

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：17301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26630214

研究課題名(和文) 光学的手法による仮設足場を設置しない低コストな海洋渡海橋の外観点検システムの開発

研究課題名(英文) Development of low-cost inspection system by the optical method of bridge over the sea

研究代表者

松田 浩 (MATSUDA, Hiroshi)

長崎大学・工学研究科・教授

研究者番号：20157324

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：3Dレーザーキャナやデジタル画像相関法などの光学的計測法を用いて、仮設足場を建設することができなく渡海橋や跨線橋や跨道橋を対象として、従来点検法に代わる新しい点検手法を提示するとともに、フイージビリティスタディにより有効性と有用性を検証した。具体的には、外観劣化情報取得のための3次元維持管理システムおよびデジタル画像解析による橋梁のたわみ計測法を開発した。

研究成果の概要(英文)：In the present study, using optical measurement methods, such as 3D laser scanner and digital image analysis, as the target of the bridge can not be inspected without a temporary scaffolding, it presented a new inspection method alternative to traditional inspection methods. And it has been verified the validity and usefulness by the feasibility study. Specifically, we have developed a deflection measurement method of a bridge according to the three-dimensional maintenance system and digital image analysis for outer appearance degradation information acquisition.

研究分野：土木工学

キーワード：仮設足場 橋梁点検 光学的計測法 渡海橋 跨道橋 跨線橋 デジタル画像解析

## 1. 研究開始当初の背景

高度経済成長期に建設された膨大な量のインフラの老朽化が急速に進行し、危険レベルに達している。インフラ老朽化災害を加速させる理由として、効果的・効率的検査法がない、維持管理技術者不足、各自治体の予算不足等が挙げられる。言うなれば、老朽化はメンテナンスの欠如により起因する人災であり、これまでの点検手法では対処できなくなり、維持管理手法の抜本的な見直しが必要である。

申請者は、建設現場でも適用可能なロバスト性の高い変形・ひずみ・応力の実用的計測装置を開発し、応力解放法を併用したPC桁の現有応力測定、3D計測とFE解析と常時微動振動計測による構造モニタリング法を開発し、実証実験の実施および維持管理への適用性について検討してきた。これらの研究成果は、IABMAS(2010、2012)において Special Session “Optical Monitoring Techniques for Bridge Maintenance and Safety” を企画実施した。さらに、写真測量や3Dレーザスキャナに加えて、無人飛行体(UAV)とギガピクセル画像撮影システム等の遠隔計測可能な最新計測手法を用いて、世界遺産候補“軍艦島”を対象とした点検法に関する研究を行ってきた。

本研究は、仮設足場を必要としない橋梁点検手法として、光学的手法に基づく計測法を一貫して用いることに特長がある。打音や目視ではなく、これまで開発してきた写真計測、レーザスキャナ、無人飛行体(UAV)、ギガピクセル撮影、画像処理技術などの先端計測技術を活用・発展させ、光学的手法を用いて画像解析を行うことにより、肉眼では見ることができない、あるいは人間の目を超えた情報を取得・分析することにより、これまでの橋梁構造物の性能評価にマッチングするような手法を提示することにアイデアの斬新性がある。

取得する膨大な量のデジタル画像情報は、データベースに容易に取り込むことができ、いわゆるビッグデータとしての利活用が可能となる。すなわち、データマイニングによる橋梁変状の検知、また、劣化診断システムを利用した劣化原因や損傷度および構造的な性能の評価を行うことができる。換言すれば、本研究はインフラ維持管理分野のICT化戦略というチャレンジング性を有している。

光学計測法の建設分野への適用性については申請者のグループが数年来にわたって積極的に取り組んでおり、このような研究開発は日本のみならず世界的にも先導的であり、前述したように IABMAS2010 で Special Session を企画した。また、既にこれまで開発してきた光計測についての知的所有権も取得しており独創的研究と考えている。一例として、デジタル画像相関法によるこれまでの研究成果を下記に示す。

