

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 17 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2011～2014

課題番号：23246082

研究課題名(和文) 損傷による局所的減衰メカニズムの解明と減衰変化に基づく橋梁の健全度評価法の確立

研究課題名(英文) Mechanism of damage-induced local damping and structural health monitoring of bridges based on damping change

研究代表者

山口 宏樹 (YAMAGUCHI, Hiroki)

埼玉大学・埼玉大学・学長

研究者番号：50134474

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,500,000円

研究成果の概要(和文)：鋼部材、コンクリート部材、およびその接合部に想定される多様な損傷(亀裂、腐食、部分破断)とそれがもたらす局所的付加減衰を定量的に把握し、そのメカニズムを解明すると同時に、橋梁の全体系減衰変化同定に反映させた実測・解析ハイブリッド手法を展開して、供用時微動計測・減衰変化モニタリングに基づく鋼橋、RC橋、PC橋の構造健全度を評価する方法を提案した。その際、供用時微動計測をシステムとして効率化するとともに、FE model updating法の併用により全体系減衰変化同定を精緻化している。最後に、BMS予防保全の枠組みに本橋梁健全度評価法を組み込むことを検討した。

研究成果の概要(英文)：Damages (such as tension crack, corrosion and partial fracture) and damage-induced local damping increment in steel member, concrete member and steel-concrete interface are first experimentally studied to discuss the mechanism of local damping increased by local damages. The evaluation method of structural health condition for steel, RC and PC bridges is then proposed by developing a hybrid method of experimental and analytical modal syntheses based on ambient vibration measurement and global damping change monitoring. The method of ambient vibration measurement is carefully studied for optimizing it as a system and the identification of global damping change in bridges is refined with FE model updating method. How to implement the proposed method of bridge health evaluation to the Bridge Management System was finally discussed.

研究分野：土木工学、構造動力学、維持管理工学、橋梁工学

キーワード：構造工学・維持管理工学 土木材料 モニタリング 振動減衰 橋梁健全度評価 腐食 減衰解析 model updating

### 1. 研究開始当初の背景

2007年、米国ミネアポリス・ミシシッピ川橋の崩壊・落橋、木曾川橋、最上川橋、本荘大橋での斜材の破断や亀裂の発見が相次いだ。鋼トラス橋におけるこれらの事故で注目すべきは、目視を主とした定期点検だけでは橋全体の崩壊の危険や部材の亀裂・破断を感知できなかったことであり、したがって、信頼性が高く合理的な健全度モニタリング・評価手法を確立することが急務である。このような状況にあって、本研究グループでは、科学研究費補助金・基盤研究B(平成20～22年度)により、最上川橋での斜材亀裂修復前後の振動計測を行って、斜材の損傷が斜材連成モードの減衰変化から検知可能であることを示している。

供用時微動モニタリングに基づく橋梁の構造健全度評価を実用化するには、(a)効率的で高精度な計測システムを実現した上で、(b)計測データのみならず振動解析を併用して構造状態を精緻に同定し、その有用性を実証する必要がある。(a)、(b)ともに国内外での研究開発が精力的に進められ、トラス橋に限っても振動特性や構造同定・評価に関する国内外の研究(引用文献1～3)はあるが、部材レベルの損傷がもたらす振動特性変化のメカニズムを扱ったものは少なく、本研究の主題である、局所的損傷による橋梁全体としての減衰変化を健全度評価に適用する研究はほとんどない。それでも、損傷が橋梁の減衰変化をもたらすことの認識はなされており、亀裂や腐食などの損傷が局所的な減衰にどのように影響するかの研究は行われ始めている(引用文献4～5)。

本研究グループは、橋梁を主たる対象として実験モード解析・理論モード解析・モード同定や力学的挙動解析・設計関連研究を進め、多くの研究実績を積み重ねてきた。特に、構造健全度評価のための常時微動計測に基づくモード同定の精緻化研究を精力的に進めるとともに、上述した鋼トラス橋の事故以降に行った一連の研究により、多くの研究成果を得ている(引用文献6)。また、減衰特性変化から構造健全度を評価することの可能性や問題点を実証できたことは大きく、研究代表者が要因別に減衰エネルギーを積み上げるエネルギー的減衰評価法の検討を長年行ってきていることや減衰理論に精通していることと相俟って、本研究の着想に至った。  
【引用文献】

