

I-38

橋梁振動のリモートモニタリングシステムの検討

北見工科大学院	○学 生 員	高田 直幸	北見工業大学	フェロー	大島 俊之
北見工業大学	正 員	山崎 智之	北見工科大学院	学生員	ムハマド S. ラーマン
㈱日本製鋼所	正 員	田中 秀秋	島田建設㈱	正 員	斉藤 隆行

1. はじめに

近年、構造物のライフサイクルコストの低減が社会的問題になっている。そのためには維持管理の効率化や客観的な判断が必要であり、その上で適切な時期に補修や補強が必要となってくる。橋梁などの土木構造物においては振動や変位などをモニタリングすることで構造物の健全度診断を行ったり、それ自体に判定機能を持たせてインテリジェント化し、効率的な維持管理に役立てようとする研究も進められている。また、パーソナルコンピュータ(以下パソコン)の高性能化・低価格化が急速に進んでいることや各種測定装置をパソコンから制御することが容易になってきており、高度な信号処理を手軽に行うことが可能になってきている。さらにインターネットや携帯電話が急速に普及していることよりモバイルコンピューティングも一般的化し、データ転送やパソコンのリモート管理などが簡単にできるようになってきた。そこで本研究では携帯電話によってインターネット接続されたコンピュータにより自動的に橋梁の振動を測定させ、遠隔地からその状況を監視し、長期的な測定から健全度評価を行えるモニタリングシステムについて検討した。

2. 計測概要

2.1 計測システム

本実験で対象とした橋梁は道道北見環状線東陵大橋であり、構造形式は3径間連続鋼鈑桁で橋長80.5m(1径間26.5m)総幅員18.8m(車道幅員11m)、4.2%勾配の7主桁直線橋である。この橋梁に図1で示すように加速度計と変位計を各3カ所中央の主桁に設置した。また、橋梁から20m手前、高さ2mの位置に光電センサーを2カ所設置し、このセンサーに反応する車高が2m以上の車両が橋梁を通過する時に測定した。各センサーから得られたデータは図2のシステムで増幅しPCMCIA用のカード型A/Dコンバータを通してノート型パーソナルコンピュータ(以下ノートパソコン)に集録させた。集録に用いた

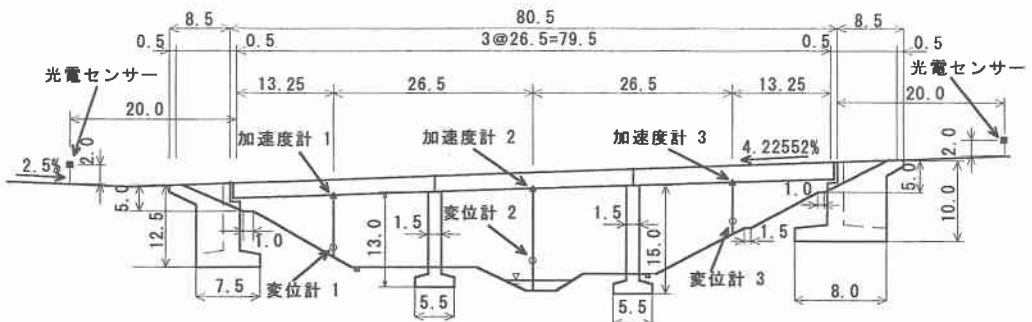


図1 各種センサー位置 (unit: m)

Investigation of Remote Monitoring System on Bridge Vibration

By Naoyuki TAKADA, Toshiyuki OSHIMA, Tomoyuki YAMAZAKI, Muhammad S. RAHMAN
Hideaki TANAKA and Takayuki SAITO



図 2 測定システム

プログラムはナショナルインスツルメンツ社製の LabVIEW を用いて作成したものである。さらに自動計測中に携帯電話を用いてインターネット網に接続し、学内のコンピュータからリモート管理できるようにインターコム社製の Laplink を用いて測定現場のノートパソコンをコントロールした。詳細なシステム構成を表 1 に示す。

LabVIEW とは従来用いていた計測器をコンピュータ上で仮想的に再現しデータ集録・解析・通信などを制御する様々なツールが用意され、ユーザーが必要な機能を組み合わせて使うソフトウェアである。また、データ通信には NTT DoCoMo 社が提供しているパケット通信方式の「Dopa」を利用できる携帯電話を用いた。この回線は通常の携帯電話の通信速度が 9.6kbps であるのに対して 28.8kbps という比較的高速な通信が可能であることと、通話時間に関係なく通信したデータ量で課金するシステムになっており、IP アドレスが固定されていない PPP(Point to Point Protocol)接続でも擬似的にアドレスを固定して通信できることが特長である。

2.2 計測方法

加速度計は図 3 のように下フランジ上に張り付けた。また、下フランジにクランプを用いてピアノ鋼線を固定してつり下げ、地盤からバネにより一定張力を加え、図 4 のように鋼線の間中部に変位計を設置した。測定のサンプリング周期は 200Hz で行い、光電センサーによるトリガ集録を行った。一度トリガが発生