静的変位計測：30m離れた位置から望遠レ

ンズを用いた CCD カメラにより、相関係数 0.999 で計測できる。実験室での変位計測結果は変位計とほぼ同じであった。

ひずみ計測：コンクリートのひずみを相関係数 0.99 で計測でき、主ひずみの高い位置にひび割れが発生することが確認できた。

さらに、最新光学技術は従来技術より安全で取得データの信頼性も高い。また、デジタル画像や 3D レーザなどの遠隔からの計測法は現状の目視点検を超える変状調査とモニタリングが期待できる。提案する光学的手法が確立すると、低コスト化による点検頻度増加、高信頼性・高精度化による目視点検のばらつき解消、測量機器と同等の汎用的・普遍的技量で計測可能なため、申請者等が養成してきた“道守”を活用して、地産池消によるインフラ点検が可能となる。さらに、光学的手法による取得データは、デジタルデータベースに容易に取り込むことができ、劣化診断システムを利用すれば、劣化原因や損傷度の評価も可能となり、地方のインフラ長寿命化に大きく貢献することが可能となる。

「国土の長期展望」(国土審議会 2011)によれば、2050年には現居住地域の6割以上で人口が半減し、そのうち人口ゼロ地域が2割を占める。需要より多く供給した図書館等の公共施設は再編・統廃合が進められている。一方、ネットワーク系インフラである道路や上下水道の場合は残存世帯や住民にとって、そして何より国土保全のためにも維持し続ける必要がある。わが国の古代日本中央政府も飛鳥時代から平安時代前期にかけて計画的に全国的な道路網を整備・建設してきた歴史があるのである。ローマ帝国と同じように！

## 2. 研究の目的

自治体の橋梁点検を実施していないのは、技術者不足と点検費用がないことがその理由である。離島・半島の渡海橋の点検には仮設足場費用が総点検費用の大部分を占め、足場なしでは目視点検情報の取得すら困難な場合もある。少子高齢、人口減少に伴う過疎化の進行、自治体の財政難など、今後益々社会インフラを維持管理する上で危機的な状況になることが予想される。本研究では、これまで開発・実用化されつつある写真計測、3Dレーザスキャナ、無人飛行体(UAV)、ギガピクセル撮影、画像処理技術などの光計測技術を活用・発展させ、仮設足場を全く必要としない極めて低コストな渡海橋点検システムの構築を目標としたものである。本システムが実用化するれば、目視点検のばらつき解消、低コスト化による点検頻度の増加、そして地産池消の点検手法によりインフラ長寿命化に寄与することができる。

本研究は、これまで実施してきた光学計測法の研究成果を基に、目視点検ですら容易でない海洋渡海橋を対象として、従来点検法に代わる光学的手法による新しい点検シス

テムを提示し、フィージビリティスタディにより有効性と有用性を検証するとともに、標準化とマニュアル化を目的としたものである。

### 3. 研究の方法

本研究では、これまで個々に開発してきた光計測手法を橋梁点検に特化した計測法へと発展させるとともに、フィールド実証実験を実施し、橋梁点検用光計測システムを構築する。具体的には、

デジタルカメラを用いたデジタル画像相関法による橋梁のたわみ計測法の開発、

3D レーザスキャナと無人飛行機（UAV）と全方位カメラによる橋梁外観点検システムの開発、

自動撮影雲台を使用したギガピクセル画像自動合成法の確立、

遠望撮影デジタル画像からの外観劣化情報の取得、

全空間パノラマ画像取得などの研究開発を実施するとともに、

光学的手法による橋梁点検法を開発し、その標準化とマニュアル化を目標とする。

### 4. 研究成果

(1) 外観劣化情報取得のための3次元維持管理システムの開発

#### 【計測概要】

UAVを用いた大規模橋梁の3D化、損傷の抽出し、さらに、手持ちカメラによる簡易3D計測法の開発に主眼を置き、中小橋梁を対象として、推奨カメラ、推奨解析ソフト、撮影位置等について検証しマニュアル化を図った。また、橋梁損傷図を作成し、点検調査への適用性を検証した。さらに、3Dレーザ計測機を用いた3D計測、解析モデル構築、構造解析、構造特性同定、実橋梁のたわみや振動と比較、橋梁安全性評価システムの開発を行った。

#### 【検証結果】

《推奨カメラ》画像からコンクリートのひび割れ損傷を把握するためには、ミラーレスカメラ以上の性能が適している。

《推奨解析ソフト》作業員レベル、解析の容易さ、価格を考慮すると、Photoscanを使用することが適している。

《撮影位置》放射状8方向撮影が最低限必要である。また、補間撮影、両岸からの撮影も加えると、より容易に3D化が可能である。3Dモデルよりオルソ画像を作成し、クラックインデックス[CI]により損傷の半自動抽出を行い、損傷区分判定が可能となる。

