

II-14 土木構造物施工管理・維持管理のための画像遠隔モニタリングシステムの開発

*岡林隆敏

Takatoshi Okabayashi

**田野岡直人

Naoto Tanooka

***吉村徹

Toru Yoshimura

【抄録】本論文は、構造物の施工管理や維持管理の効率化、省力化のためにカメラからの画像情報を集録・転送し、遠隔モニタリングを行うためのシステムの開発について述べる。まず、市販のインターネットを介してライブ映像を発信するカメラシステムを取り入れ、実際に遠隔画像モニタリングを行い、画像の転送速度、現場への適応性について調べた。さらにその機能を改善し、画像情報を効率的に扱っていくために独自に画像転送システムを構築し、実用的なものへと改善する。事例研究として、PHS、携帯電話、ISDN回線でネットワークを構成し、本システムを実橋に適用し、システムの有効性の検討を行う。

【キーワード】画像情報 施工管理 遠隔操作 移動体通信 イン트라ネット

1. はじめに

近年、情報化の進展により、建設分野では作業の効率化を図るためオンラインで計測データを管理するようになってきた。その中で、多量の既設橋梁の健全度評価のために、橋梁の振動状態を遠隔地からモニタリングする計測システム^{1),2),3)}が実現されつつあるが、現場の状況を正確に把握するためには、映像としても現場をモニタリングする必要がある。

近年のパーソナルコンピュータ、画像処理ソフトウェアの処理機能の向上により、高性能かつ低価格な画像処理システムを開発することが可能になってきた。さらに、インターネットの爆発的な普及とともにコンピュータネットワークの通信速度が高速化し、ネットワークを通じて画像を転送することが可能になってきている。本研究は、これらの画像処理システムと通信技術を用いて、小型で安価な遠隔画像モニタリングシステムを構築するものである。

本論文では、遠隔地の橋梁の施工管理や維持管理へ適用するための基礎的な研究と位置付け、画像モニタリングシステムを構築し、その有効性について検討する。また、実橋梁の施工現場においてモニタリング実験を行い、ISDN回線を用いた場合と移動体通信端末を用いた場合の2ケースについて、市販システムと自主開発システムとを比較する。さらに、モニタリング実験の結果を踏まえて、システムの改良を行う。

2. 画像情報による施工管理

(1) 画像情報を施工管理に適用することの利点

映像を映し出す画像メディアは人間が認識しやすいものである。そこで、近年のカメラの低価格化、画像処理ソフトウェアの高性能化に伴い、建設分野において画像情報を活用する研究が進んでいる。従来、画像処理は専用のハードウェアで処理されていたが、コンピュータの処理速度の向上とハードディスク等の記憶装置の増加と高速化により、1台のパソコンで実現可能になってきている。これにより、構造物の注目すべき領域の輪郭、位置、角度、長さなどをモニタ上で把握することができる。これを構造物の施工管理に適用することで作業の効率化、省力化を図ることが可能であると考えられる。現在ではノートパソコンに画像処理ソフトを導入することにより、高精度な可搬型画像処理システムを構成することが可能になってきている。

(2) 遠隔地からの画像情報による施工管理

近年、インターネットの利用者、あるいはモバイル端末の爆発的な増加、普及により、データ通信へのニーズが高まり、通信技術の進化は著しい^{1),2),3)}。数年先には、さらに高速通信可能になる予定であり、画像情報を遠隔地に転送することが可能になってきている。そこで、通信ネットワークを利用して画像情報を扱うことで、工事現場内だけでなく、離れた場所からも施工状況の把握が可能になる。

* フェロー 長崎大学工学部社会開発工学科 〒852-8521 長崎市文教町 1-14 TEL:095-847-1111

** 学生員 長崎大学大学院生産科学研究科 〒852-8521 長崎市文教町 1-14 TEL:095-847-1111

*** 正会員 オリエンタル建設福岡支店 〒810-0001 福岡市中央区天神 4-2-31 TEL:092-761-6934

3. 遠隔地からの画像モニタリング

(1) 市販システムでの遠隔画像モニタリング

大量の画像データを転送する場合、どれくらいの通信速度で伝送できるかを考慮する必要がある。また、実際に画像データを受信しモニタリングすることで、施工管理にどこまで適用できるかということを検討しなければならない。そこでまず、インターネット（イントラネット）にライブ映像を配信する市販（Canon 製）のシステムを取り入れた。

1) 映像配信システム

このシステムは図-1に示すように、RS-232Cで制御可能な小型カメラ VC-C3 と、映像を取り込みインターネット（イントラネット）上に映像を配信するネットワークカメラサーバー VB100 で構成されている。受信側では、専用のソフトウェアまたは JAVA アプレットにより、遠隔地で映像の表示とカメラの制御が可能である。図-2に、専用のソフトウェアでのモニタリング画面を示す。

