

橋の異常を瞬時にキャッチ！ ——橋梁モニタリングシステム BRIMOS の開発

NTTデータでは、橋梁に発生した異常を即時かつ継続的に遠隔から監視する橋梁モニタリングシステム BRIMOS を開発しました。BRIMOSは、迅速かつ効率的な橋梁保全を実現するための道路管理業務支援情報を提供します。本稿では、地震発生時のリアルタイム異常検知機能および平常時の重量車両交通状況の情報提供機能を紹介するとともに、NTTデータのデータセンタ EXFORTに構築した共同利用型システムによる柔軟なサービス提供について説明します。

いしかわ ゆうじ みやざき さなえ
石川 裕治 / 宮崎 早苗

NTTデータ

橋梁監視の社会的重要性

現状の主な道路管理基準では震度5以上の地震が発生すると、交通をいったん規制したうえで目視による安全点検を実施する必要があります。そのため、道路交通の再開には数時間かかることもあり、避難や人命救助に対する影響が懸念されています。また、直接的な被害がなかった場合でも主要交通網における突然の物流・人流の停止は甚大な経済的損失を与えます。そのため道路行政においては、このような社会的・経済的損失を軽減するため、地震発生時に道路構造物の被害を迅速に把握し、通行可能ルートを即座に判定するシステムの整備が強く求められています。

さらに全道路橋の約40%が高度成長期に建設され、長期にわたって、特に都市部では重交通環境にさらされてきました。それに伴って、損傷の発生も増加傾向にあり、地震発生時ばかりでなく過積載車両の度重なる通行などによっても、2007年に米国で起こった落橋事故のような深刻な事故が起りかねません。しかし、現状の損傷把握は経験を積んだ点検員による目視確認に頼らざるを得ない状況であり、人員

の不足や点検費用の増加が大きな課題となっています。そのため、損傷発生の要因と結果に関するさまざまな情報を定量的かつ継続的に収集し、費用対効果の高い点検・補修計画を立案することが急務となっています。

橋梁モニタリングシステム BRIMOSの概要

このような社会的課題の解決に向けて、NTTデータでは、従来から培ってきたデータ解析技術⁽¹⁾を基に、科学技術振興機構における独創的シーズ展開事業・委託開発プログラムを活用し、東京工業大学、横浜国立大学、首都高速道路株式会社と共同で、道路橋に発生した異常を、継続的かつリアルタイムに検知するモニタリングシステム（BRIMOS: BRIdge MOnitoring System）を開発しました⁽²⁾。BRIMOSの概要を図1に示します。本システムでは、道路橋に設置した光ファイバセンサから橋桁および橋脚の段差、間隔、振動、傾斜などのさまざまなデータを連続的かつ継続的に収集し、解析することで道路橋の異常や損傷を検知します。また、光ファイバセンサの歪データおよび監視カメラ映像情報から車両重量を推定するととも

に車種判別を行い、道路橋の損傷の主要因となっている車重・車種の通行データを自動収集します（図2）。

BRIMOSでは、広域道路網全体の監視を想定して、複数の監視対象橋梁から情報センタにデータを収集して一元的にデータ蓄積・解析を行う方式とし、情報センタにて道路橋の異常検知や車重・車種の算出を実施します。現状の情報センタ構築ではNTTデータのデータセンタサービス EXFORTを利用し、災害発生時にも継続して計測が可能となるように耐久性の高い電源系統や通信ネットワーク、センタ設備を採用しています。

このようにして収集および解析された複数橋梁の監視結果は、道路管理者に一覧可能な形式でリアルタイムに提供することが可能です（図3）。道路管理者は地震発生時に被害状況を全体俯瞰的に把握し、迅速な道路通行再開判定や使用可能ルートの特定が可能となります。また、道路橋落下の予兆や損傷などの異常を早期発見できるような情報を長期継続的に収集するため、平常時における路線網の安全確保にもつながります。さらに長期蓄積した通行車両の車重・車種データから精度良く損傷度予測することで補修