#### 《自動撮影雲台の製作》

自動撮影雲台による合成処理画像は、ギガピクセル画像であり、高解像度から低解像度画像の集合体にする事で通常のPCでもストレスなく拡大縮小の操作が可能である。より高精度の画像取得のために超望遠レンズを搭載する必要がある。様々な橋梁を想定し、

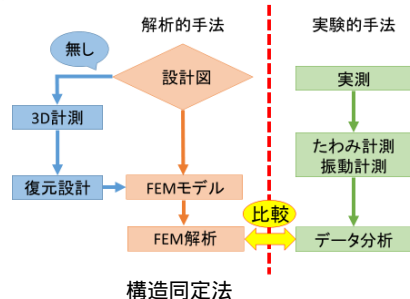
安定した撮影の可能な自動撮影雲台の開発を行った。



《3D計測・FEM解析と実振動計測による橋梁振動同定》

近接目視中心の定期点検では、材料劣化、外観変状が分かるのみである。老朽化橋梁の場合には、安全性の保証が問題となる。そのためには、3D計測、構造解析モデル、構造解析、構造特性同定、実橋梁のたわみや振動と比較、橋梁安全性評価システムの構築が必要である。

2径間単純ポステンT桁橋を対象として、3Dレーザスキャナを用い、3Dモデルを作成し、構造解析を実施し、その結果をLDVによる実計測データと比較し、簡便な方法で橋梁の安全性やリスクを評価できる手法を提示するとともに、その有用性について検討した。実橋梁の振動計測による固有振動数を計測するとともに、構造解析を実施した。解析モデルと計測結果がよく一致することを確認した。



構造同定法



3D計測データ

振動モード

	1 <sup>st</sup> mode	2 <sup>nd</sup> mode
A		
B		

(2) デジタル画像解析による橋梁のたわみ計測法および鋼部材き裂計測法の開発

#### 橋梁のたわみ計測法

##### 【計測原理】

計測方法は、まず、カメラ、蝶型マーカーなど設置・調整を行い、変位前後の画像を撮影し、画像解析により変位を算出する。

【実験概要・結果】

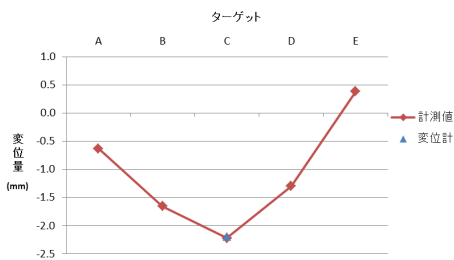
橋梁のたわみ計測法の適用範囲を拡大するために40m以上の長距離において変位計測を行った結果、精度を検討した結果、計測距離が長くなるほど計測値にばらつきは生じるものの、全体としては高い精度を示した。現場での実用性を検証するために、約9mの合成桁を用いた変位計測実験を行った。ターゲットを桁の5計測点に取り付け、載荷する。荷重毎に、それぞれのターゲットの写真を5枚撮影し、画像から変位量を算出して、変位計の値と比較した。最大ばらつきが0.52mm程度であった。

さらに、実橋梁においても計測実験を行った。橋長は約33mの2径間PC単純桁橋である。実験では1径間において計測を行った。地覆部に5計測点にターゲットを設置した。計測精度の検証のため変位計を設置した。カメラの設置、セッティング後に初期画像として各ターゲットの写真をそれぞれ5枚撮影した。その後、橋梁にラフタークレーン(26.74t)を載荷し、変位画像として全てのターゲットの写真を撮影した。無載荷状態と載荷状態の撮影を1回の計測とし、同じ計測を計3回行った。載荷前後の画像から変位量を求めた。画像と変位計の計測結果を比較すると計測結果の差の平均は0.004mm、最大差は0.099mmであった。今回の計測結果を踏まえると屋外計測であっても問題なく計測が行えることが確認された。



載荷試験

計測結果の変位量 (mm)



	A 0m	B 4m	C 8m	D 12m	E 16m
載荷前	0	0	0	0	0
載荷後	0.63	-1.43	-2.12	-1.50	0.26
変位計	—	—	2.21	—	—