- 1) Chiewanichakorn M. et al.: Dynamic and fatigue response of a truss bridge with fiber reinforced polymer deck, *Int. J. of Fatigue*, Vol.29, pp.1475-1489, 2007.
- 2) Bai Y. et al.: Modal parameter identification for a GFRP pedestrian bridge, *Composite Structures*, Vol.82, pp.90-100, 2008.
- 3) 古川愛子, 大塚久哲, 梅林福太郎: 未知の加振力によるフーリエ振幅比を利用した

損傷同定手法の実橋梁による検証, 構造工学論文集, 土木学会, Vol.53A, pp.258-267, 2007.

- 4) Bovsunovsky A.P., et al.: Considerations regarding superharmonic vibrations of a cracked beam and the variation in damping caused by the presence of crack, *J. Sound & Vibration*, 288, pp865-886, 2005.
- 5) 伊藤知哉, 内藤英樹, 大竹雄介, 鈴木基行: 鋼とコンクリート境界部に生ずる鋼材腐食に関する基礎的研究, 土木学会第65回年次学術講演会概要集, C32-047, pp.93-94, 2010.
- 6) 吉岡勉, 伊藤信, 山口宏樹, 松本泰尚: 鋼トラス橋の斜材振動連成とモード減衰変化を利用した構造健全度評価, 土木学会論文集A, Vol.66, No.3, pp.516-534, 2010.

### 2. 研究の目的

鋼部材, コンクリート部材, およびその接合部に想定される多様な損傷(亀裂, 腐食, 部分破断)がもたらす局所的付加減衰を定量的に把握し, そのメカニズムを解明すると同時に, それを橋梁の全体系減衰変化同定に反映させた実測・解析ハイブリッド手法を展開して, 供用時微動計測・減衰変化モニタリングに基づく鋼橋, RC橋, PC橋の構造健全度を評価する方法を確立する。その際, 供用時微動計測をシステムとして効率化するとともに, 損傷要因別減衰パラメータを変数とした model updating 法の併用により全体系減衰変化同定を精緻化すること, および BMS 予防保全の枠組みに本橋梁健全度評価法を組み込むことを目指す。

### 3. 研究の方法

(1) 鋼材, コンクリート材, 鋼・コンクリート界面, PCはり, RCはり, 支承用高減衰ゴム等における亀裂, 腐食, 部分破断がもたらす局所的な付加減衰を, 試験体を用いた室内実験によって定量的に把握し, そのメカニズムを解明する。

(2) 様々な形式の鋼橋, RC橋, PC橋について供用時の減衰計測を行うとともに, 損傷による局所的付加減衰をも加味したエネルギー的減衰解析を行って, 減衰変化モニタリングによる健全度評価法の確立を図る。

(3) (2)での実橋振動減衰計測データを基に, 供用時微動計測をシステムとして効率化するとともに, model updating 法の併用により減衰メカニズムを考慮して, 構造物の減衰変化同定を精緻化する。

(4) (1)～(3)の研究成果を総合して減衰変化モニタリングに基づく橋梁健全度評価法を確立し, BMS (Bridge Management System) 予防保全の枠組みに, 減衰変化モニタリングに基づく橋梁健全度評価法を組み込む。

### 4. 研究成果

(1) 鋼材等における局所的減衰の把握と損傷がもたらす減衰付加メカニズムの解明

鋼材での亀裂がもたらす減衰付加解明を念頭に、アクリル試験体に脆性亀裂を生じさせた上で打撃試験を行い、曲げ振動減衰を計測して亀裂損傷による付加減衰メカニズムの検討を行った。

