

高密度モニタリングによる社会基盤施設の 極限性能評価法

Evaluation of ultimate performance of civil
infrastructure using dense monitoring

藤野 陽三 (FUJINO YOZO)

東京大学・大学院工学系研究科・教授



研究の概要

本研究は、社会基盤施設に関わる災害事故の未然防止、保全の効率化に向け、代表者が開発してきた振動モニタリング法を集大成し、理論を体系化するとともに、これまで対応が困難であった「想定外」事態の未然検出に対しても新たな発想から研究を進めることで、社会基盤施設の終局性能をモニタリングデータから推定する方法を開発する。それにより、飛躍的な安全性向上をもたらす汎用的なモニタリングシステムを提案することを目指す。

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学 構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：維持管理工学

1. 研究開始当初の背景

橋梁などの社会基盤施設を安全に維持管理するためには、莫大な量のそれらの状態を把握する必要があり、これまで行われてきた目視による点検だけでは不十分なことが、2007.8 ミネソタの橋梁の事故の例が示すように明らかになっている中で、センサーを用いた状態把握技術の確立が世界的に望まれている

2. 研究の目的

地震や風など自然外乱や交通荷重による振動、常時微動による、橋梁などの社会基盤施設の振動シグナルからの 1) 高密度、高精度計測法の技術、2) そのシグナル情報からの構造状態検出を容易かつ効率的に行う手法、3) その結果を社会基盤施設の維持管理、災害防止に利活用する方法について、様々な角度から探究し、センシングの社会基盤施設の分野に普及する基盤技術を構築する。

3. 研究の方法

具体的には、以下の5項目を重点的に実施することにした。

- 1) センシングシステムの開発
- 2) 密な測定データからの構造特性推定
- 3) 中小事象からの想定外事象の抽出と大事象への外挿法
- 4) 大規模計測データからのモデル構築と情報マネジメント
- 5) 汎用モニタリングシステム設計の方法論

4. これまでの成果

1) センシングシステムの開発については、ワイヤレスセンサーを主たる対象に、高密度データ通信技術の確立に向け、マルチホップ通信技術の向上を達成した。具体的には、新しく複数の通信チャンネルを利用することで混信を制御したマルチホップデータ転送を提案し、ホップ数やノード数の増加に関わらず、一定の速度でデータ転送が可能なシステムを構築した。世界的に見ても、また他分野を見てもユニークなアプローチで、ワイヤレスセンサネットワークに固有のスケラビリティの問題を解決したといえる。

2) 密な測定データからの構造特性推定については、高密度フィールド実測データの蓄積とその分析事例による、その成功事例を示すことが重要と考え、

- ・ 新幹線高架橋での列車走行時振動の計測
- ・ 首都高速高架橋 6 スパンの交通荷重下での振動計測
- ・ アメリカNJ州州間道路高架橋3スパンにおける交通荷重下での振動計測 (米, 欧, アジアの共同計測プロジェクトへの参加)
- ・ 岩手県所有鋼大型アーチ橋の耐震補強前後での交通荷重下での振動計測

などを行うとともに、汎用ソフトウェア ABAQUS と MATLAB を組み合わせることにより、走行列車・自動車による橋梁の動的応答を予測できる有限要素解析システムを構築し、フィールドデータの予測を行い、支承条件の選

扱が肝要であることを指摘し、支承センシングの重要性を指摘した。また、同じ諸元の橋梁でも応答レベルには有意な差（個体差）がありうることを明らかにした。また、

- ・ 既往の高密度地震観測システムによる横浜ベイブリッジ、特に 2011. 3. 11 東北太平洋地震を含む地震記録からの長大橋地震時挙動の理解

を実施し、設計では想定されていない振動モードが励起されていることを明らかにし、

3) 中小事象からの想定外事象の抽出と大事象への外挿法

についても考究した。なお、この成果は、同橋の耐震補強設計に生かされた。また、

- ・ 質量付加方式による橋梁の新しい状態把握方式の理論構築、室内テストベットを用いた実験的検証、千葉県小型橋梁を用いたフィールドでの実証

を行い、その有効性を実証的に明らかにした。

4) 大規模計測データからのモデル構築と情報マネジメント

については、output データのみからの構造システムのモデル化とシステム変状（損傷）の検出の研究を行い、最近では、感度分析と組み合わせたベイズ統計による、不確定性を考慮したモデル構築法の確立を提案している。