すると 15 秒間測定し、収録中に連続してトリガが発生した場合は最初のトリガから最後のトリガの 15 秒後まで測定するようにした。測定が終了し保存も完了すると自動的に次のトリガ発生を待機するようにプログラムした。測定中は携帯電話によりインターネット網に常時接続して Laplink により学内から測定状況を随時監視した。携帯電話はデータ通信が 10 分以上無い場合自動的に切断される仕様となっている。このことを防止するためにサーバーソフトウェアである DISCO を使用した。このソフトウェアは指定時間ごとにダミー通信を行うことができるので上記のことを防止することができる。パソコンなどの測定機器は河川敷に計測用の小屋を設置して電源も同時に確保した。

表 1 システム構成

	ハード・ソフトウェア	製品名(製造元)
パソコン 関連	パソコン	LaViewX (NEC)
	A/D 変換カード	DAQCard-700 (NATIONAL INSTRUMENTS)
	モデムカード	MOBILE DP CARD 2896P2 (松下通信工業)
	仮想計測器ソフトウェア	LabVIEW (NATIONAL INSTRUMENTS)
	遠隔操作ソフトウェア サーバーソフトウェア 携帯電話	Laplink (インターコム) DISCO (西山琢弥氏) デジタル・ムーバ P302HYPER (松下通信工業)
センサー	変位計 加速度計 増幅器	DT-20D (共和電業) AS-5GB (共和電業) SIGNAL CONDITIONER (北海道電子機器)

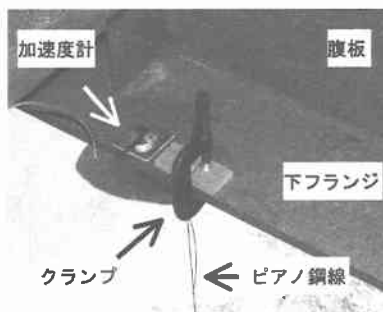


図 3 加速度計



図 4 変位計

3. 計測結果

測定期間は1999年11月18日15時～19日13時までであり、得られたデータ総数は514である。最大変位と最小変位の差によって分類したものを表2に示す。これから0.5mm未満のデータ数が最も多くなっているが、これは光電センサーが一部の乗用車や小型トラックなど比較的軽量の交通にも反応して集録されたためと考えられる。1.0mm以上1.5mm未満のデータが次に多く全体の約16%だった。また、3mm以上変位したデータは全体の約0.4%となった。次に、1mm以上変位したデータを時間によって分類したものが図5である。これを見ると7時から17時の間に重交通が集中していること、19日の11時台にもっとも重交通が多く通ったことがわかる。これらのことを長期間モニタリングすることにより重量車両の通行頻度と疲労損傷の関係が明確になると考えられる。

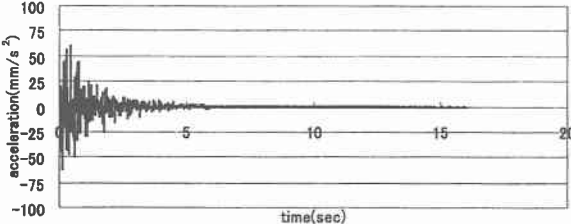
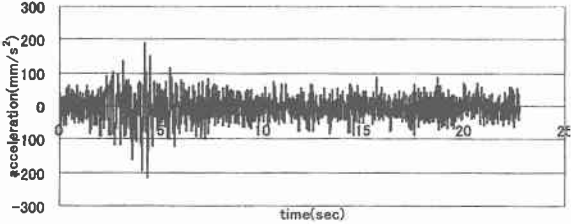
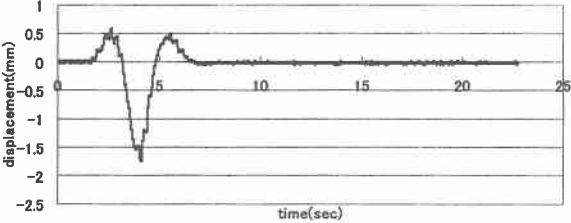
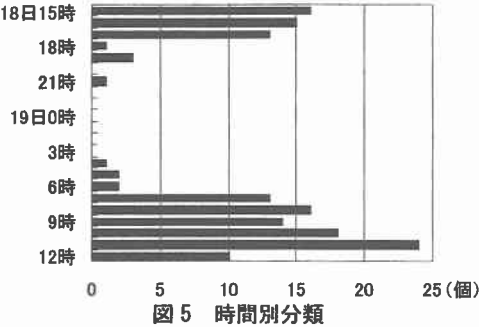
変位差が3mm以上だった19日9時26分6秒に車両が通過したときの変位計2の変位を図6に、加速度計2の加速度を図7に示す。ノイズ成分を除去するために変位計には48Hz～52HzのBandstopフィルタを、加速度計には30HzのLowpassフィルタを用いている。