鋼・コンクリート界面での腐食が減衰に及ぼす影響を検討するため、鋼板をモルタルで挟んでボルトで結合した実験供試体を作成し、電食試験により導入した異なる腐食段階ごとに打撃試験を行って減衰を計測した。その結果、腐食の進行に伴い減衰が大きく増加する傾向が認められたが、有限要素解析結果から、境界部が腐食した際に摩擦減衰により大きな減衰付加が生じたと考えられた。また、鋼・コンクリート界面の支持力、摩擦力が減衰変化の原因と思われたため、健全時、腐食時の支圧試験を行い、腐食膨張圧と摩擦係数を求めている。

RC 部材の鉄筋腐食が部材の固有振動特性に与える影響を解明するために、腐食促進試験により鉄筋を腐食させた試験体について、腐食の段階ごとに曲げモードでの打撃試験を行った。図1に、曲げ1次モードにおいて曲率が最大となる中央部分100mmを局部腐食させた試験体に対する、腐食段階ごとの曲げ1次モードの固有振動数と減衰比の同定結果を示している。なお凡例には、積算電流量から算出した腐食量の推定値と、試験体で計測した内部ひずみを示しており、腐食の進行により腐食生成物による膨張圧により内部ひずみが増加したことが推察できる。図より、腐食の進行に伴い、固有振動数は低下し、減衰比は増加した傾向が認められる。この固有振動数の低下は腐食に伴う内部ひび割れの発生による剛性の低下、減衰の増加は内部ひび割れによる材料の内部摩擦の増大によるものと考えられる。また、腐食量 2169mg において振動数と減衰比の変化が、それまでの推移とは異なるのは、この時点で、腐食および内部ひび割れが振動特性に与える影響が変化した可能性が示唆される。一方で、特に腐食量 1445mg, 3468mg においては、同一の腐食段階での打撃試験の繰り返しにより固有振動特性が変化しており、その解釈に課題を残す結果でもあった。

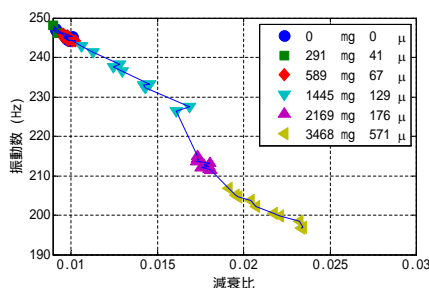
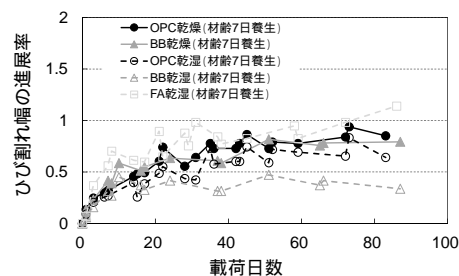


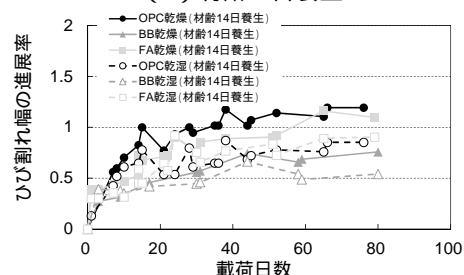
図1 腐食の進行による振動数と減衰比の推移

鉄筋コンクリートの腐食に直接関連する曲げひび割れ進展、中性化について、近年使用が増加している高炉セメント、フライア

ッシュセメントといった混合セメントも用い、養生日数、実環境での乾湿繰り返しの影響を加味しながら、検討を行った。異なる養生日数で、乾燥もしくは乾湿繰り返し環境のもと、持続荷重を与えた RC 部材の圧縮部コンクリートのひずみは、配合に関わらず養生日数が長いほど小さくなり、乾湿繰り返し環境では乾燥環境に比べ半分程度小さくなった。最大曲げひび割れ幅の実測値では、配合、養生日数、乾湿の影響は明確に表れなかったが、初期のひび割れ幅に対する曲げひび割れの進展率で比較すると、いずれの配合、養生条件でも、乾湿繰り返しを施した方が小さくなった(図2)。また、混合セメントを用いた鉄筋コンクリートに異なる養生日数を与え、中性化促進乾燥と湿潤の乾湿繰り返し環境における鉄筋コンクリートの中性化進行について検討した。その結果、高炉セメントを用いた場合は、養生日数が長くなるにつれて、中性化進行が抑制された。一方で、フライアッシュセメントを用いた場合は、養生日数が長くなると中性化速度が大きくなった。フライアッシュは初期の反応が遅く、養生期間が長いと徐々に反応が進行する。その際、フライアッシュのポゾラン反応により水酸化カルシウムが消費されるため、コンクリート内部の pH は減少し、養生日数が長いと初期 pH が小さく、CO<sub>2</sub> 濃度の高い促進環境では、中性化の進行が見かけ上早まる。一方で、ポゾラン反応の進行により空隙は緻密化するため、腐食に必要な水分、酸素の浸透は抑制されるため、中性化速度が早いことが腐食を早めるとは限らない。今後、使用材料、周辺環境に応じた曲げひび割れ進展、中性化進行に基づいた内部鉄筋腐食の評価を行い、腐食発生要因の違いによる減衰特性についても検討を行うことで、詳細な健全度評価につながる。



