

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 26 日現在

機関番号：34416

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2017

課題番号：25289141

研究課題名(和文)実老朽化橋梁を用いたクラウドBMSの開発に関する総合的研究

研究課題名(英文)Development of Cloud BMS Using Real Deteriorated Bridge

研究代表者

古田 均 (Furuta, Hitoshi)

関西大学・総合情報学部・教授

研究者番号：70109031

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：本開発システムを用いることにより、クラウドコンピューティングを用い、維持管理データや技術者養成に関するデータを統合管理し、Webサービスとして提供することで、効率的な維持管理体制を整えることができる。さらに、本研究では、架け替えが決定した実老朽化橋梁を用いた実験を行うことで、データベースの統合管理の有用性を明らかにし、持続可能な維持管理における提案システムの有用性を示した。技術者養成のために、実用的な橋梁維持管理E-ラーニングシステムを開発した。このE-ラーニングシステムを利用することにより、若手技術者が時間・場所に関わらず、点検・補修を含めた維持管理技術の習得を容易に図ることが可能となった。

研究成果の概要(英文)：This project aims to achieve the sustainable management framework for the maintenance of infrastructures. Introducing the bridge management system developed here, it is possible to search an effective or optimal planning of bridge maintenance through WEB service based on cloud computing technologies. Then, by conducting the experiment of real deteriorated bridge, the system could be proven to provide useful information for the maintenance work. In order to contribute the training of inexperienced or young engineers an e-learning system has been developed, which is available to learn the the maintenance methods including inspection, repair and replacement and so on. By using the system it enables to obtain the sufficient skill and knowledge regardless of time and location constraints.

研究分野：維持管理工学

キーワード：維持管理工学 土木情報学 橋梁工学 データベース E-ラーニング 実橋実験 クラウドコンピューティング

### 1. 研究開始当初の背景

高度成長期に集中して建設された社会基盤施設の維持管理は喫緊の課題である。特に、橋梁の損傷・落橋が生じると、その社会的・経済的影響は計り知れない。しかしながら、昨今の社会経済状況により、橋梁の老朽化が進んでいるにもかかわらず、熟練技術者の退職や人員削減によって優秀な維持管理技術者が不足しており、安全性を維持した維持管理を持続することが厳しい状況にある。この問題を解決する方法として、橋梁の管理情報の電子データ化や橋梁維持管理システムによる業務支援が行われている。ところが、既存システムでは、支援対象となる維持管理は多岐にわたり、業務毎にサブシステムが開発されているのが現状である。しかしながら、維持管理計画を策定するためには橋梁の状態や劣化予測、工事に伴う交通への影響など様々な要因を検討する必要があるため、各業務で用いられるデータは相互に利用されることが望ましい。さらに、システムの導入には多大な費用が必要であり、システムを用いた業務改善のためには技術者の養成が必要不可欠となる。したがって、持続可能な維持管理実現のために、利用方法、および利点を明確にした橋梁維持管理システムの開発が必要である。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、橋梁維持管理統合システムの開発による持続可能な維持管理の実現である。近年、わが国の道路橋の老朽化が進み、維持管理の必要が高まる中、多くの地方自治体では、熟練技術者の不足により、持続的な維持管理が困難な状況にある。このような問題を解決するために、クラウドコンピューティング技術を用いた意思決定支援を行うシステムの開発を試みる。本システムでは、維持管理支援システムや技術者養成に関するデータを統合管理し、Web サービスとして提供することで、容易にシステムを用いた維持

管理体制を整えることができる。さらに、本研究では、架け替えが決定した実老朽化橋梁を用いた実験を行うことで、システムやデータベースの統合管理の有用性を明らかにし、持続可能な維持管理における提案システムの意義を示す。