2) ネットワークカメラサーバー VB100 の機能

- ・画像を Motion-JPEG で圧縮可能。
- ・TCP/IP, HTTP プロトコルに対応。
- ・JPEG 圧縮の画像品質（1～99）、キャプチャレート（0.1～30fps）を自由に設定でき、ネットワーク

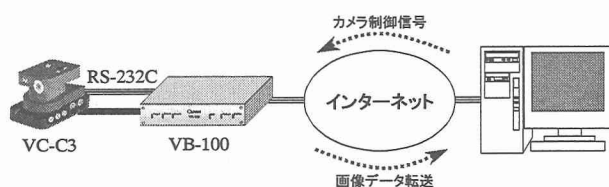


図-1 ネットワークカメラシステム

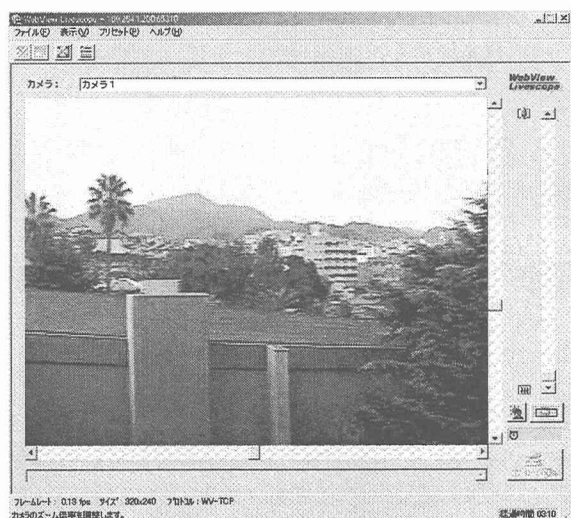


図-2 ネットワークカメラでのモニタリング画面

環境に合った最適な設定が可能。

- ・最大4台のカメラを接続可能(カメラ制御は2台まで)。
- ・IPアドレスとパスワードで映像の配信先を制限可能。

3) 使用性の検討

VB100では、ビデオカメラからの画像を圧縮してから配信でき、その圧縮率は変更することができる。そのため、画像データ量、通信機器の通信速度に合わせて画像の圧縮率を決定することができる。VB100を使うことにより現場を監視するといった“見る”という作業には十分活用できる。しかし、VB100から送られてくる映像は画像データとして扱えず、画像処理を行えないので、構造物の微妙な変化を察知することが困難である。さらに、画像を保存する際に保存先、ファイル名を手動で指定しなくてはならないためデータ管理に手間がかかる。

(2) 遠隔画像モニタリングシステムの開発

小型カメラ VC-C3 を利用し、遠隔地から画像をモニタリングするシステムを独自に開発した。図-3に、システムの概要を示す。本システムは、画像データの集録、転送、表示を仮想計測器ソフトウェア LabVIEW（National Instruments 製）でプログラミングしたものであり、用途に合わせたプログラムを作成できる。

1) システム構成

システム構成としては、VC-C3 と画像集録ボード PCI-1411（National Instruments 製）を装着したパソコンを現場に設置し、ネットワークを利用して遠隔地のパソコンから現場の状況をモニタリングするものである。双方のパソコンには LabVIEW で作成した画像転送プログラムを導入している。集録画像データは、LabVIEW で処理するため、直接 LabVIEW に画像データをロードできる画像集録ボード PCI-1411 を使用した。図-4に受信側のパソコンのモニタ画面を示す。

2) 画像転送システムのプログラミング

現場に設置したパソコンのプログラムを実行しておけば、時と場所を問わず、受信側のパソコンのプログラムを実行することでカメラからの画像をモニタリングすることができる。画像処理の部分は、LabVIEW の追加ソフトウェアである IMAQ Vision を利用して作成した。IMAQ Vision は画像データを数値で表現できるため、画像処理可能である。その他データ通信などのプログラム群は標準で含まれており、容易にプログラミングすることができる。

