

- 鉄道一般
- 車両
- 軌道
- 構造物
- 防災
- 電力
- 信号通信情報
- 材料
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

河川増水時の橋脚基礎の健全性を評価する

河川増水時には洗掘の影響で橋脚基礎の安定性が低下する場合があります。このため、鉄道事業者では河川水位に応じて必要により運転規制を行い列車の安全を確保しています。水位低下後の規制解除の際には、橋脚基礎の健全性が低下していないかを捉えることが重要ですが、水面下で発生する洗掘現象は目視で直接確認することが困難であるという課題があります。ここでは、増水時の運転規制を解除する際の判断に資することを目的として開発した橋脚基礎の健全性評価システムの概要と、実橋りょうでの稼働試験の結果についてご紹介します。



渡邊 諭
Satoshi Watanabe
防災技術研究部
地盤防災研究室
副主任研究員
【専門分野】河川防災



佐溝 昌彦
Masahiko Samizo
前 防災技術研究部
地盤防災研究室
(現 事業推進室 担当部長)
【専門分野】河川防災、
斜面防災

はじめに

河川増水時には洗掘(☞参照)の影響で橋脚基礎の安定性が低下する場合があります。このため、鉄道事業者は橋りょう周辺の水位に応じて必要により運転規制を行って列車の安全を確保しています。これまでの研究¹⁾により、衝撃振動試験などにより橋脚の固有振動数が既知であれば、増水時の常時微動(☞参照)から橋脚の固有振動数が特定でき、その変化で増水時における橋脚基礎の健全性が評価できることが分かっています(☞図1)。

そこで、増水時の運転規制の解除判断に資するデータを得ることを目的として、常時微動の計測結果から求めた固有振動数による橋脚基礎の健全性評価アルゴリズムを内蔵し、遠隔地での制御と監視ができる橋脚基礎の健全性評価システムを開発しました。

☞ 洗掘

構造物に河川の流れがぶつかると、構造物の壁面に沿って下向きに潜り込む下降流が発生します。この下降流により構造物周りの河床材料が流されることを局所洗掘あるいは単に洗掘と呼んでいます。

健全性評価システムの機能

橋脚基礎の健全性評価システムの製作にあたっては、以下の機能を有することとしました。

- (1) 微動計測データをシステム内部で演算処理し、リアルタイムで橋脚の健全性を評価する機能。
- (2) 遠隔地からの健全性モニタリングが可能となるよう、微動計測による健全性評価結果や測定条件の設定情報をインターネット上のデータサーバーに逐次保存するための通信機能。
- (3) 商用電源が無い場合でも長期間稼働できるよう、バッテリーと太陽電池などを併用した電源の供給・制御機能。

これらの機能を満足しつつ、精度良く固有振動数の変化を捉えることができる評価アルゴリズム^{2),3)}を有した健全性評価システムとしました。

☞ 常時微動

常時微動とは、地表面や構造物に絶えず存在している微小な振動のことです。交通機関や工場などの人工的な発生源や、海の波浪や風、地震などの自然現象が振動の原因と考えられています。