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 14 件)

松田浩:長崎県のインフラ維持管理の現状

と長崎大学の道守講座, 橋梁と基礎, pp.41-45, 2016.1 [査読有]

A.DEMIZ, Y.ITO, H.MATSUDA, C.MORITA, S.P.Sumitomo:Development of defect detection method of steel structures by digital image correlation method using induction heating, pp.1-2, International Symposium Non Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE), 2015 [査読有]

C.Zhao, C.Bao, H.Matsuda, C.Morita : Experimental study on the damage and failure properties of brittle material with pre-existing double flaws under uniaxial compression, International Symposium NDT-CE2015, pp.1-4, 2015 [査読有]

松田浩:インフラの長寿命化は地産地消で! ~軍艦島の3Dプロジェクトで学んだこと~, Re, pp.48-51, 2016.1 [査読無]

岡本佳樹, 草野孝俊, 松田浩, 出水亨, 伊藤幸広:熱的負荷による鋼部材のき裂の欠陥検知法に関する研究, 鋼構造年次論文報告集, Vol.22, pp.284-291, 2014.11 [査読有]

草野孝俊, 緒方宇大, 松田浩, 森田千尋, 古賀掲維:薄肉円筒シェル部材の座屈挙動に関する実験・解析的研究, 鋼構造年次論文報告集, Vol.22, pp.95-101, 2014.11 [査読有]

長島和輝, 上阪康雄, 松田浩:道路橋床版の上面増厚補強における継手部の構造検討, 第八回道路橋床版シンポジウム論文集, pp61-62, 2014.10 [査読有]

出水亨, 松田浩, 伊藤幸広, 肥田研一:カメラ装置とコア応力解放法によるプレテンションPC桁の現有作用応力測定, 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 No.23 pp.123-128, 2014.10 [査読有]

博多屋智志, 前田玄輝, 松田浩, 出水亨, 趙程:一軸圧縮荷重を受ける複数の初期き裂を有する石膏板のひび割れ進展挙動に関する研究, 日本実験力学学会 2014 年次講演会, pp.31-36, 2014.8 [査読無]

岡本佳樹, 草野孝俊, 松田浩, 出水亨, 伊藤幸広:熱的負荷による鋼部材のき裂の欠陥検知法に関する研究, 日本実験力学学会 2014 年次講演会, pp.113-117, 2014.8 [査読無]

草野孝俊, 緒方宇大, 戸次翔, 松田浩, 森田千尋, 古賀 掲維, 趙程:薄肉円筒シェル部材の座屈挙動に関する実験・解析的研究, 日本実験力学学会 2014 年次講演会, pp.164-169, 2014.8 [査読無]

長島和輝, 松田浩, 森田千尋, 出水亨, 藤岡靖, 大石義成, 高橋洋一, 遠隔非接触振動計測装置を用いた鋼道路橋の振動特性に関する研究, 日本実験力学学会 2014 年次講演会, pp.333-338, 2014.8 [査読無]

蔵本駿介,長島和輝,中原勇気,西川貴文,出水亨:光学的手法によるコンクリート構造物のひび割れ幅および進展挙動の計測と可視化,日本実験力学会 2014 年次講演会, pp.344-348, 2014.8 [査読無]  
緒方宇大,草野吉俊,松田浩,森田千尋,出水亨,上阪康雄,稲田裕:無人飛行体(UAV)を用いた橋梁の目視点検手法の開発に関する研究,日本実験力学会 2014 年次講演会, pp.349-352, 2014.8 [査読無]

[学会発表](計 20 件)