### 3. 研究の方法

クラウドコンピューティングを用いた橋梁維持管理システムを開発し、意思決定支援と持続的な利用に対する有用性を検証するために、実老朽化橋梁を用いた実験と結果をシステムに反映させた評価を行う。まず申請者らがこれまでに行ってきた業務毎のシステムの実用化に向けた研究、およびそれらを統合したシステムの開発を行う。その後、架け替えが決定している老朽化橋梁に対して実験を行い、実験データの解析を行うことで、実験結果を提案システムへ反映させる。これらにより、本システムの持続的な利用と業務毎のシステムを統合利用することの効果の評価し、提案システムの有用性を明らかにする。本研究で開発するシステムの概要と主な研究体制を図 1 に示す。提案システムでは、図 1 に示すように、クラウドコンピューティング技術を用いて、申請者らがこれまでに開発してきた橋梁維持管理に関するシステムを Web サービスとして提供する。システムを実用化するためには、開発や利用マニュアルの作成だけでなく、システムの有効な利用方法を示すことが必要となる。図 1 に示すシステムの統合例では、モニタリングや劣化予測は補修計画策定のための基盤となることから、これらのデータを統合して持続的に利用することで、データ解析による業務の精度向上や不確実な要因に対して頑健な計画策定が行えると考えられる。また、システムを利用した意思決定を行うための技術者養成も必要となる。これらの総合的な評価は、新たなデータの追加や更新を含めた持続的な利用に基づいて行われるべきである。したがっ

て、本研究では、実老朽化橋を用いた実験結果のシステムへの反映による有用性の検証を試みる。さらに、点検技術者養成のためのE-ラーニングシステムを開発し、実用的なデータベースの枠組みについても検討する。

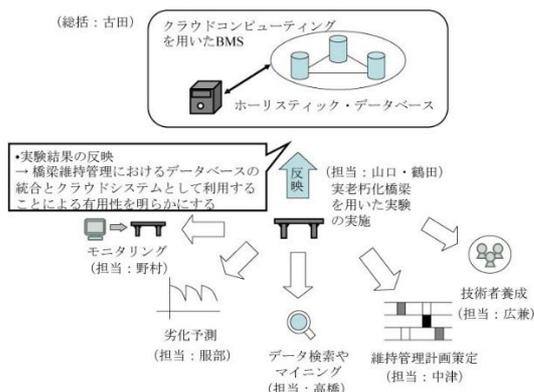


図1 システム概要

#### 4. 研究成果

(1) 本研究では、クラウドコンピューティング技術を用いた意思決定支援を行うシステムの開発を目的としている。まず橋梁の維持管理に関する現状を調査し、システムに必要とされる要求事項の把握を行い、同時に、橋梁維持管理技術者の実態を調査し、点検や計画策定などの業務の課題やすでに導入されている維持管理システムの利用状況の把握、技術者養成の現状の整理・分析を行った。また、専門技術者が実際に実施している点検・診断方法について調査し、経験的知識が必要となる日常点検に着目し、その診断プロセスをモデル化した。これらの検討の結果、本研究の目的である橋梁の維持管理を実現するためには、日々の目視点検(視覚情報)だけでなく、打音点検(聴覚情報)による診断・点検方法が重要であるとの結論を得た。

(2) 維持管理システムの有用性を高めるために、今まで取り組んできたサブシステム毎の調査研究と並行して、統合システムの開発のための基盤を整備した。そして、計画策定などのサブシステムにおいて、現実の業務に

おける有効な意思決定を念頭に置いた業務支援の提案、およびシステムの開発に取り組み、その成果の一部を発表した。さらに、クラウドコンピューティング技術を用いて開発する統合システムでは、このようなサブシステム間で利用されるデータの活用を考慮しながら、統合管理に適したシステムの構築を行った。

(3) モニタリング技術に関する研究においては、打音診断データを用いたパターン認識による高力ボルトの軸力診断システムの開発並びにフラクタル次元解析による振動応答の1次モード形状の不連続点の抽出結果に基づいて損傷検出を行う手法を開発した。また高力ボルトのゆるみを音声情報により判定するシステムの開発も行い、これらの手法の有用性について確認した。