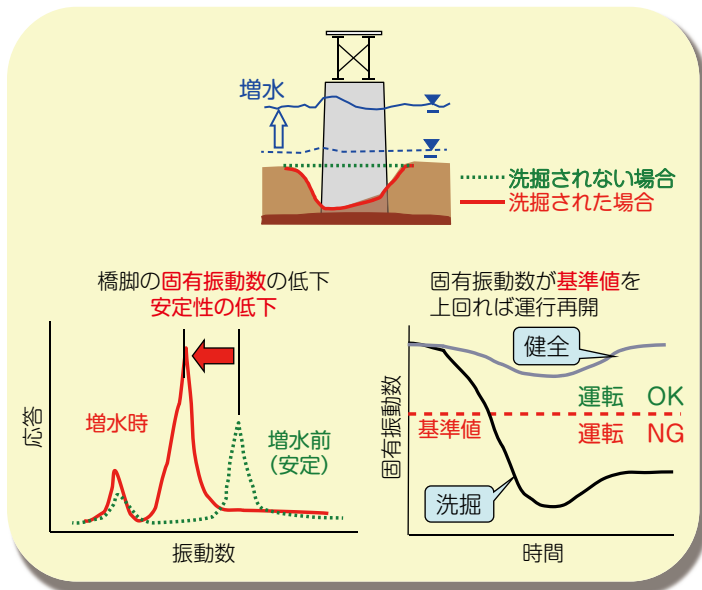


図1 健全性評価と運転規制時の判断支援のイメージ



図2 健全性評価システムの概略構成図

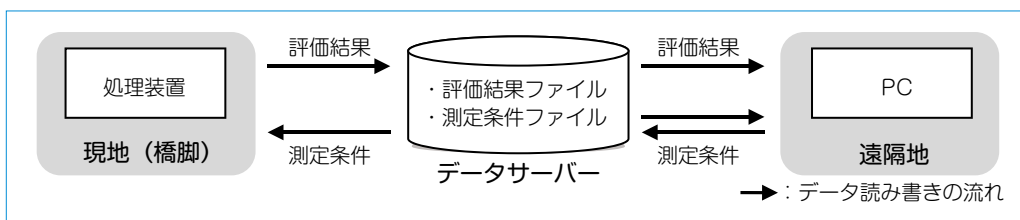


図3 遠隔地からのデータ制御とデータ共有化のイメージ

計測機器および演算処理装置

健全性評価システムの機器構成

健全性評価システムの機器構成の概略を図2に示します。健全性評価システムは、測定対象の橋脚上に設置する「速度センサー」と「水位計」、システムの制御と健全性評価を行う処理装置からなる「計測処理装置」、計測システムとデータサーバー（以下、サーバー）とのデータ伝送用の「通信端末」、それらの動作電源となる「電源部」、などから構成されています。また、処理装置との間を無線LAN接続して評価システムの制御・監視を現地で行うためのモニターPCも用いることができます。また、遠隔地では、インターネット上のサーバーに対して複数のPCからアクセスでき、PCごとに評価結果の確認や健全性評価システムの測

定条件を変更するなどの制御が可能です。図3に、サーバーを用いた遠隔地からの制御とデータ共有化のイメージを示します。評価結果や測定条件の設定情報を共有することで、複数の遠隔地からのリアルタイムな計測監視が可能となります。

通信方法

健全性評価システムからサーバーへの通信手段は、現地での設備をできる限り簡素化するために無線方式とし、データ通信には2GHz周波数帯のデータ通信専用の携帯電話を用いることとしました。

電源部

橋りょう上に新たに受電設備を設けなくても健全性評価システムを稼働できるようにするため、バッテリー給電による稼働を基本としました。バッテリー

は密閉型の鉛蓄電池（12V-40Ah/個）を用いています。また、バッテリーの交換周期を延長させるため公称最大出力24Wの太陽電池パネルを併用しました。

システム制御ソフトウェアの機能

固有振動数の特定方法

観測された微動波形のFFT処理で得られたスペクトル波形に対し、衝撃振動試験で求めた固有振動数6.4Hzの±10%の探索範囲（5.76～7.04Hz）の中で最も卓越した振動数を常時微動による固有振動数としています。また、FFTのデータ解析時間長は60秒であり10秒ごとに連続的に卓越振動数を特定し、この卓越振動数の5分間（30個）の平均値を算出します。この算出値の変化を監視することで、橋脚基礎の健全性評

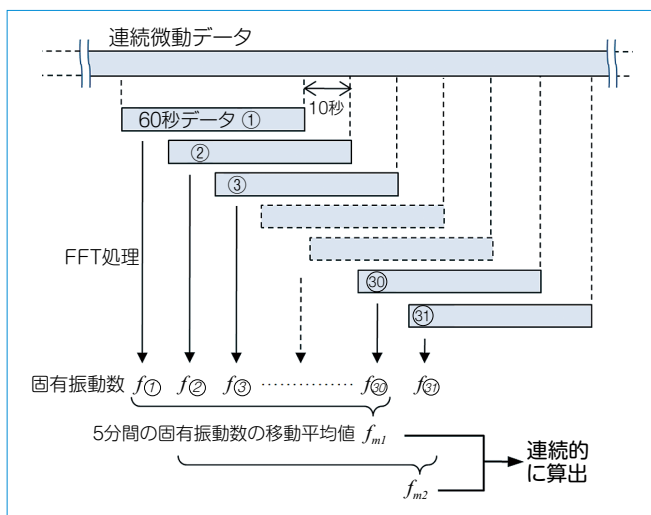


図4 固有振動数特定の手順概要図

値を行いました。図4に固有振動数特定の手順の概略図を示します。

遠隔地からの制御方法

健全性評価システムは起動の都度サーバーにアクセスして測定条件が記述されたファイルを読み込み、設定された条件で動作します。一方、遠隔地では測定条件が記述されたファイルを書き換えることで任意の条件で測定することができます。また、通信障害などにより起動時にサーバーへアクセスできなかった場合は、直前に設定されていた測定条件で動作します。

評価結果の監視画面

健全性の評価結果は随時サーバーにアップロードされるため、サーバーにアクセスできるPC端末があれば、複数箇所から同時に評価結果を確認できます。本システムには、現地での監視用と遠隔地での監視用の2種類の監視画面があります(図5)。遠隔地では常時微動の各方向成分のスペクトル図と微動から求めた固有振動数の経時変化および水位を数値として確認できます。一方、健全性評価システムが設置されている現地では、それらのデータに加え測定されている常時微動の波形がモニターできます。