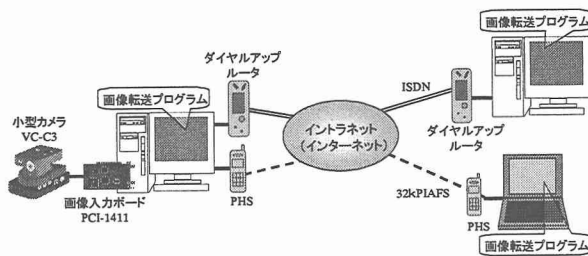


図-3 遠隔画像モニタリングシステム

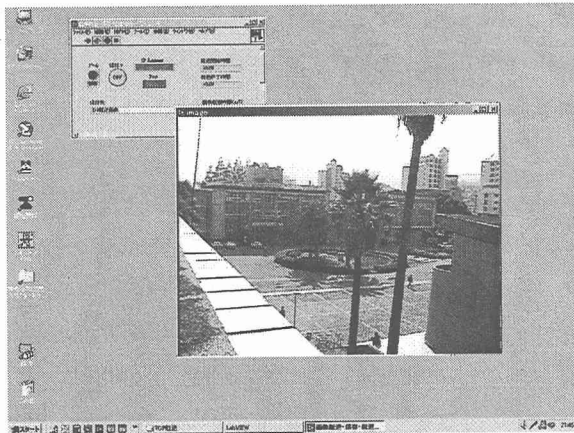


図-4 受信側のモニタ画面

4. 実橋梁での遠隔画像モニタリング

本システムで実際にどの程度の画像が送られてくるのか、またネットワークを介して確実に画像データを転送し遠隔地から画像をモニタリングできるのかを確認するため、橋梁の施工現場に適用し実験を行った。通信技術として現場にすでに整備されていた ISDN 回線と、通話範囲内であればどこでも使用できる PHS、携帯電話を使用した。

(1) 対象橋梁

対象橋梁は、熊本県の芦北地区に建設中の佐敷大橋（仮称）である。橋長は 225m で、3 径間連続エクストラードード PC 箱桁橋である。今回実験を行った長崎大学からは約 80km の距離にある。長崎大学と橋梁現場の位置図を図-5 に示す。

(2) システムの配置

システムの配置状況を図-6 に示す。P2、P3 橋脚上の計測室から、ダイヤルアップルータを設置している事務所までは無線 LAN を使用して現場内イントラネットを構築している。カメラは P3 付近に設置しており、P3 の計測室から指向性アンテナを事務所に向けて設置し、事務所には無指向性アンテナを設置して、接続を確立している。現場事務所と研究室間はダイヤルアップルータを用いて ISDN 回線

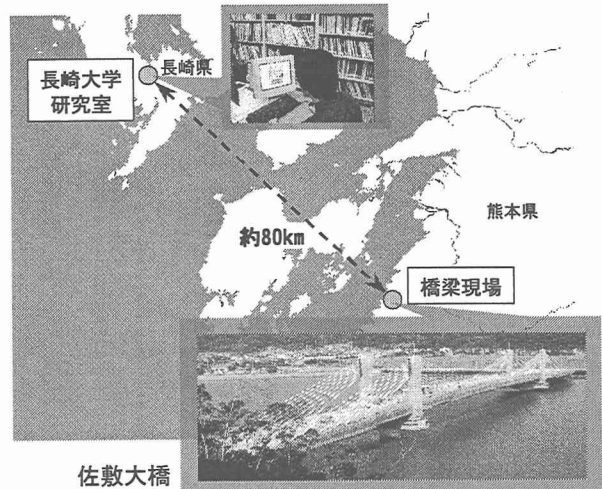


図-5 長崎大学-橋梁現場位置図

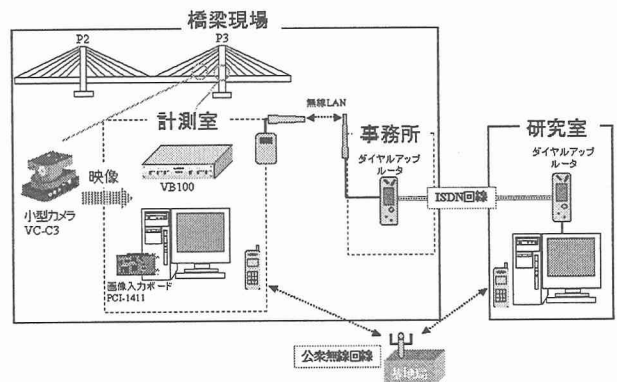


図-6 システム配置

表-1 画像転送レート

VB-100を使用	理論値(f/s)	実測値(f/s)
PHS 32kbps	0.48	0.27
携帯電話	0.16	0.05
ISDN 64kbps	1.04	0.73
ISDN 128kbps	2.08	1.18
LabVIEWを使用	理論値(f/s)	実測値(f/s)
PHS 32kbps	0.048	0.032
携帯電話	0.016	0.003
ISDN 64kbps	0.1	0.04
ISDN 128kbps	0.21	0.1