松田浩:長崎県のインフラ維持管理の現状、長崎大学の取り組み、新技術導入の現状と課題など(招待講演),NIMS インフラ構造物材料クラスターセミナー, 2016.3.15  
松田浩:光学的手法を用いた軍艦島 3D 計測および橋梁点検法の技術紹介(招待講演),道守養成ユニット成果報告会, 2016.2.12  
松田浩:長崎県のインフラ維持管理の現状、長崎大学の取り組み、新技術導入の現状と課題など(招待講演),SIP 戦略的イノベーション創造プログラム, 2015.12.17  
岩城英朗,松田浩:簡易な振動計測による自治体管理橋梁の性能評価に向けた検討, 6-176, 2015.9.17  
長島和輝,松田浩:遠隔非接触振動計測の測定手法及び実橋への適用に関する検討,土木学会年次学術講演会, 1-003, 2015.9.16  
草野吉俊,松田浩:誘導加熱装置を用いたデジタル画像相関法による鋼材の亀裂検知に関する研究,土木学会年次学術講演会, 1-458, 2015.9.16  
小宮允人,松田浩:近接目視に相当するインフラ構造物の外観劣化情報の取得法の開発,土木学会年次学術講演会, 5-028, 2015.9.16  
博多屋智志,松田浩:一軸圧縮力を受ける欠陥を有する石膏板のひび割れ発生・進展に関する実験及び解析,土木学会年次学術講演会, 5-643, 2015.9.17  
博多屋智志,出水亨,松田浩,趙程:欠陥を有する圧縮石膏板のひび割れ発生・進展の可視化,土木学会第 69 回年次学術講演会, V-023, pp.45-46, 2014.9.12  
長島和輝,出水亨,松田浩,上阪康雄,合田裕一:超高性能繊維補強コンクリートの材料・構造特性に関する基礎的研究,土木学会第 69 回年次学術講演会, V-234, pp.467-468, 2014.9.12  
蔵本駿介,松田浩,出水亨,西村正三,松岡のどか:遠望計測によるひび割れ幅の算定に関する研究,土木学会第 69 回年次学術講演会, V-276, pp.551-552, 2014.9.12  
草野吉俊,松田浩,森田千尋,出水亨,上

阪康雄,稲田裕:無人飛行体(UAV)を用いた仮設足場を利用しない橋梁外観点検手法の開発,土木学会第 69 回年次学術講演会, VI-504, pp.1007-1008, 2014.9.12  
出水亨,松田浩,藤岡靖,大石義成:遠隔非接触振動計測装置を用いた RC 床版の劣化検知に関する研究,土木学会第 69 回年次学術講演会, I-026, 2014.9.11  
岡本佳樹,草野吉俊,出水亨,松田浩,伊藤幸広:熱源を用いた鋼部材のき裂欠陥検知法の開発に関する実験および解析的研究,土木学会第 69 回年次学術講演会, I-167, pp.333-334, 2014.9.11  
緒方宇大,松田浩,出水亨,古賀掲維,趙程,森田千尋:円筒シェル部材の座屈挙動に関する実験・解析的研究,土木学会第 69 回年次学術講演会, I-510, pp.1019-1020, 2014.9.11  
梅崎俊樹,森田千尋,松田浩,山口栄輝,武崎啓太:画像解析を用いた耐候性鋼橋梁の錆の外観評価について,土木学会第 69 回年次学術講演会, I-574, pp.1147-1148, 2014.9.11  
松田浩:歴史的・産業遺産構造物の 3D 計測とデータの利活用, Polymar in Concret 研修会, 2014.06.10  
博多屋智志,前田弦輝,松田浩:欠陥及び介在物を有する圧縮石膏板のひび割れ発生・進展の可視化,平成 25 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, I-016, pp.31-32, CD-ROM, 2014.3.7  
草野吉俊,森崎雅俊,出水亨,松田浩,伊藤幸広:デジタル画像相関法を用いた鋼部材の欠陥件検知法の開発に関する研究,平成 25 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, I-040, pp.79-80, CD-ROM, 2014.3.7  
長島和輝,峯松弘樹,熊本和展,出水亨,上阪康雄,松田浩:超高性能繊維補強コンクリートの配合設計と透気性・透水性に関する研究,平成 25 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, V-40, pp.715-716, CD-ROM, 2014.3.7

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.st.nagasaki-u.ac.jp/ken/matsuda/index-j.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

松田 浩 (MATSUDA, Hiroshi)  
長崎大学・工学研究科・教授  
研究者番号：20157324

### (2) 研究分担者

稲田 裕 (INADA, Hiroshi)  
清水建設株式会社・技術研究所・インフラ  
再生プロジェクト室・主任研究員  
研究者番号：00443747

出水 享 (DEMIZU, Akira)  
長崎大学・工学研究科・技術職員  
研究者番号：00533308

森田 千尋 (MORITA, Chihiro)  
長崎大学・工学研究科・准教授  
研究者番号：60230124

西川 貴文 (NISHIKAWA, Takafumi)  
長崎大学・工学研究科・助教  
研究者番号：50512076