

PC カメラを用いた実時間遠隔変位計測システムの適用性に関する一考察

国 土 交 通 省	○ 正 員	安達 一憲
九州大学大学院工学研究院	正 員	宮森 保紀
北海道大学大学院工学研究科	正 員	小幡 卓司
北海道大学大学院工学研究科	フェロー	林川 俊郎
北海道大学大学院工学研究科	フェロー	佐藤 浩一

1 はじめに

近年、常時振動モニタリングにより構造物の振動をある程度正確に把握し、逆解析的に健全度診断、損傷同定を行うことが期待されている。そのため、廉価で取り扱いが容易な非接触変位計測手法ならびにその手法を用いた遠隔計測システムの構築は、常時振動モニタリングにおける課題である計測機器の経費および人件費の削減を可能にするものであり、今後急増が予測される老朽化した橋梁の維持管理に威力を発揮するものと判断される。

著者らは、以前より家庭用 CCD カメラを用いた非接触変位計測システムに関する研究を行ってきた^{1), 2)}。このシステムは、構造物に設置した追跡用ターゲットを市販の CCD カメラを用いて定点観測し、画像処理を施すことで応答変位を算出するものである。本研究では、このシステムに改良を加え、LAN 回線を利用してリアルタイムで振動変位を得ることの可能な実時間遠隔変位計測システムの構築を試みた³⁾。具体的には、文献 1), 2) では録画された画像に対して画像処理を行っていたが、本研究では CCD による撮影と同時に画像処理を行うことで変位応答の実時間計測を可能にした。また、TCP/IP を用いたソケット通信プログラムを組み込むことにより、計測した変位データを他のパーソナルコンピュータで監視できる機能も有している。

実時間遠隔変位計測システムの有効性および実用性を検討するために、追跡用ターゲットを設置した振動台を一定の周期で振動させて応答変位を計測し、光学式変位計を用いて測定した変位波形との比較を行った。また、画像を取り込む際の時刻と変位データを出力した時の時刻を記録し、位相遅れを算出して検討を加えた。よって、本研究はこれらの結果について報告するものである。

2 実時間遠隔変位計測システム

本研究で使用する機器類を写真-1 に示す。CCD カメラを用いて構造物の応答変位を計測する手法については、まず計測対象に 1 辺 2cm の白色の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する。これらの操作を繰り返すことにより、重心の移動距離を構造物の変位としてリアルタイムに算出するものである。デジタル画像からターゲットの重心座標を求めるには、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^{4), 5)}。

また、TCP/IP によるソケット通信とは、IP アドレスとそのサブアドレスであるポート番号を組み合わせたネットワークアドレスを設定することで、信頼性の高いデータ通信手法である⁶⁾。本研究では、LAN ケーブル



写真-1 計測装置一式

で接続した 2 台のコンピュータ間でソケット通信を行うことで変位データの送受信を可能にした。

3 実時間遠隔変位計測実験

以上の方法を用いて実際に振動計測実験を行い、測定された変位波形およびデータ伝送による位相遅れの点から本システムの有効性ならびに実用性について検討を行った。具体的には、ターゲットを設置した振動台に正弦波を入力し、ターゲットの移動距離を本システムおよび光学式変位計により得られた変位波形の実効値比を下式から算出することで精度の検討を行った。

$$G = RMS_{pc} / RMS_{op} \cdots \cdots (1)$$

ここで、 RMS_{pc} は本システムで計測した変位応答の実効値、 RMS_{op} は光学式変位計を用いて測定した変位波形の実効値である。よって、この値が 1 に近いほど本システムで計測した変位の精度が高いことを表している。また、サーバが画像を取り込んだ時刻およびクライアントが変位データを受信した時刻を記録し、下式を計算することにより測定における位相遅れを算出した。

$$\phi = T_{pc} / T_{table} \times 360 \cdots \cdots (2)$$

$$T_{table} = 1 / f_{table} \cdots \cdots (3)$$

ただし、 ϕ は位相遅れ(deg)、 T_{pc} は本システムの平均サンプリング時間(sec)、 f_{table} は振動台の加振振動数(Hz)である。

実験パターンについては、振動台が安定して作動する最低の振動数が 0.3Hz 付近であることと、ソケット通信を行わない場合のサンプリング周波数が約 12Hz 前後であることが予備実験より判明していたため、ナイキスト周波数の 1/2 が 3.0Hz であることを考慮して 0.3Hz から 3.0Hz まで範囲で行うものとし、約 0.1Hz 刻みで全 25 パターンの実験を行った。

4 実験結果とその考察

図-1 は今回の実験における振動数毎の平均サンプリング時間であり、図-2 に(1)式により計算した実効値比を、図-3 に式(2)および式(3)から求めた位相遅れを示す。

まず、図-1 の平均サンプリング時間に注目すると、約 0.24(sec)を中心として 0.02(sec)程度のばらつきがあ

キーワード：遠隔変位計測、画像処理、CCD カメラ

〒812-8581 福岡市東区箱崎 6 丁目 10 番 1 号 TEL・FAX: 092-642-3268

ることが確認できる。計測対象の振動数との関連性がないことを考慮すると、サーバとクライアント間でのデータの送信ミスによる再送処理が比較的頻繁に生じているものと考えられる。そのため、送信ミスの原因究明を進め、改良を加えることで、サーバ-クライアント間のタイムラグが非常に小さい遠隔計測システムを構築することが可能であると思われる。