測定モード

健全性評価システムには3種類の微動測定モードがあります。第一は、主

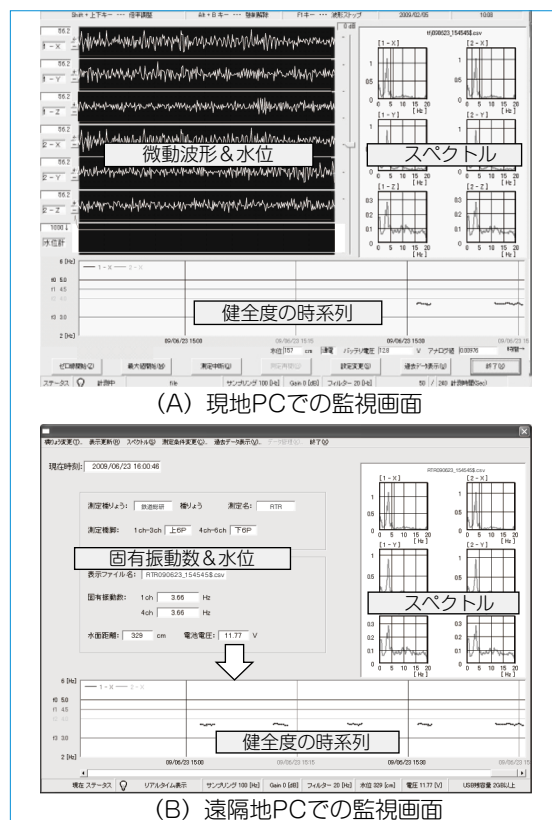


図5 健全性評価システムの監視画面の例

に平時時に用いる「隔測モード」で、一定時間ごとに所定の時間だけ微動を測定し、測定終了時に固有振動数を算出するものです。第二は、増水した際に用いることを想定した「常測モード」で、連続測定により逐次固有振動数を算出し、2分ごとにサーバーへ評価結果を伝送します。固有振動数を算出する頻度は任意に設定できますが、通常10秒ごととしています。第三は所定の水位に達すると予め定めた測定モードに自動で移行する「水位連動モード」です。水位情報には評価システムが有する超音波水位計で測定した値を用います。

システムの休眠および自動復帰機能

健全性評価システムがバッテリーと太陽電池とを併用して稼働する条件として、バッテリーからの出力電圧がある一定値以下となった場合には、バッテリーの過放電を防止するためにシステムを強制的に停止させて休眠モードに移行します。また、休眠モードに移行後、バッテリーが充電されてシステムの動作が可能な電圧値まで上昇した

場合には、自動的に評価システムを再起動させます。

実橋りょうにおける稼働試験

現地試験の概要

ヘルスマニタリングシステムの動作を確認するため、約半年間にわたり現地試験を実施しました。試験を行った橋脚は、上下別線の橋りょうで両者が隣接しており、上下線の橋脚は連絡通路でつながっています。下部工の基礎はいずれもケーソン基礎であり、上り線は下路鋼桁、下り線は鋼トラス桁となっています。速度センサーは上り線および下り線の各橋脚の天端に設置し、計測処理装置などは連絡通路に設置しました。なお、事前に実施された衝撃振動試験の結果、上下線の橋脚とも固有振動数は6.4Hzでした。速度センサーを設置した橋脚の全景および連絡橋に設置した計測処理装置と電源装置の状況を図6に示します。

