

様式第 1 1 (細則第 9 条関係)

平成 28 年 5 月 31 日

国土交通大臣 殿

代表者 〒852-8521 長崎市文教町 1-14
長崎大学 教授
松田 浩 印

建設技術研究開発費補助金総合研究報告書

建設技術研究開発費補助金による補助事業が完了したので、建設技術研究開発費補助金交付要綱第 1 7 条第 3 項の規定により、下記のとおり報告します。

記

1. 研究課題名：光学的計測法を用いた効率的・低コストな新しい橋梁点検手法の開発
2. 研究代表者名：松田 浩（長崎大学・教授）
3. 交付総額 44,990 千円（研究期間：平成 26 年度～平成 27 年度）
4. 建設技術研究開発費補助金総合研究報告書概要版

研究課題名：光学的計測法を用いた効率的・低コストな新しい橋梁点検手法の開発

研究期間（元号）：平成 26 年度～平成 27 年度

代表者名：松田 浩（国立大学法人長崎大学大学院工学研究科）

研究代表者名：松田 浩（国立大学法人長崎大学大学院工学研究科）

共同研究者名：高橋和雄（国立大学法人長崎大学大学院工学研究科）、
森田千尋（国立大学法人長崎大学大学院工学研究科）、
森山雅雄（国立大学法人長崎大学大学院工学研究科）、
奥松俊博（国立大学法人長崎大学大学院工学研究科）、
西川貴文（国立大学法人長崎大学大学院工学研究科）、
出水 享（国立大学法人長崎大学大学院工学研究科）、
伊藤幸広（国立大学法人佐賀大学大学院工学系研究科）、
中川雅史（芝浦工業大学工学部土木工学科）、
原田耕司（西松建設株式会社技術研究所土木技術グループ）、
西村正三（株式会社計測リサーチコンサルタント
クリエイティブ事業部）

補助金交付総額（円）：44,990,000

研究・技術開発の目的：

(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

◆ 3次元外観劣化情報に基づく維持管理システムの開発

中小橋梁を対象として、3Dモデルを用いた橋梁調査実施に向けて、手持ち撮影による橋梁撮影法を開発するとともに、マニュアル化することを目的とする。また、橋梁のリスクや安全性を評価し、適切に維持管理するために、①3D計測、②解析モデル構築、③構造解析、④構造特性同定、⑤実橋梁のたわみや振動と比較、⑥橋梁安全性評価システムの開発を目的とする。

(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

たわみ計測システム、計測ターゲット、解析手法の開発ならびに屋内における計測精度の確認するとともに、①屋外計測による計測精度検証、②合成桁を用いたたわみ計測実験、③実橋によるフィールド試験を行いロバスト性の検証を行うことを目的とする。

◆ 鋼部材のき裂計測法

①各種試験体によるデータ蓄積、②実物サイズの試験体での計測、③小型で携帯・操作性に優れた安価な計測装置・治具と加熱装置の試作機を製作することを目的とする。

研究・技術開発の内容と成果：

(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レーザー計測機を用いた①3D計測、②解析モデル構築、③構造解析、④構造特性同定、⑤実橋梁のたわみや振動と比較、⑥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ことで通常の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、①3D計測、②構造解析モデル、③構造解析、④構造特性同定、⑤実橋梁のたわみや振動と比較、⑥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。

(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―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。

◆鋼部材のき裂計測法

【計測原理】

亀裂検査法は、誘導加熱装置により塗装上から亀裂を強制的に開閉させ、加熱前後の画像を用いてデジタル画像相関法 (DICM) により亀裂の開閉変位を可視化して亀裂を検出する技術である。

【実験概要・結果】

実構造物を想定した試験体を用いて誘導加熱法の亀裂検査を行った。試験体は SM400 で塗装を施して疲労試験機により亀裂を発生させた。試験体は無亀裂試験体 1 体と亀裂長が異なる試験体 4 体、計 5 体を製作した。疲労試験後に塗装の上から誘導加熱法で亀裂検査を行った後、塗装を剥がして磁粉探傷試験による亀裂の有無の確認、ルーペによる亀裂長さ・亀裂幅の計測を行った。