(4) 架け替えが決定した実老朽化橋梁を用いて、鋼床版デッキプレートとUリブ溶接部およびUリブ上に設置されたガセットプレートのUリブ溶接部において疲労亀裂損傷が発生している橋梁を対象に、その疲労損傷メカニズムを解明するために、荷重車を用いた準静的実橋載荷試験を行うとともにFEM解析を行った。その結果、疲労亀裂の発生が危惧される高いひずみが発生することを確認した。また、FEM解析により、実橋載荷試験の結果を再現できることを確認した。さらに、構築したFEM解析モデルに模擬損傷を設け、その影響について検討するとともに効果的な補修・補強方法についても検討した。

(5) 損傷データ獲得の効率化を図るために、ドローンを用いた橋梁損傷画像の獲得システムに関する研究を行った。その際の画像のスクリーニング法の検討を行い、現在注目を浴びているディープラーニングを用いた損傷度評価法について検討した( )。

(6) インフラ維持管理E-ラーニングシステム(合計364頁の学習コンテンツを学習することができる)を完成させた。阪神高速道路や阪神高速道路技術センターの技術者17名にこのプロトタイプシステムで実際に学習してもらい、SNS機能を実装したE-ラーニングシステムの有効性を確認すると同時に、アイトラッキング装置を用いたコンテンツ評価仕組みの有効性を検証した( )。

#### <引用文献>

古田均,萩野正樹,石橋健,藤川浩史,岡島幹,阿部大輔,ドローンを用いた維持管理関連データの獲得について,安全工学シンポジウム 2016.

エイダルキレム,広兼道幸,インフラ維持管理 E-ラーニングシステム (VR),日本バーチャリアリティ学会大会論文集,2017.

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計16件)

丹波寛夫,行藤晋也,山口隆司,杉浦邦征:接着剤と高力ボルトを併用した軸方向を受ける当て板補修に関する実験的研究,構造工学論文集,査読あり,Vol.61A,2015,pp.585-596.

黒野佳秀,小坂崇,山口隆司:片面に金属溶射を用いた高力ボルト摩擦接合継手のすべり係数とすべりメカニズムに関する実験的研究,構造工学論文集,査読あり,Vol.61A,2015,597-604.

橋本国太郎,穴太聖哉,杉浦邦征,山口隆司,三ツ木幸子,鈴木威,田畑晶子:機械式接合を用いた疲労き裂の簡易応急補修法の検証,鋼構造論文集,査読あり,Vol.22-85,2015,pp.59-70.

石橋健,古田均,野村泰稔,中津功一朗,高橋亨輔:セルオートマトン PSO を用いた多重モード解析による建造物の信頼性評価,材料,査読あり,Vol.64-3,2015,pp.190-195.

高橋和也,藤井久矢,古田均,堂垣正博:既設 RC 橋脚の地震リスクを勘案した維持管理戦略,材料,査読あり,Vol.63-2,2014,pp.110-116.

野口恭平,金城佑紀,姜詠,白土博通,八木知己,服部洋,田中雄三:海塩粒子の物理挙動と風況に基づく付着塩分量の評価,構造工学論文集,査読あり,Vol.60A,2014,pp.613-621.

岡野雅,服部洋,松山卓真,別所譲,白土博通,八木知己:振動応答による損傷判定と一般化に関する研究,構造工学論文集,査読あり,Vol.60A,2014,pp.522-530.

広兼道幸,大江真紀子,小西日出幸,鈴木直人:鋼橋の高力ボルト軸力診断へのカオス理論の適用に関する研究,土木学会論文集 F6,査読あり,Vol.69-2,2014,pp.63-68.