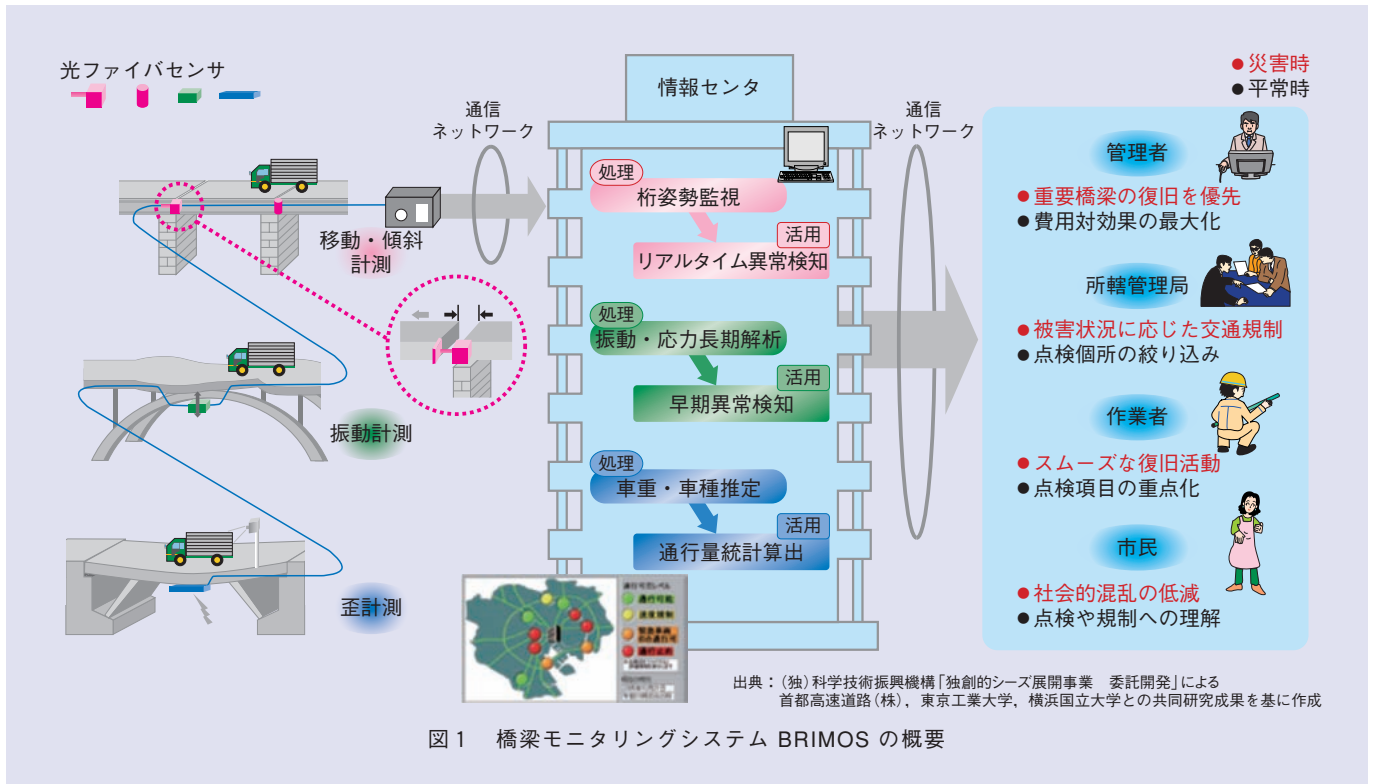


図1 橋梁モニタリングシステム BRIMOS の概要

災害時	平常時	疲労損傷予測
被害状況の迅速な把握	橋梁異常の早期発見	重量車両の継続的な監視
変位計 桁間隔・段差測定 しきい値検知計 桁間隔測定	傾斜計 桁傾斜測定 加速度計 振動・衝撃測定	監視カメラ(既設) 車両情報取得 歪計 桁応力測定
リアルタイム計測	早期異常検知	通行量統計算出

図2 システムの監視項目と利用する光ファイバセンサ



置き、1年以上の計測実験を行って、収集・解析・蓄積・配信といった各技術要素の実用化検証を実施しました。以下では実際の計測結果に基づいて、BRIMOSの主要な機能を紹介します。