各種機能の確認

図7に、試験期間中の11月下旬か

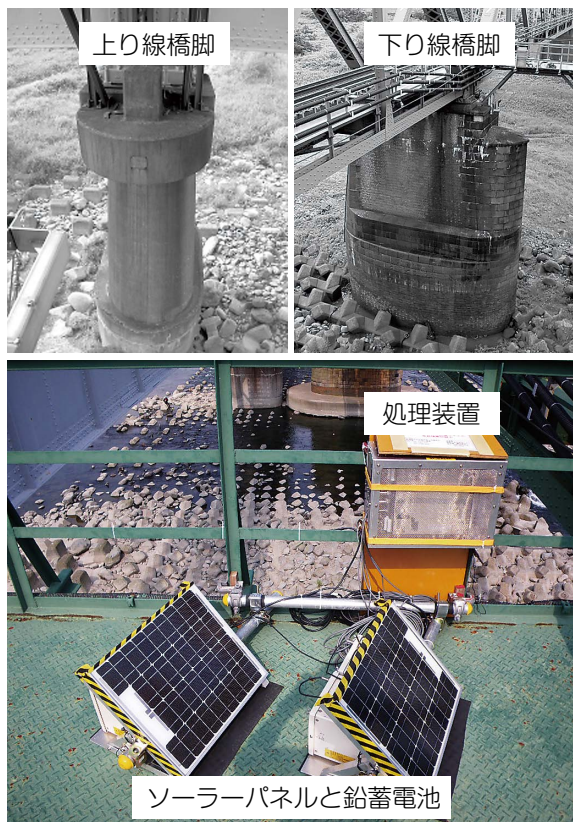


図6 対象橋りょうとシステムの設置状況

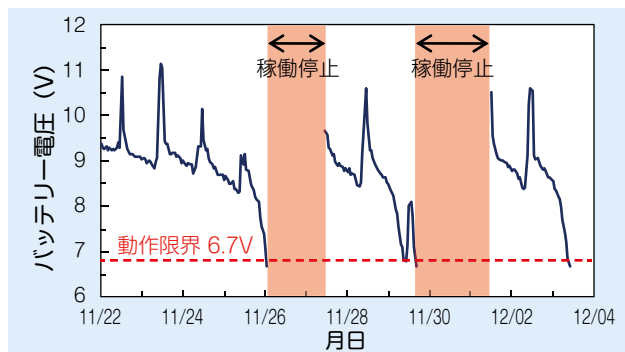


図7 バッテリー電圧の経時変化の例

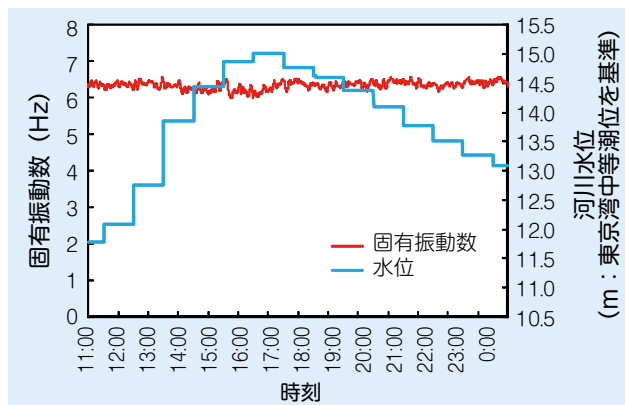


図8 固有振動数と水位の経時変化

ら12月上旬の電源電圧値の経時変化を示します。この期間では電圧低下に伴いシステムが休眠モードに2回移行していますが、その後の充電により電圧値が回復するとシステムが自動復帰しているのが確認できました。今回の現地試験では、約半年の間バッテリーの交換は必要なく、太陽電池とバッテリーの併用によりバッテリーの交換周期を延伸できました。また、その他のデータ通信機能にも問題がないことを確認しました。

一方、現地試験の当初にシステム本体が自動的に起動しなくなる障害が発生しました。その原因として、列車通過時に発生する電磁的なノイズの影響により、処理装置内の制御用ICチップが異常を起こしたことが原因として考えられます。そこで、処理装置の筐体全体を金属製の網で覆い、さらにアースを取ることで電磁的なノイズから保護するための措置を講じたところ、以後同様の障害は発生しませんでした。このことから実用化に際してはEMC

(☞参照)のガイドラインに沿った仕様を満足する必要があると考えられます。**増水時における橋脚基礎の健全性評価結果**

現地試験実施期間内の10月8日11時～10月9日1時までの間で、約4m水位が上昇する事例が観測されました。なお、この水位は列車の運転を規制する水位には達していません。図8は、微動から求めた橋脚の固有振動数と近傍の水位観測点(国土交通省のテレメーター)の水位の時系列変化との関係を示したものです。これによれば、微動から求めた橋脚の固有振動数は約6.0～6.5Hz内で変動するものの、おおむね安

☞ EMC

内部または外部からの電氣的・磁氣的な干渉によって電子機器自体に不具合が生じる電磁感受性と、他の電子機器や人体に悪影響を与える電磁妨害との両方について対策を施したものです。ある一定の基準によりこれらの性質を確認するための試験をEMC試験といえます。

定して特定できることが確認でき、また、今回の増水では橋脚基礎の健全性が低下した兆候は見られませんでした。

おわりに

今後は、健全性評価システムの適用条件に関する知見を得るとともに、システムの信頼性向上のための稼働実績を蓄積していきたいと考えています。

RRR

文献

- 1) 渡邊諭ら：微動から得られる固有振動数を用いた増水時の橋脚健全度評価、鉄道総研報告、Vol.21, No.1, pp.31-36, 2007
- 2) 佐溝昌彦ら：河川増水時における鉄道橋脚の固有振動数の特定方法の提案、土木学会論文集F, Vol.66, No.4, pp.524-535, 2010
- 3) 渡邊諭, 佐溝昌彦：常時微動計測による橋脚基礎のヘルスマニタリングシステム、鉄道総研報告、Vol.25, No.7, pp.25-30, 2011