※画像サイズ320×240

で接続した。また、PHS または携帯電話を用いた場合では、P3 橋脚上の計測室と研究室間でネットワークを確立した。

(3) 遠隔画像モニタリング結果とシステムの検討

それぞれのシステム、通信機器を用いた場合の画像転送レートを表-1 に示す。理論値とは、通信機器の転送速度を最大限に利用したときの値であり、実際は回線利用率、ノイズ等の影響で半分程度の転送レートになる。開発システムの場合では、VB100 のシステムと比べると画像圧縮ができないため転送レートは遅

い。これは画像キャプチャボードの性能、パソコンの処理速度にも影響される。しかしこの問題は、最大 2Mbps の通信速度になる予定の次世代携帯電話の普及により解消されると予想される。今後さらに転送速度を高速化するためには画像圧縮ツールを本システムに導入する必要がある。

5. 画像転送システムの改良

これまで説明したシステムでは、実験を行うためにデスクトップパソコンを現場に設置する必要があり、設置スペースを確保する必要があった。そこで、図-7に示すノート型パソコンを使用したシステムを構築し、システムの小型化を図った。また、ノート型パソコンから RS-232C により VC-C3 を操作できるようにプログラミングし、さらに遠隔地からのカメラ制御を実現した。以下にそれらについて説明する。

(1) システムの小型化

画像入力ボード PCI-1411 は PCI バス接続のため、デスクトップパソコンを要していた。そこで、PC カードスロットタイプのビデオキャプチャカード MSVCC04 (日立超 LSI システムズ製) と、それに対応したドライバソフト Video Capture Card G-Driver For LabVIEW (コム電子製) を導入することでノート型パソコンでの画像集録を可能にした。

(2) カメラの遠隔操作

1) カメラ制御のプログラミング

VC-C3 のカメラ制御端子とパソコンを RS-232C ケーブルで接続し、LabVIEW 上からカメラ制御できるようにプログラミングした。これにより、任意の角度、倍率で画像を集録できるようになった。

2) 遠隔制御

あるパソコン上の LabVIEW のフロントパネル画面からもう一方のパソコン上のプログラムを、TCP/IP ネットワークを経由して制御可能にするナショナルインスツルメンツの DataSocket テクノロジーを用いて、カメラの遠隔操作を可能にした。これは、現場側に設置し、カメラと接続したパソコンにカメラ制御プログラムを組み込み、モニタ側のパソコンからそのプログラムを制御することで実現する。図-8に、モニタ側に表示される LabVIEW で作成したモニタリング画面を示す。

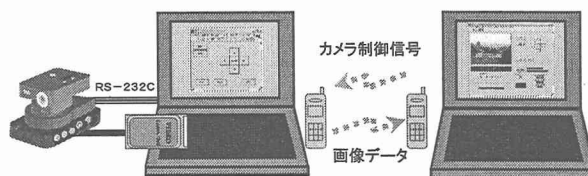


図-7 改良後のモニタリングシステム

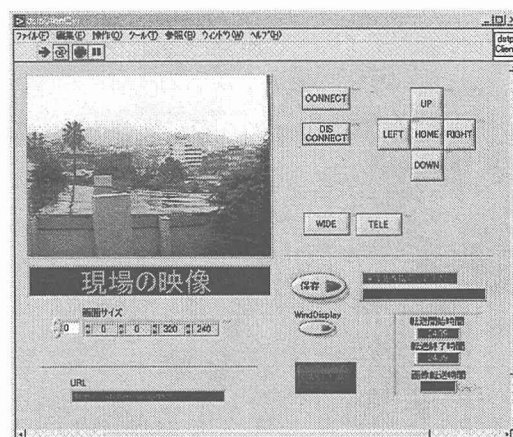


図-8 改良後のモニタリング画面

6. まとめ

本論文では、画像情報を利用して構造物の施工管理に適用するためのシステムを構築し、遠隔画像モニタリングの事例について述べた。

本システムの画像処理はソフトウェアによるプログラミングで行うもので、用途にあわせ変更可能であるため、構造物の維持管理、災害の監視、警報システムなど多方面に使用可能である。

近年、著しく発展しているコンピュータ、通信技術を利用することで、施工管理や維持管理のための新しいモニタリングシステムが実現されつつある。計測・通信・解析が融合して次世代の管理システムが開発されると考えられる。

参考文献

- 1) 岡林隆敏：道路橋振動の遠隔モニタリング，Intelligent Bridge/Structure and Smart Monitoring に関する公開講演会，pp.23-32，1999
- 2) 岡林隆敏，吉村徹，河村進一，細川雅史：無線 LAN およびインターネット技術を活用した橋梁施工管理のための遠隔計測システム，構造工学論文集，Vol.47A，pp.285-292，2001
- 3) 河村進一，岡林隆敏，高木真一郎：移動体通信による橋梁振動の遠隔計測システムの開発，構造工学論文集，Vol.46A，pp.539-545，2000