広兼道幸,中田弘一,小西日出幸,鈴木直人:パターン認識を用いた高力ボルトの軸力診断に関する研究,土木学会論文集 F6,査読あり,Vol.69-2,2014,pp.69-74.

鶴田浩章,島川和之,中嶋亮介,上田尚史:シラン系塗布後にけい酸塩系を塗布した表面含浸材の併用による劣化抑制効果への効果,コンクリート建造物の補修,補強,アップグレード論文報告集,査読あり,Vol.14,2014,pp.553-360.

古田均,中津功一朗,高橋亨輔,石橋健,香川圭明:地域レジリエンスを考慮した道路網の信頼性解析に基づく地震対策の評価,土木学会論文集 F6,査読あり,Vol.70-2,2014,pp.1\_73-1\_80.

古田均,野村泰稔,中津功一朗,香川圭明,石橋健,内田昌宏:橋梁群のアセットマネジメントにおける予定の変更を考慮した補修計画策定,土木学会論文集 A2,査読あり,Vol.70-2,2014,1\_959-1\_970.

広兼道幸,大江真紀子,小西日出幸,鈴木直人:鋼橋の高力ボルト軸力診断へのカオス理論の適用に関する研究,土木学会論文集 F6

(安全問題)特集号, 査読あり, Vol.69, 2013, pp.1-63, 1-68.

日下貴之, 野村泰稔, 日根野陽介: 非接触変位場計測によるコンクリート構造物のき裂検出システムの開発, 土木学会論文集 F6 (安全問題) 特集号, 査読あり, Vol.69, 2013, pp.1-75, 1-80.

野村泰稔, 森本大貴, 日下貴之, 古田均: カオス応答のリカレンスプロットに基づく構造物の損傷位置同定, 日本機械学会論文集(C編), 査読あり, Vol.79, 2013, pp.209, 221.

石橋健, 中津功一郎, 古田均, 野村泰稔, 高橋亨輔: GA を用いた大規模橋梁群の長期的な維持管理計画の最適化, 土木学会論文集 A2(応用力学), 査読あり, Vol.69, 2013, 1-731, 1-740.

[学会発表](計3件)

野村泰稔, 村尾彩希, 石橋健, 古田均, 深層生成モデルを利用した構造物のひび割れ検出システムの開発, 第30回記念信頼性シンポジウム講演論文集, 2017.

石橋健, 古田均, 野村泰稔, 高橋亨輔, 人工知能技術を用いた橋梁補修事例 DB システムの実用性向上に関する研究, 第30回信頼性シンポジウム, pp.139-143, 2017.

遠藤隆裕, 広兼道幸, 地震疑似体験シミュレータの開発と仮想空間内におけるオブジェクト配置機能の実装, 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2017.

[図書](計1件)

藤野陽三編, 古田均(分担執筆): エヌ・ティー・エス, 巨大構造物ヘルスマニタリング, 2015, pp.84-90.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

古田 均 (Furuta, Hitoshi)

関西大学・総合情報学部・教授

研究者番号: 70109031

### (2) 研究分担者

広兼 道幸 (Hirokane, Michiyuki)

関西大学・総合情報学部・教授

研究者番号: 70268332

鶴田 浩章 (Tsuruta, Hiroaki)

関西大学・環境都市工学部・教授

研究者番号: 90253484

八木 知己 (Yagi, Tomomi)

京都大学・大学院・工学研究科・教授

研究者番号: 30293905

山口 隆司 (Yamaguchi, Takashi)

大阪市立大学・大学院・工学研究科・教授

研究者番号: 50283643

野村 泰稔 (Nomura, Yasutoshi)

立命館大学・理工学部・任期制講師

研究者番号: 20372667

中津 功一郎 (Nakatsu, Koichiro)

大阪城南女子短期大学・現代生活学科・専任講師

研究者番号: 30454606

高橋 亨輔 (Takahashi, Kyosuke)

香川大学・工学部・助教

研究者番号: 60647262