

高フレームレートカメラを用いた橋梁の多点変位・振動計測システムの開発に関する研究

長崎大学大学院 学生会員 ○宮濱 晃一
長崎大学大学院 正会員 松田 浩 正会員 出水 享 正会員 古賀 掲維
広島大学大学院 非会員 石井 抱 非会員 島崎 航平

1. はじめに

橋梁の近接目視点検でひび割れや浮き・剥落などを調査しても、外観変状が得られるのみで、安全性や落橋の危険性、補強や架替えの判断基準を評価することは困難である。武田ら¹⁾はたわみの影響線変化率を用いて橋梁の損傷箇所を検知可能であることを示している。

本研究で開発するタンデムマーカーベースドモーションキャプチャ法は、単一視野の高フレームレート画像中に記録された動的な微小変位分布情報に基づき、橋梁固有の動的特性による欠損箇所検出を行う画像検査技術である。市販の低コスト高フレームレートカメラをベースにした橋梁たわみ計測システムの技術開発を行い、数十 μm オーダーの計測精度と数十 m オーダーの計測範囲を両立した橋梁たわみ分布計測の実現を具体的な最終成果目標とする。また、開発システムの特徴であるカメラ・マーカー設置の容易さを効果的に生かす形で、交通規制を必要としない短時間点検が可能となる橋梁たわみ計測の実現化を目指すものである。

2. 計測システム

本計測システムは高フレームレート画像中に記録された動的な微小変位分布情報から変位を計測する技術であり、複数点のマーカーを同時に計測することで橋梁全体のたわみ分布を短時間で計測することが可能である。カメラ・マーカー設置の容易さを効果的に生かす形で、交通規制を必要としない短時間点検が特徴である。

使用機材については高フレームレート USB カメラ、ノート PC、望遠レンズ、コーナーキューブ、ハーフミラーを搭載した同軸照明を使用する。装置の写真および仕様をそれぞれ写真 1、表 1 に示す。コーナーキューブとは入射光を全反射させることができるプリズムで、撮影画像中の微小変位分布を明確に捉えるためにマーカーとして採用している。この時、コーナーキューブからの反射光を効率的に捉えるために、ハーフミラーを搭載した同軸照明を採用している。システムのイメージ図として図 1 に示す。橋軸方向に配置されたコーナーキューブと同軸方向に望遠カメラを向けて撮影することで複数点のコーナーキューブの動きを捉える。撮影された画像については写真 2 に示す。解析においては撮影された各点のコーナーキューブの反射光の中心を算出し、荷重前と荷重後の中心位置の移動距離を変位として本計測システムでは算出する。

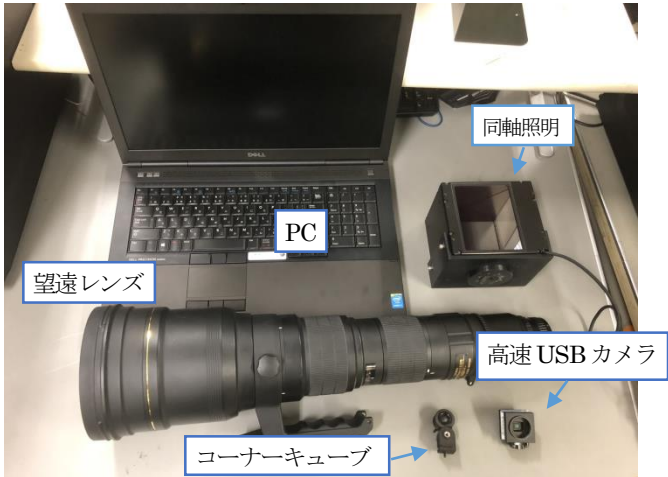


写真 1 使用機材
表 1 仕様

高フレームレートカメラ	型番: IMAGINGSOURCE 社 DMK 37BUX273 解像度: 1,440 × 1,080 (1.6 MP) フレームレート: 238fps シャッター: 1 μs ~30 s 質量: 70 グラム
望遠レンズ	APO 300-800mm F5.6 EX DG HSM
ノート PC	OS: windows 10 edition CPU: Intel®Core™i7-4810MQ CPU@2.80GHz HD:750GB メモリ容量: 32GB RAM
コーナーキューブ	材質: BK7 入射角度: $\pm 20^\circ$

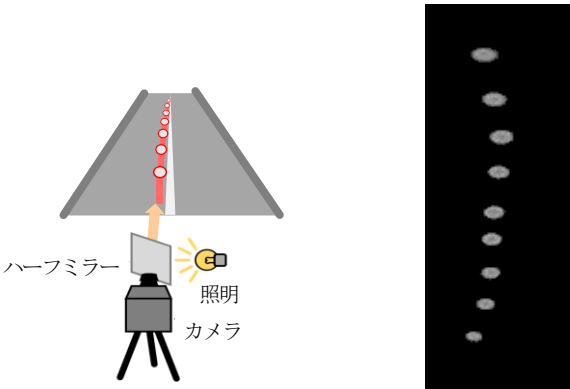


図 1 イメージ図
写真 2 撮影写真

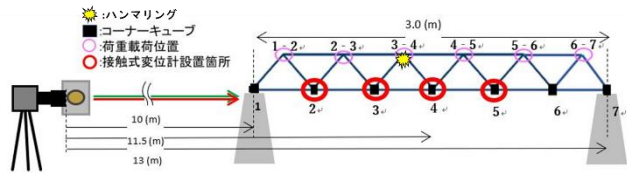


図 2 計測概要図

キーワード 変位計測, 高フレームレートカメラ, 固有振動数
連絡先 〒852-8521 長崎県長崎市文教町 1-14
長崎大学大学院工学研究科総合工学専攻構造工学コース TEL095-819-2590