(a) 材齢7日養生



(b) 材齢14日養生

図2 各配合 RC 供試体の曲げひび割れ幅の進展率 (OPC: 普通ポルトランドセメント供試体, BB: 高炉セメントB種供試体, FA: フライアッシュを普通ポルトランドセメントに20%置換したセメント供試体)

高減衰ゴム支承を用いた橋梁では、構造減衰の大部分がゴム支承の振動に伴い発生するため、橋梁本体部分の損傷に伴う減衰を精度よく把握するためには、ゴム支承によって生じる減衰を振動計測結果から求め、構造全体の減衰より差し引く必要がある。また、近年の高減衰ゴム支承は粘性効果を更に上昇させたため、より速度依存性および温度依存性が大きくなる傾向にある。既往の研究では、Mullins 効果を除去するためにくり返し載荷を行い、一定の応力-ひずみ関係が得られる5,6サイクル以降の実験結果から等価減衰を算定していた(図3参照)が、繰り返し載荷時には自己発熱による影響から、実際より減衰を過小評価している可能性があった。

そこで、過去に行った雰囲気温度-20℃での正弦波加振実験結果を再吟味した結果、実験開始時点では内部温度も雰囲気温度と同じ-20℃であるが、6サイクル目には-5℃程度まで上昇し、雰囲気温度が異なる場合でも、内部温度が同じであれば、ほぼ同一の減衰を示すことを明らかにした。したがって、過去に雰囲気温度を基に検討していた温度依存性は内部温度を基に修正・再検討する必要があり、Mullins 効果による軟化と思われていた現象は、単に自己発熱による軟化現象が多分に含まれている可能性があると言える。

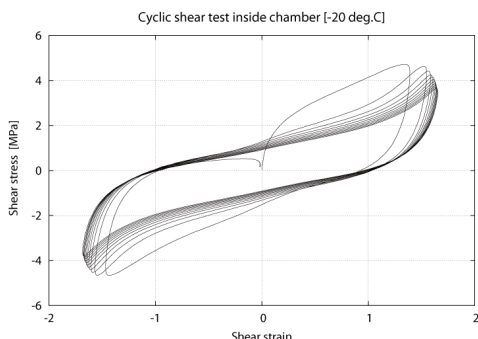


図3 繰り返し載荷時ゴム支承の応力-ひずみ関係

## (2) 橋梁の健全度評価のための減衰・健全度モニタリング法の確立

構造が比較的単純で減衰要因が限られていると推定でき、また道路橋として広く用いられている単径間 PC 橋を対象に、供用年数の異なる複数の橋梁において一般車両走行時に励起される振動を計測し、それらのデータからモード減衰特性を同定し、供用年数と減衰特性の関係について検討した。振動計測は、プレテンション T 桁橋が7橋、プレテンション中空床版橋が2橋で実施し、橋長は15.0m~20.8mの範囲にある。図4は、比較的安定して同定されたモード3(橋軸および橋軸直角方向の曲げ1次モードが連成したモード)の減衰定数と橋梁の竣工年の関係を示している。古い橋梁において、減衰定数が大きくなるものがあったことが分かる。減衰定数が大きくなった橋梁 I(old)と II(old)は、ほぼ同様の構造形式で、供用年数の異なる橋梁 I(new)と II(new)が並行して設置されており、橋梁 I, II のいずれにおいても、供用年数が