計測撮影距離は約 600mm での撮影解像度は約 0.02mm/pixel である。誘導加熱装置は市販の IH ヒーターを用いた。加熱位置は亀裂部横とし、加熱時間は 120 秒間とした。加熱前後の画像を撮影し、DICM による変位解析を行った。

磁粉探傷試験によって得られた磁粉模様、塗膜上から DICM によって得られた y 方向ひずみ分布図より、磁粉探傷試験で得られた欠陥模様とほぼ同様に DICM でも亀裂が確認できていることより、塗膜上からでも亀裂検査が可能なことが確認された。

【計測装置の改良】

実用化・商品化するために、小型で携帯・操作性に優れた安価な計測装置・治具と加熱装置を製作した。製作した装置は、カメラ、IH ヒーター、ライトを一体化させ、設置作業の効率化と軽量化を図った (105×75×90mm)。

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

刊行書籍又は雑誌名（雑誌のときは雑誌名、巻号数、論文名）	刊行年月日	刊行書店名	執筆者氏名
(1)Development of defect detection method of steel structures by digital image correlation method using induction heating, pp.1-2	2015.9.15-17	International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering(NDT-CE)	AkiraDEMIZU, YukihiroITO, Hiroshi MATSUDA, ChihirōMORITA, S.PaulSumiTorō
(2)Experimental study on the damage and failure properties of brittle material with pre-existing double flaws under uniaxial compression, pp.1-4	2015	the International Symposium NDT-CE2015	C.Zhao, C.Bao, H.Matsuda, C.Morita
(3) 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～, pp.48-51	2016	Re	松田浩
(4)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, pp.41-45	2016	橋梁と基礎	松田浩, 森田千尋, 中村聖三, 池田正樹

成果の実用化の見通し：

(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

カメラで撮影した画像による SfM 技術を用いた橋梁調査手法は、従来の点検手法と比較し、省力化・効率化が図れ、画像を点検結果の成果物とすることで、精度の向上、作業員技量によるばらつき低減など、多くの利点が存在する。中小橋梁においては、効率化・省力化が必要な部分であり、SfM 技術を用いた点検が最も効果を期待できる。今回のカメラやソフトの選定、撮影方法の検証により、特別なカメラの知識を必要とせずに、誰もが SfM に適した画像を撮影し、3D モデルによる橋梁維持管理も期待できる。

現時点では、スクリーニングを行うための支援技術であるが、今後は、ICT を全面活用した施工管理「i-Construction」の中で、既設構造物・現況地形などを 3D 化する重要な要素技術であり、橋梁の維持管理においても実用化が期待できる。

また、3D 計測データを用いた構造解析と実橋梁の振動・たわみ計測結果との比較は、老朽化橋梁の安全性の課題の解決策になると考える。3D 計測、解析モデル、構造解析、構造特性同定、解析結果を実橋梁のたわみや振動と比較、これらの要素技術は完成したので、これらの技術を用いて橋梁の安全性を総合的に判断できる“リスク評価に基づいたモニタリングシステム”を構築すべく研究開発を進めていく予定である。

(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に関しては、撮影距離 100m での計測できたこと、実橋梁において変位計と同等の精度で計測できたことから実用化できたものと考えられる。今後は、商品化を目指してマニュアル化等を行っていく。

鋼部材のき裂計測法に関しては、塗装を施した試験体において亀裂検査が可能なが確認できた。実橋梁部材においては亀裂が検出できない亀裂パターンが確認された。今後は、この原因を追究するとともに、他の亀裂パターンの部材を用いて亀裂検出の検証を行っていく。また、商品化を視野にいれて開発した装置の亀裂検証実験も行っていく予定である。