次に、図-2 の実効値比について考察を加える。図-2 では 1.0Hz 付近までは実効値比が 0.9 程度であるが、1.0Hz 以上においては振動数が高くなるにつれ実効値比が低下していることが判明した。よって、本システムは計測対象の振動数が 1.0Hz 程度以下であれば、ある程度の精度で応答変位を計測することが可能であると推定される。一般に、計測された応答変位の精度が良いのはナイキスト周波数の 1/2 程度の振動数までである。図-1 の平均サンプリング時間の平均値 0.24(sec) を振動数に変換した 4.17(Hz) の 1/4 が 1.04(Hz) であることを踏まえると、本システムを適用して測定した構造物の応答変位の精度が 1.0Hz 以上で低下したのは、計測対象の振動数がサンプリング周波数の 1/4 以上であったことが原因であると思われる。ゆえに、先に述べたソケット通信部の改良を行うことにより、より高いサンプリング周波数での計測が可能となるため、今回用いた比較的安価な機器でもより高振動数を対象とした振動測定が可能になるものと推定される。

また、比較的高精度で計測が可能であると考えられる 1.0Hz 未満の変位応答についても、実効値比が 1 に近い値になっていない。これは、画像処理でターゲットを抽出する際の閾値設定に問題があるものと思われる。閾値は測定を開始する直前に RGB のうちターゲットの抽出が容易と思われる成分を選択し、試行錯誤的に設定したものだが、ターゲットの外郭近傍においてはターゲット中央部にくらべ輝度が低く、閾値の微妙な違いが抽出される白色領域の画素数に多大な影響を及ぼしたためであると思われる。今回の実験では画像処理に要する時間を可能な限り短時間にするため、解像度を $160 \times 120(\text{pixel})$ と最小フォーマットにしたことがターゲット外郭近傍の輝度を低下させた直接の原因であると考えられ、用途に応じて解像度を設定することにより、今回の実験で使用したパーソナルコンピュータでも実用性が十分に高い実時間遠隔計測システムの構築が可能であると思われる。

加えて、図-3 の位相遅れについては振動数が高くなるにつれ比例的に大きくなる、直線位相性を有することが確認された。直線位相性の場合、位相遅れの影響を容易に予測することが可能であり、ソケット通信部の改良により遅れ時間そのものも小さくできることから、遠隔モニタリング手法としての新たな手法になり得ると判断される。

5 おわりに

以上のように、本研究は市販の CCD カメラを用いた構造物の実時間遠隔変位計測システムの有効性及び実用性について、実験によって測定した応答変位の精度ならびに位相遅れの面から検討を加えたものである。

実験結果から、計測対象の振動数が 1.0Hz 以下であればある程度の精度で応答変位を測定することが可能であり、位相遅れの特性としては直線位相性を有すること

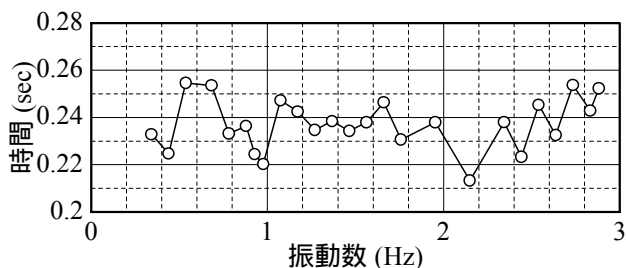


図-1 振動数と平均サンプリング時間の関係

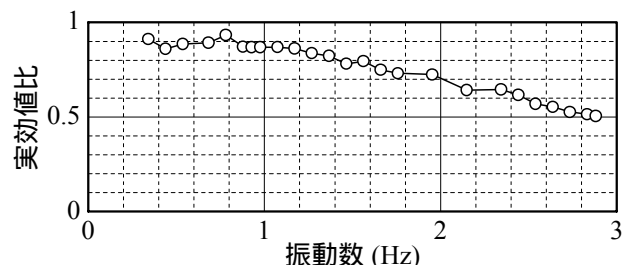


図-2 振動数と実効値比の関係

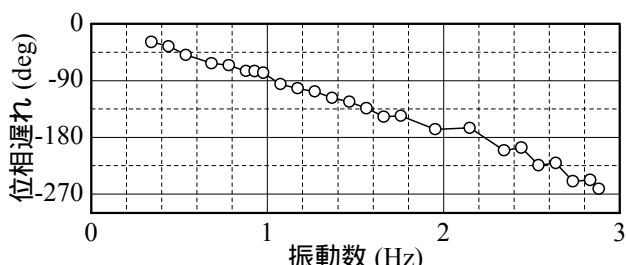


図-3 振動数と時間遅れの関係

が判明した。通信機能に改良を加えれば、より高い振動数の計測を高精度で行うことができると考えられるとともに、パソコンそのものの性能にも依存するため、今後の CPU の高速化に応じた性能向上も期待される。したがって、本システムは土木構造物の振動モニタリングに対する十分な有効性、実用性を有するものと考えられる。

また、本システムと構造制御装置あるいは構造同定アルゴリズムなどを組み合わせることにより、合理的な橋梁管理システムの構築や橋梁構造物のインテリジェント化にも十分に寄与できる可能性を有するものと思われる。

【参考文献】

- 1) 安達一憲、宮森保紀、小幡卓司、林川俊郎、佐藤浩一：非接触変位計測システムへの家庭用 DV カメラの応用について、土木学会北海道支部論文報告集、第 58 号、pp.200-203, 2002.
- 2) 安達一憲、宮森保紀、小幡卓司、林川俊郎、佐藤浩一：非接触変位計測システムへの家庭用 CCD カメラの適用に関する一考察、土木学会第 57 回年次学術講演会、pp.1143-1144, 2002.
- 3) 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、pp.22-25, 2003.
- 4) 酒井幸市：デジタル画像処理入門、コロナ社、1997.
- 5) 岡崎彰夫：はじめての画像処理技術、工業調査会、2000.
- 6) 小高知宏：基礎からわかる TCP/IP Java ネットワークプログラミング、オーム社、2002.