災害発生時のリアルタイム異常検知

地震発生時における通行可否は、主に、橋桁および橋脚の移動や傾斜を計

優先すべき道路を抽出できるなど、費用対効果の高い維持管理が可能となります。

以上のようにBRIMOSでは道路ネットワークを一元監視するシステム構成と情報配信手段を実現しており、

大都市圏をはじめ全国15万道路橋への展開が考えられ、道路保全・管理に大きく貢献することが期待されます。

このBRIMOSの開発にあたっては、交通の激しい複数の高速道路橋に5種、70基以上の光ファイバセンサを設

測し、桁間の段差や隙間が規定以内であるか、あるいは、構造的に車重の載荷に耐えられるか、によって判断します。本システムでは、複数の光ファイバ変位計および光ファイバ傾斜計による計測結果を統合し、橋梁構造の変動を2次元あるいは3次元的にとらえることが可能です。計測結果はリアルタイムに道路管理者ビルの設置端末に表示され、即座に通行停止等の措置が可能となります。なお、監視対象地点は多数に及ぶ可能性があるため、図3に示したように地図ベースの情報提供によって、各地点の異常レベルを全体俯瞰的に確認することができ、異常地点をクリックすることで段階的に詳細な異常個所を特定できるインタフェースとなっています。

図4には変位計の設置例とともに2007年7月に発生した中越沖地震時の桁間隔の計測結果を示しています。地震波の到着に伴って桁間の変動が増大し、地震波の通過後に変位の残差が発生していることが分かります。このような計測結果から、通行の可否判断や点検個所の選定などを定量的かつ客観的に実施することが可能です。

平常時における継続異常監視

平常時の損傷監視は、「要因」となる車両交通と「結果」である橋梁構造の変化という両面から実施されます。要因と結果を長期継続的、かつ定量的に監視することで、両者の関係を把握し、重大な損傷に至る前に費用対効果の高い点検・補修が可能になります。

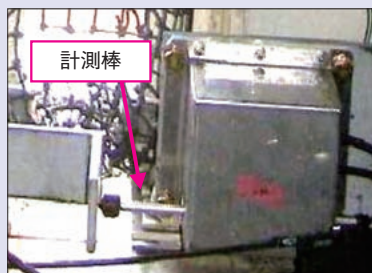
橋梁構造に関しては、変位、傾斜、固有振動など多面的な計測データを統計情報として自動蓄積し、温度収縮のような平常変動と異常な傾向を示す変動の見極めに有用な情報を提供できます。例えば、図5は橋桁の固有振動に対する長期監視結果ですが、数カ月単位で変動しているものの、1年で値が戻ることから平常の年間変動であると判断できます。

また疲労損傷に関しては、重量車両の通行がその大きな要因となっているといわれていますが、本システムが提供する重量車両の交通量情報は、車線単位および車軸単位で重量を計測した結果であり、既存サービスと比較して、より詳細に損傷の発生傾向を検討

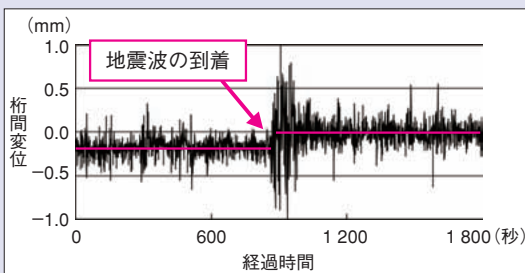
することが可能です。例として、重量車両の交通量監視結果を図6に示します。鋼材溶接部の疲労損傷度が負荷重量の3乗に比例することから、車重の3乗値を車重階級別に月ごとの1日平均値として示しています。この結果から、法定違反と推測される40トン以上の車両が橋梁損傷に対して定常的に大きな割合を占めていることが分かります。

共同利用型システムによる柔軟なサービス提供

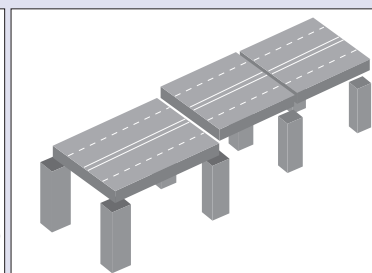
以上に説明しましたようにBRIMOSでは複数種の監視情報を提供可能であり、また、その加工レベルも生の計測値から警告レベル情報までさまざまです。一方で、道路管理者側には必要な情報を必要な期間だけ利用したいという要望があります。そこで、BRIMOSでは共同利用型システムを採用して情報提供サービスをメニュー化し、情報管理者側のニーズに対応できるようにしています。さらに、情報提供方式についても情報閲覧用の専用アプリケーションを提供する方式から、Webやメールを利用した方式ま