長い橋梁の減衰定数が顕著に大きい。これらの橋梁では、目視できる損傷や劣化は報告されておらず、当該橋梁における損傷や劣化の有無と減衰の関係を示しているとは必ずしも言えない。しかし、異なる橋梁で0.015~0.02と同程度の減衰定数が得られていることも合わせて考えると、今後も構造状態の評価における減衰利用の可能性を検討することに意義はあることを示唆する結果である。

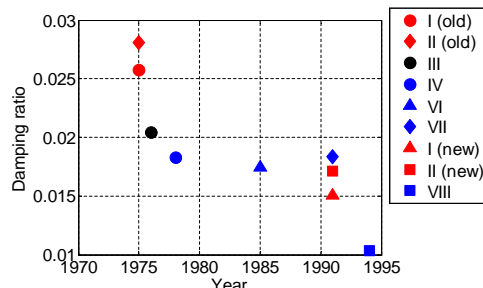


図4 モード減衰定数と竣工年の関係

鋼橋およびコンクリート橋の振動計測・解析研究の成果を用いて、最適な振動センサーの種類、数、配置など、橋梁の減衰モニタリングの効率化について検討した。

## (3) 供用時微動計測データからの橋梁の減衰同定精緻化検討

綱トラス橋、鋼ランガー橋を対象に、構造物の減衰エネルギーを要因別に積み上げ評価するエネルギー的減衰解析を行った。実験モード解析では、供用時振動の多点同期計測で得られた振動レベルの異なる自由振動に対して ERA 解析を行い、安定した同定を抽出する指標としての EMAC の有効性を示すとともに、理論モード解析では、実験モード同定結果を参照値として有限要素モデルの model updating を行い、高精度な理論解析モデルによる解析を行っている。減衰解析の結果、減衰解析を行う際に配慮すべき点が明らかになり、減衰に着目した実橋梁の損傷同定に向けて、エネルギー的減衰評価法の適用の可能性を示すことが出来た。

損傷時と補修後で振動計測が行われている綱トラス橋を対象に減衰解析を行い、損傷同定への適用性を検討し、損傷に起因する減衰変化の理論的評価を試みた。

構造健全度評価のための実測・解析ハイブリッド法の確立のため、送電線の風応答計測データの実験モード解析と model updating による理論モード解析との併用検討を進め、ハイブリッド法が現象の解明に有用であることを明らかにした。

橋梁健全度評価法への組込を前提に、綱トラス橋にベイズ確率手法による FE model updating を適用し、トラス橋における斜材の影響が大であること等、その有用性を示した。

## (4) BMS における、減衰変化モニタリング + 健全度評価法の確立

橋梁の維持管理上の重要課題の一つとして、PC 橋において、グラウトの未充填等が橋の劣化に大きな影響を及ぼすことが明らか

かにされている。一般に、グラウトが充填されていない場合、ダクト内あるいは PC 鋼材には外部から進入してきた塩化物イオン存在し、これが PC 鋼材の腐食に極めて大きな影響を及ぼすことが明らかにされている。ここでは、グラウトの充填不良に対して、ダクト内あるいは PC 鋼材に付着している塩化物イオンを除去することができる、イオン交換樹脂混入再注入用グラウトを開発し、再注入グラウトの塩化物イオン吸着性について実験的に明らかにした。実験は実 PC 橋梁のグラウト未充填状況を再現するために、鋼材の周りに塩化物イオンを付着させ、その周りにイオン交換樹脂混入グラウトを打設して、1, 4, 8 週目経過した後、グラウトに含まれる全塩化物イオン量を測定して、イオン交換樹脂による塩化物イオン吸着性能を明らかにした。図 5 は実験結果を示したもので、イオン交換樹脂混入量を増やすほど、また、グラウトの材齢が経つほど、塩化物イオンをより多く吸着することが明らかとなった。これにより、グラウト未充填の PC 橋梁の再注入用グラウトとして実用化できる可能性があることが明らかとなった。

