録画し、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 PC の主なスペックは、CPU:Pentium4 3.0GHz, Memory:1024MB, OS:Windows2000 である。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（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

変位計測の手法としては、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。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、vcapg2 を使用した [4),5)]。vcapg2 は、IEEE1394,USB 等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 接続の場合は帯域幅の制限を受けるため、USB のみの使用では最大 3 台程度が限界である。また、単純ループで画像のチャプタを行うため、カメラ側が速度的に対応できれば、フレームレート 30fps(Frame par second)を超えることも期待される。

次に，画像処理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の抽出とその領域の重心計算という過程を用いている [6), 7)]。画像の 2 値化は、8bit で量子化された画像を、設定した閾値に応じて 1 あるいは 0 の 2 値のみの画像に変換する。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ため、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 0 に変換する。以上の処理により、白色領域内の画素数（面積）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、この重心位置をターゲットの代表値として用いる [7)]。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。

３．実験結果とその考察

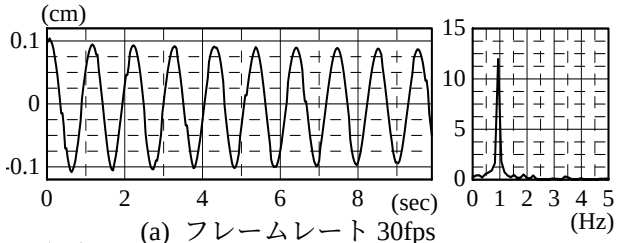
変位計測実験における測定対象は、30cm の吊糸に直径 40mm、重さ 45.6g の球体を懸吊した振り子状の構造体を用いることとした。測定内容は、カメラの接続台数を 1～3 台まで変化させたときの最大フレームレートと変位測定、

キーワード　モニタリング，非接触，画像処理，CCD カメラ
連絡先　〒060-8628　札幌市北区北 13 条西 8 丁目　北海道大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻

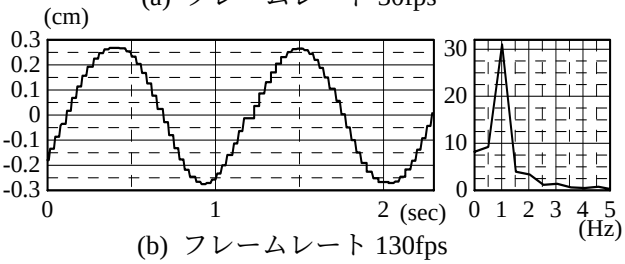
カメラ 2 台接続時の両者の位相差（時間遅れ）と変位そのものの差異の検討を行った。なお、カメラの解像度は 120×160 を用いている。

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分かった。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、変位が同一の値で固定されている部分がある。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。応答変位そのものには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。また、図-3 は円運動する振り子に対して、相互に直角方向に配置したカメラで撮影し、PC 上の仮想空間に再現したものである。解析結果から、対象物の 3 次元的な挙動を簡便かつ正確に把握することが可能であると考えられ、スペクトル解析等による振動特性も容易に解析できることが判明した。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。

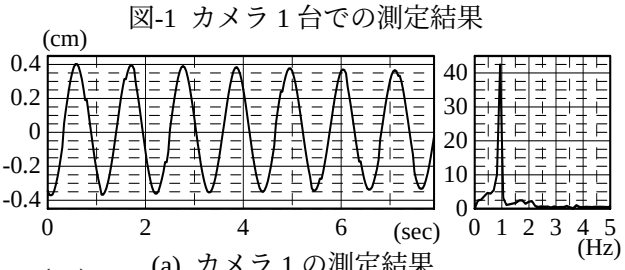


(a) フレームレート 30fps

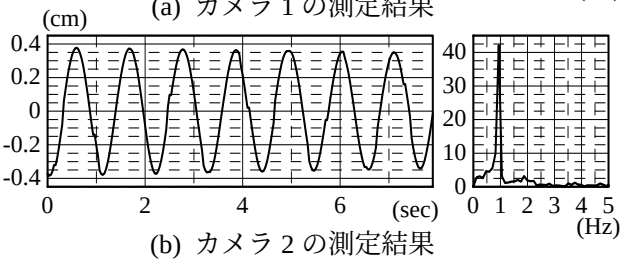


(b) フレームレート 130fps

図-1 カメラ 1 台での測定結果



(a) カメラ 1 の測定結果



(b) カメラ 2 の測定結果

図-2 カメラ 2 台を用いた測定結果

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。

実験結果から、本測定システムは従来のデジタル動画フォーマット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問題となるような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、例えば膜構造や岩盤崩落のモニタリング等にも適用できると考えられる。さらに、FTP 等のファイル転送プロトコルを用いることにより、リアルタイム性には若干劣るものの遠隔化への対応はでき得ると思われ、よって、各種社会基盤施設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。

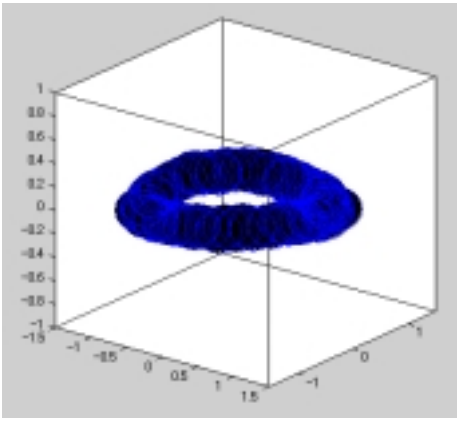


図-3　振り子の 3 次元挙動

【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多点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.　4) 小林一行：MATLAB 活用ブック, 秀和システム, 2001.　5) 小林一行：MATLAB Resources by IKKO Home page, http://www.ikko.k.hosei.ac.jp/~matlab/.　6) 酒井幸市：ディジタル画像処理入門、コロナ社, 1997.　7) 高井信勝：「信号処理」「画像処理」のための MATLAB 入門、工学社, 2000.