本実験ではトラス型橋梁模型を対象に変位計測を行った。カメラから橋梁モデルまでの距離は10mであり、10m先で1ピクセルの移動において0.115mm 実際移動する。載荷する荷重は8kgで載荷点は図2の模型上部6ヵ所である。また本システムの精度比較のため、従来から使われている接触式変位計を用いて同時に計測を行った。接触式変位計の設置個所については節点2～5に設置した。(図2参照)

計測風景を写真3に示す。載荷点ごとの本計測法と接触式変位計の計測結果を比較したものを表2、図3に示す。接触式変位計と本計測法の差を求めたところ計測点によっては部分的に差が0.1mmを超える結果が見られたが全体で見ると差が0～0.08mmの範囲で抑えることが出来た。また、例として載荷点2-3に載荷した際の模型全体の変位のグラフを見ると、本計測システムと接触式変位計のグラフの形はよく一致していることがわかった。

以上のことから本計測システムは精度よく変位計測が行うことが出来たと考えられる。

4. 振動計測

本計測システムでは動的変位計測が可能であるため得られた動的変位をFFT処理することで固有振動数の算出が可能か検証を行った。トラス模型を対象にハンマリング試験を行い、振動計測を行った。ハンマリング点については図2に示す。計測条件については変位計測と同条件とし、サンプリング周波数は100Hz、計測時間は100秒で計測を行った。

計測の結果として、各計測点で応答変位を同時に計測することが出来た。一例として計測点2における変位応答スペクトルを図4に示す。得られた各点の10,000点の動的変位に対し、FFT処理を行ったところ、2～6点のどの点も約9.375Hzという結果が得られた。

以上より本システムによる振動計測の実現化は可能であることが確認できた。さらに性能の高い高フレームレートカメラを用いる事で精度の高い結果が得られると考える。今後は動的変位計測および振動数計測の精度検証を他計測機と比較検証を行っていく予定である。

5. まとめ

本研究で取り組んでいる高フレームレートカメラを用いた計測システムは多点を同時に精度よく変位計測を行うことが出来た。さらに、動的変位計測を行えることからFFT処理を行うことで固有振動数の算出も行いうことが出来た。

今後の予定として試験回数を重ねることで精度の高い結果を得ることを第一に、現場への実用化に向け、太陽光や街灯がなどある条件でも十分に高い精度が得られるか検証を行う。また計測距離においてもどの範囲まで計測が可能か検証し、最終的には実橋梁においても十分な精度の計測を行えることを目標としている。



写真3 計測風景

表2 変位計測結果 (mm)

載荷点	2			3		
	変位計	本計測法	差	変位計	本計測法	差
1-2	-0.26	-0.22	0.04	-0.37	-0.34	0.03
2-3	-0.44	-0.45	0.01	-0.59	-0.62	0.03
3-4	-0.74	-0.71	0.03	-1.02	-1.03	0.01
4-5	-0.9	-0.87	0.03	-1.45	-1.49	0.04
5-6	-0.91	-0.85	0.06	-1.57	-1.62	0.05
6-7	-0.39	-0.31	0.08	-0.68	-0.65	0.03
載荷点	4			5		
	変位計	本計測法	差	変位計	本計測法	差
1-2	-0.31	-0.31	0	-0.26	-0.21	0.05
2-3	-0.77	-0.77	0	-0.74	-0.7	0.04
3-4	-1.34	-1.16	0.18	-1.45	-1.32	0.13
4-5	-2.04	-1.93	0.11	-2.13	-1.98	0.15
5-6	-2.28	-2.26	0.02	-2.6	-2.41	0.19

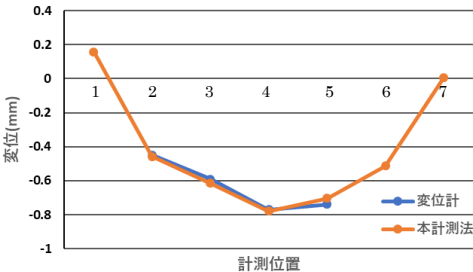


図3 本計測法と変位計の比較 (載荷点2-3)

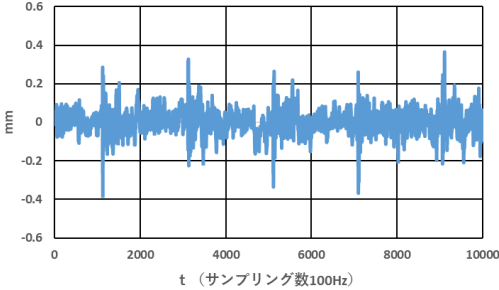


図4 変位応答スペクトル (計測点2)

参考文献

1) 武田, 中島ほか: たわみの影響線を利用した橋梁の劣化箇所同定の試み, 土木学会平成28年度全国大会第71年次学術講演会講演概要集, I-071, 2016.9