(a) 光ファイバ変位計の設置状況



(b) 地震発生時の計測結果



(c) 計測結果の3次元表示例

図4 橋桁移動の監視結果の例

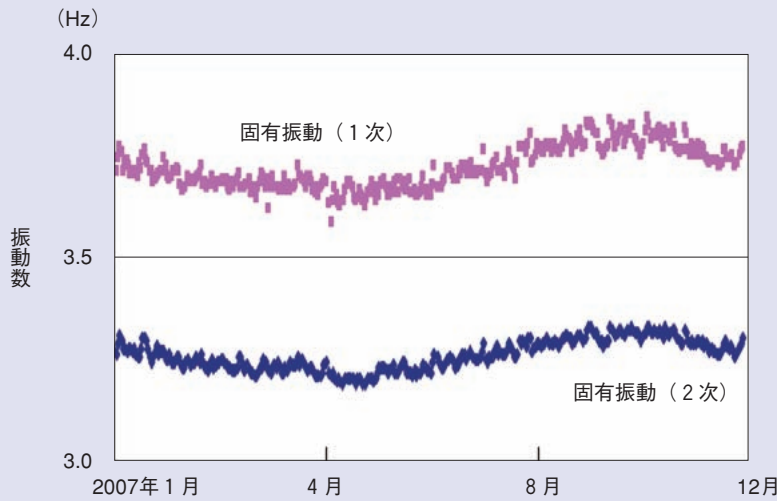


図5 橋桁の固有振動監視結果

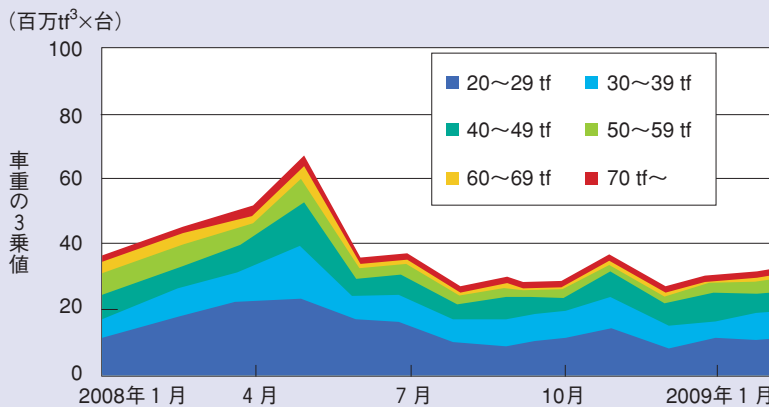


図6 重量車両の交通量監視結果

めの共同体と考えれば、BRIMOSによって情報センタを共同利用することで、平常時の維持管理コストを低減できます。さらに、地震発生時には各組織の被害情報を連携することで、円滑な避難および救助活動の実現が可能になります。

最後に、本システムの開発には計測フィールドおよび各種ノウハウの提供など首都高速道路株式会社様の多大なご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

■参考文献

- (1) 石川・竹本・宮崎：“リアルタイム橋梁遠隔監視システムの開発,” NTT技術ジャーナル, Vol.18, No.9, pp.21-26, 2006.
- (2) 科学技術振興機構：“道路橋の損傷を瞬時に計測するシステムの開発に成功,” 科学技術振興機構報, 第623号, 2009.

で選択可能とし、サービスメニューに組み込んでいます。また、もう1つの重要な選択項目としては情報を収集するネットワークの信頼性が挙げられます。1年以上にわたる実証実験において、帯域保証されたVPN網と一般回線であるBフレッツ網の両方でデータ伝送の品質を検証し、道路管理者がコストと品質のニーズに応じた通信手段を選択できるようにしています。

これまでの防災情報システムは、各

管理者組織の要望に応じてシステムをつくり込む、いわゆるSI型のビジネスが主流でしたが、今後はシステム構築コストに対する強い低減要望やネットワーク環境の発展により共同利用型システムを活用したサービス形態に移行していくものと思われます。道路橋監視の分野においても、この点は同様であり、また、各道路管理者はサービスの競合組織ではなく、社会の道路ネットワーク全体を円滑に運営していくた



(左から) 石川 裕治/ 宮崎 早苗

橋梁は地震発生時にも平常時にも欠かせない重要な社会資本です。BRIMOSの全国普及により、定量的情報に基づく道路橋の安定した保全管理の早期実現が期待されます。

◆問い合わせ先

NTTデータ
 第一公共システム事業本部
 eコミュニティ開発事業部
 第三システム開発担当
 TEL 050-5546-8606
 FAX 03-3532-0911
 E-mail dr.bridge@am.nttdata.co.jp