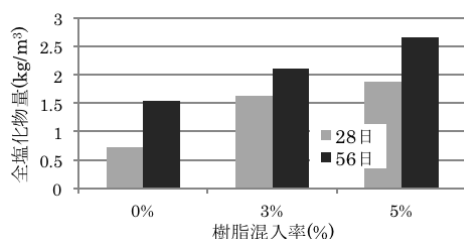


図 5 樹脂混入率と全塩化物物量

損傷要因別減衰パラメータを組み込むまでには至らなかったが、model updating を併用した、減衰変化モニタリングに基づく橋梁健全度評価法を提案できた。また、埼玉県の本MS 予防保全の枠組みに、提案した橋梁健全度評価法を組み込むことを検討した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 7 件)

Yamaguchi H., Matsumoto Y., Yoshioka T. (2015) Effects of local structural damage in a steel truss bridge on internal dynamic coupling and modal damping. *Smart Structures and Systems*, 15 (3), pp.523-541, 10.12989/sss.2015.15.3.523 (査読有り)。

Dammika A.J., Kawarai K., Yamaguchi H., Matsumoto Y., Yoshioka T. (2014) Analytical damping evaluation complementary to experimental structural health monitoring of bridges. *Journal of Bridge Engineering*, ASCE, 10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0000691 (査読有り)。

Asamoto S., Kato K., Maki T. (2014) Effect of creep induction at an early age on subsequent prestress loss and struc-

tural response of prestressed concrete beam. *Construction and Building Materials*, Vol.40, pp.158-164, 10.1016/j.conbuildmat.2014.07.028 (査読有り)。  
浅本晋吾, 横井太一, 平林雅也, 小林薫 (2014) 混合セメントを用いた RC 部材の持続荷重下の曲げひび割れ進展に対する養生日数、乾湿繰り返しの影響。コンクリート工学年次論文集, 36 (1), pp.712-716 (査読有り)。

Hung P.V., Yamaguchi H., Isozaki M., Gull J.H. (2014) Large amplitude vibrations of long-span transmission lines with bundled conductors in gusty wind. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 126, pp.48-59 (査読有り)。

河原井耕介, 山口宏樹, 松本泰尚, 吉岡 勉 (2011) 常時微動計測に基づく鋼橋の減衰同定とエネルギー的減衰評価法の適用。橋梁振動コロキウム 2011 論文集, 土木学会, pp.114-121 (査読有り)。

吉岡 勉, 山口宏樹, 松本泰尚, 高橋 眞 (2011) 打撃試験による局所モード振動数変化を利用した鋼部材の健全度評価。橋梁振動コロキウム 2011 論文集, 土木学会, pp.76-81 (査読有り)。

〔学会発表〕(計 15 件)

Mustafa S., Dammika A.J., Matsumoto Y., Yamaguchi H., Yoshioka T. (2015) A Bayesian probabilistic approach for finite element model updating utilizing vibration data measured in an existing steel truss bridge. Proc. of the 7th International Conference on Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure, July 1-3, 2015, Torino (Italy)。

田中俊成, Rehmat S., 松本泰尚, 山口宏樹 (2015) 実稼働モード解析による単径間 PC 橋の振動減衰特性同定, 土木学会第 70 回年次学術講演会, 2015 年 9 月 16-18 日, 岡山大学津島キャンパス(岡山県岡山市)。

Dammika A.J., Sheharyar R., Takanami R., Yamaguchi H., Matsumoto Y. (2014) An investigation on modal damping ratio as an indicator of invisible damage in PC bridges. Proc. of the 4th International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering, Nov. 16-19, 2014, REHGA Royal Hotel and Waseda University (Tokyo, Japan), pp.404-410。

Okui Y., Dung A.N., Imai T., Okada S. (2014) Self-heating of high damping rubber bearings and its effects on bridge seismic performance, Proc. of the 9th International Conference on Short

and Medium Span Bridges, July 15-18, 2014, Calgary (Canada).