5) の「汎用モニタリングシステム設計の方法論」については、社会基盤施設の数の多さ、劣化速度の緩やかさ等を勘案した、高精度移動型の短期モニタリングと地震等の災害対応の長期監視型モニタリングの組み合わせ方式を提案している。

5. 今後の計画

ワイヤレスセンシングにおいては、計測と通信の分離による安定化の向上や GPS を使った同期精度の向上に努力し、局部応力を対象とした首都高速道路高架橋でのセンシング（平成 23 年 6 月予定）を再度実施し、その充実をはかる。そして、全体応力、局部応力の予測 FE 精緻解析モデルの完備化を実行する。また、2011. 3. 11 東北太平洋地震での長大橋のデータから想定外モードの検出など実記録からの分析を進める。センシングデータのマネジメントに関しては、データの不確定性を考慮した構造モデル構築を中心に研究を進め、実構造物からの挙動センシングデータの分析と精緻モデルによる予測値との乖離から終局性能の精度高い推定を可能にするという当初の目的を達成する

6. これまでの発表論文等（受賞等も含む）

Boller, C. Chang, F-C, Fujino, Y.: *Encyclopedia of Structural Health Monitoring*, Wiley, 1-2700 (2009)（機械、航空、船舶、鉄道、プラント、土木、建築などを対象に構造ヘルスマニタリングを体系的に述べた世

界初の百科事典 2700 ページを超える大著）

論文（すべて査読あり）

J-C Wyss, D. Su, Y. Fujino: Prediction of vehicle-induced local responses and application to a skewed girder bridge, *Engineering Structures*, 33, 1088-1097 (2011)

T. Nagayama, P. Moynzadeh, K. Mechitov, M. Ushita, N. Makihata, M. Ieiri, G. Agha, B. F. Spencer, Jr., Y. Fujino and J. Seo: Reliable multi-hop communication for structural health monitoring, *Smart Structures and Systems, An Int'l Journal*, 6, 481-504, (2010)

D. Su, Y. Fujino 他: Vibration of reinforced concrete viaducts under high-speed train passage: measurement and prediction including train-viaduct interaction, *Structure & Infrastructure Engineering*, 6, 621-633 (2010)

Y. Fujino, D. M. Siringoringo, M. Abe, The needs for advanced sensor technologies in risk assessment of civil infrastructures, *Smart Structure and System*, 5, 173-191 (2009)

E. Monroig, K. Aihara, and Y. Fujino: Modeling dynamics from only output data, *The American Physical Society* (アメリカ物理学会), *Physical Review E* 79, 056208, 1-12 (2009)

長山智則, B.F. Spencer, Jr, 藤野陽三: スマートセンサを用いた多点構造振動計測のためのミドルウェア開発, 土木学会論文集 A, 65, 523-535 (2009)

D.M.Siringoringo, and Y. Fujino: System identification applied to long-span cable-supported bridges using seismic records, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 37, 361-386 (2008)

内外の学術誌、研究集会で数多く発表し、それに加えて、国際会議での基調講演、研究期間等からの招待講演を 20 回以上行ってきた。これらの活動に対し、2009 年度 土木学会田中賞（論文部門）、アメリカ土木学会 ASCE から応用力学の分野での業績を称える名誉のある 2011 R.H.Scanlan Medal が授与されている。

ホームページ等

<http://www.bridge.t.u-tokyo.ac.jp/>