このとき光電センサーに反応した車両は1台であり17.5m/sで坂を登る方向に進行していた。図6から最大変位は0.587mm、最小変位は-1.749mmであった。また、図7から最大加速度は187.7mm/s²、最小加速度は-212.29mm/s²であった。この加速度波形のフーリエスペクトルを計算したのだがノイズ成分が多く、卓越振動数を判別することができなかった。そこで車両通過後の加速度に着目した。車両通過後、橋梁は減衰自由振動をしているので6.66秒以降の加速度に2Hz～20HzのBandpassフィルタを適用しExponential Windowを用いてスペクトルの平滑化処理したものを図8に示す。この加速度波形についてフーリエスペクトルを計算すると図9のようになり、固有振動数の1次モードが4.23Hz、2次モードが5.89Hzであることが卓越周波数からわかるようになった。

同時に、平面はり要素で実験橋梁をモデル化し、質量マトリックスはLumped Mass法を用いた。固有

表2 変位置別分類

変位差	数	割合
0mm 以上 0.5mm 未満	283	55.1
0.5mm 以上 1.0mm 未満	80	15.6
1.0mm 以上 1.5mm 未満	83	16.1
1.5mm 以上 2.0mm 未満	19	3.7
2.0mm 以上 2.5mm 未満	37	7.2
2.5mm 以上 3.0mm 未満	10	1.9
3.0mm 以上	2	0.4



値解析には QR 法を用い固有値と固有ベクトルを求めた。その結果、固有振動数の 1 次モードは 2.485Hz、2 次モードは 3.22Hz となり、測定で得られた結果より振動数が少ない結果となったので実験橋梁に用いられているゴム支承を考慮して計算を行うと 1 次モードは 4.05Hz、2 次モードは 4.55Hz となり測定によって得られた結果とほぼ等しくなることがわかった。このときの振動モード形を図 10 に示す。

また、汎用構造解析プログラム MARC の 4 節点厚肉シェル要素を用いてゴム支承を考慮しないで固有値解析を行って得られた固有振動数の曲げ 1 次モードは 4.48Hz、曲げ 2 次モードは 5.91Hz となった。また、ゴム支承を考慮した場合曲げ 1 次モードは 4.69Hz、曲げ 2 次モードは 6.02Hz となりこちらも測定によって得られた結果とほぼ等しくなることがわかった。以上のことを表 3 に示す。

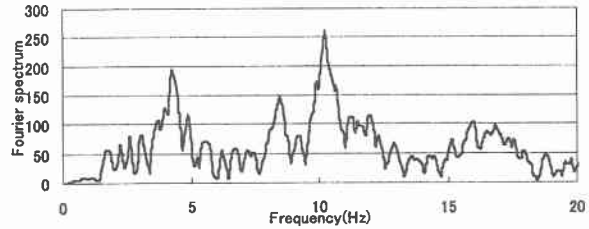


図 9 フーリエスペクトル

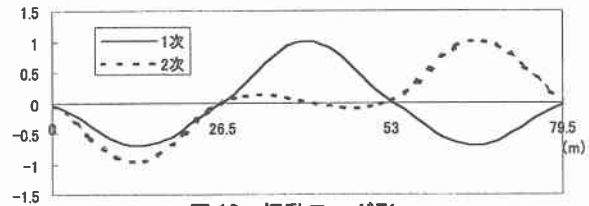


図 10 振動モード形

表 3 固有振動数の比較

支持方法	実験	はり要素		シェル要素	
		固定	弾性	固定	弾性
1 次 (Hz)	4.23	2.48	4.05	4.48	4.69
2 次 (Hz)	5.89	3.22	4.55	5.91	6.02

4. まとめ

本研究によって以下のことが得られた。

- (1) 橋梁振動計測を自動化し携帯電話を用いて遠隔地からその状況を監視することができた。
- (2) 車両通行時の変位データを分類することにより重量交通の頻度が把握できるので長期間モニタリングすることにより疲労亀裂発生との関係が明確にすることができる。
- (3) 測定で得られた波形から振動モードを計算するためには適切なフィルタ処理や Window を適用して処理する必要がある。

今後、データ解析も自動で行えるように今ある測定システムに組み込み、長期間計測したときのデータの変化によって橋梁の健全度診断に役立てられるように拡張していく必要がある。また、本システムを小型にし、一体化する測定システムについても検討中である。本論文を作成するにあたり、北海道電子機器株式会社の柏谷昇氏に測定システムの製作に関して、北見工業大学工学部土木開発工学科の大西功基氏に実験をご協力いただきました。ここに記して感謝します。また、本研究の一部は平成 11 年度文部省科学研究費基盤研究(B) (代表者中山隆弘)と平成 11 年度文部省科学研究費基盤研究(C) (代表者山崎智之)の補助を受けて行われました。ここに感謝します。

【参考文献】

- 1) 橋梁振動研究会：橋梁振動の計測と解析、技報堂出版、1993 年 10 月
- 2) 三上修一・大島俊之・ムハマド S. ラーマン・山崎智之：構造物維持管理のためのワイヤレスモニタリングシステムの開発、土木学会第 54 回年次学術講演会公演概要集、I-A205、1999 年 9 月
- 3) 岡林隆敏・山森和博・古賀政男・吉村徹：仮想計測器ソフトウェアによる構造同定システムの開発、橋梁振動コロキウム' 97 論文集、pp.197-204、1997 年 10 月