真田修, 睦好宏史, Luan Yao (2014) イオン交換樹脂を混入したグラウトの塩化物拡散に関する研究, 第23回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム(プレストレストコンクリート工学会), 2014年10月23-24日, いわて県民情報交流センター, 盛岡市民文化ホール(岩手県盛岡市), pp.71-76.

Hung P.V., Yamaguchi H., Isozaki M. (2013) Identification of large amplitude gust responses of bundle-conductors with proper model. Proc. of the 13th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction, September 11-13, 2013, Hokkaido University (Sapporo, Japan).

Shahzad S., Yamaguchi H., Takanami R., Asamoto S. (2013) Detection of corrosion-induced damage in reinforced concrete beams based on structural damping identification. Proc. of the 13th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction, September 11-13, 2013, Hokkaido University (Sapporo, Japan).

Dammika A.J., Yamaguchi H., Kawarai K., Yoshioka T., Matsumoto Y. (2013) Energy-based damping estimation of steel bridges and its application to damage detection. Proc. of the 13th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction, September 11-13, 2013, Hokkaido University (Sapporo, Japan).

Nguyen D.A., Okui Y., Hasan Md S., Mitamura H., Imai T. (2013) Mechanical behavior of high damping rubber bearings at low temperatures. Proc. of International Symposium on New Technologies for Urban Safety of Mega Cities in Asia, October 8-11, 2013, Hilton Hanoi Hotel and National Univ. of Civil Engineering, Hanoi (Vietnam).

Matsumoto T., Okui Y., Nguyen D.A., Hasan Md S., Takahashi K., Mitamura H., Imai T. (2013) Low Temperature Behavior and Modeling of High Damping Rubber Bearings. Proc. of International Symposium on New Technologies for Urban Safety of Mega Cities in Asia, October 8-11, 2013, Hilton Hanoi Hotel and National Univ. of Civil Engineering, Hanoi (Vietnam).

真田修, 睦好宏史, Najmol H.M. (2013) イオン交換樹脂混入モルタルの塩化物拡散特性および鋼材腐食速度に与える影響, プレストレストコンクリート工学会第22

回シンポジウム論文集, 2013年10月24-25日, 静岡県コンベンションアーツセンター・グランシップ(静岡県静岡市), pp.229-234.

Yamaguchi H., Matsumoto Y., Kawarai K., Dammika A.J., Shahzad S., Takanami R. (2012) Damage detection based on modal damping change in bridges. Proc. of the 2nd International Conference on Sustainable Built Environment (招待講演), December 14-16, 2012, Kandy (Sri Lanka).

Matsumoto Y., Yamaguchi H., Yoshioka T. (2012) Relation between changes in the modal properties and structural changes in an existing steel truss bridge (招待講演). Proc. of International Symposium on Advances in Civil and Environmental Engineering Practices for Sustainable Development (ACEPS-2012), March 19, 2012, University of Ruhuna, Galle (Sri Lanka), pp.31-38.

Gull J.H., Yamaguchi H., Kumagai K., Hung P.V., Isozaki M. (2011) Interpretation of field-measured vibrations in transmission lines by gust response analysis. Proc. of the 9th International Symposium on Cable Dynamics, Oct. 18-20, 2011, Shanghai (China), pp.281-286.

佐藤達也, 河原井耕介, 山口宏樹, 松本泰尚, 高橋真, 吉岡勉 (2011) 鋼ランガー橋における振動計測を利用した損傷同定の基礎的研究. 土木学会第66回年次学術講演会, 2011年9月7-9日, 愛媛大学(愛媛県松山市).

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山口 宏樹 (YAMAGUCHI, Hiroki)

埼玉大学・学長

研究者番号: 5 0 1 3 4 4 7 4

### (2) 研究分担者

松本 泰尚 (MATSUMOTO, Yasunao)

埼玉大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号: 9 0 3 2 2 0 2 3

奥井 義昭 (OKUI, Yoshiaki)

埼玉大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号: 4 0 2 1 4 0 5 1

浅本 晋吾 (ASAMOTO, Shingo)

埼玉大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号: 5 0 4 3 6 3 3 3

睦好 宏史 (MUTSUYOSHI, Hiroshi)

埼玉大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号: 6 0 1 3 4 3 3 4