

研究課題名：状態可視化点検および構造応答発電センシングによる診断技術の高度化

研究期間（元号）：平成 25 年・平成 26 年

代表者名：佐々木栄一（東京工業大学）

研究代表者名：佐々木栄一（東京工業大学）

共同研究者名：鈴木啓悟（福井大学）, 田村洋（東京工業大学）, 長船寿一（高速道路総合技術研究所）, 岩吹啓史（高速道路総合技術研究所）, 洞宏一（特許機器）, 片岡藤嗣（ITM）, 近藤泰光（福井県建設技術研究センター）

補助金交付総額（円）：44,720,000

研究・技術開発の目的：

本研究の目的は、構造物の実用的診断技術を構築することを目指し、目視による点検が困難な部位等の「①構造物の状態を可視化する点検技術（状態可視化点検技術）の開発」、および、点検間の状態を確認し将来の劣化予測を可能とするため、無電源環境でも構造物の状態監視を自律的に行う「②構造応答発電を利用したセンシング技術（構造応答発電センシング技術）の開発」を行うことにより、点検と監視の融合による統合的な診断技術の提案・高度化を図ることである。

「①状態可視化点検技術の開発」では、渦流探傷および超音波探傷を組み合わせた損傷可視化技術（構造物スキャナー）の高度化、人間が入り込めない部位やアクセスできない部位の観察・計測等の点検が可能なマイクロロボット（構造物内視鏡）の開発を行うとともに、これらを組み合わせたマイクロロボットによる点検（マイクロロボティック点検）の提案も行う。

「②構造応答発電センシング技術の開発」では、構造応答や環境を利用した発電機構を有するセンサおよび高効率発電装置、省電力データ転送および効果的データ分析の提案により、無電源環境下でも長期状態監視を実現する自己電源供給型の自律的センシング技術を提案する。

研究・技術開発の内容と成果：

本研究では、「①状態可視化点検技術の開発」および「②構造応答発電センシング技術の開発」を研究サブテーマとして研究開発を実施した。

「①状態可視化点検技術の開発」では、(1)構造物内部状態の可視化を高精度に行うため、これらの仕組みを発展させ、渦電流探傷システムと超音波探傷システムを組み合わせた点検方法の開発を行うとともに、(2)鋼部材、コンクリート部材いずれもリモート点検が可能な構造物内視鏡を提案する。そのうえで、これらを組み合わせた、(3)マイクロロボットによる点検（マイクロロボティック点検）の提案を検討した。その結果、渦流探傷プローブの等速移動データを用いた部材内部の残存鋼材の表面形状の可視化、フェイズドアレイ探触子および SH 波を利用した簡易な損傷検出方法を示した。また、鋼部材、コンクリート部材問わず様々な材料の構造部材を自走できるマイクロロボットを開発し、その改良を重ね、近接点検、点検位置同定、部材の動的挙動を把握できるセンサ等の多様な機能を具備した軽量(328g 程度)ロボットを実現し、マイクロロボティック点検手法を提示、その現場適用性を確認した。

「②構造応答発電センシング技術の開発」では、(1)ワイアレスパッシブセン

サリングの開発, および, (2)構造応答を利用した TMD 型発電・蓄電装置の開発を行い, これらを組み合わせて電源不要のシステムについて検討を行うこととした. 本研究では, より低周波数の領域に対応可能な発電センサリングおよび発電・蓄電装置の開発を行うとともに, 技術確立のため, 現場での長期適用を試み, 実用性の向上を目指した. その結果, 長期計測可能なパッシブワイアレスセンシングシステムを開発し, 実際の橋梁現場で適用性の確認を行うとともに計測データの蓄積を行った. また, センシングシステムの電源確保の目的で, 橋梁の振動エネルギーを効率的に電気エネルギーに変換する仕組みとして, 二質点系同調質点系発電装置を開発し, 適用橋梁と対象周波数に応じて適切にかつロバストなチューニングを行う方法を提案, 長期安定して 50%を超える発電効率を実現できることを現場実験により確認した. また, この発電装置により, 蓄電できることを示し, センシングで使用したエネルギーを次の測定までの間に補うなどの運用で長期センシングが自律的に可能であることを示した. さらに, 発電装置の設計法およびチューニング手法を応用して新しい振動制御デバイスへ拡張できる可能性を示唆した.

従って, 本研究は, 簡便な点検による状態可視化の方法と狭隘箇所などの近接目視, 詳細点検を実現する様々な材料の構造物表面を自走する小型軽量のマイクロロボットによる構造物点検を組み合わせ, より実用的な維持管理手法を提案し, 構造物の安全管理に資する技術を提案するとともに, 点検と点検の間の状況の変化を自律的に電源しつつ継続的にセンシングするシステムを, 発電センサおよび効率的な発電・蓄電デバイスにより実現を図ったものであり, それらの技術の現場適用性を実証したものである.

研究成果の刊行に関する一覧表: 刊行書籍又は雑誌名 (雑誌の時は, 雑誌名, 巻数, 論文名), 刊行年月日, 刊行書店名, 執筆者氏名

土木学会西部支部沖縄会第 4 回技術研究発表会, 可動式渦流探傷プローブによる腐食鋼板残存板厚分布の評価, 2014.10.30, 土木学会西部支部沖縄会, 田村洋, 富永理史, 佐々木栄一, 峰沢ジョージヴウルペ

IABSE, Development of Tuned Dual-Mass Electric Power Generator for Energy Harvesting of Bridge Vibration, 2015.5.13, IABSE, Koichi Takeya, Eiichi Sasaki

土木学会年次学術講演会, 表面 SH 波の適用に基づく鋼コンクリート埋込部の非破壊評価に関する基礎的検討, 2015.9, 土木学会, 乙部裕一, 鈴木啓悟, 佐々木栄一

土木学会年次学術講演会, 橋梁振動を対象とした二質点同調質量系発電デバイスの実橋梁への適用, 2015.9, 土木学会, 竹谷晃一, 佐々木栄一, 長船寿一, 岩吹啓史, 洞宏一, 名児耶武

研究成果による知的財産権の出願・取得状況: 申請検討中

成果の実用化の見通し: 本研究では, 構造物可視化のための点検技術とアクセス困難位置等の点検も可能とするロボティック点検, さらには, 自律的な電源確保を可能とした継続的なセンシング手法を提案しており, いずれも現場適用性を確認している. また, 現場道路管理者として福井県の方々とも議論しながら検討を進めたことから, 引き続き管理者へ成果を伝え, 適用拡大を図りたいと考えている. また, タイやベトナムをはじめとするアジア諸国でもこれらの技術への興味は強く海外展開も視野に進める予定である.



その他：振動発電装置の開発に伴って、これまで困難であった発電型の振動制御装置の設計法やチューニング方法が提示できたと考えられ、新しい構造物振動制御装置の開発へつながる成果を得たと考えられる。