

高フレームレートカメラとコーナーキューブを用いた橋梁 の多点変位・振動計測システムの開発

宮濱晃一*・出水享*・古賀掲維**・市川辰旺***

石井抱****・島崎航平****・松田浩*

Study on multi-point displacement/vibration measuring system of bridge using high frame rate camera and corner cube

by

Koichi MIYAHAMA*, Akira DEMIZU*, Aoi KOGA** Tatsuaki ICHIKAWA***

Idaku ISHI****, Kohei SHIMASAKI**** and Hiroshi MATSUDA*

The purpose of this study is to develop a bridge deflection measurement system using a low cost high frame rate camera and a corner cube with retroreflectivity. The final goal is to achieve static and dynamic bridge deflection distribution measurement with high accuracy and wide range measurement. In addition, we aim to realize the flexure measurement of bridges that can be inspected for a short time without traffic regulation by effectively utilizing the ease of installing cameras and markers.

Key words : Displacement measurement, High frame rate camera, Natural frequency

1. はじめに

現在の橋梁の点検は近接目視点検で行われているが、近接目視では外観変状を得られるのみで安全性や落橋の危険性、架替えの判断基準を評価することが出来ない。そこで、内部の損傷箇所検知を目的にたわみ計測、振動計測を行う。例えば、武田ら¹⁾によるとたわみの影響線の変化率を用いることで損傷箇所を検知することが可能であることがわかっている。振動計測においては劣化による固有振動数の変化から損傷箇所の検知が可能であるため、この2つパラメータを容易かつ低コストで計測することが重要である。

従来であれば、接触式の計測機が一般であったが高所での作業では足場を必要とするため、時間とコストが問題となる。そこで近年では非接触型の計測としてカメラやレーザーを用いた計測法が増えてきたが、橋梁の一部分のみを対象としたものが多いため短時間で計測を行うには多くの計測機が必要となってくる。本研究で開発する橋梁の計測システムは、単一視野のカメラで複数点を同時に計測することを可能とし上記した計測法に比べ、短時間で低コストの計測を実現することを目標とする。

令和2年6月24日受理

* 長崎大学大学院工学研究科 (Nagasaki University, Graduate School of Engineering Master's Degree)

** 長崎大学 ICT 基盤センター (Center for Information and Communication Technology)

*** 長崎大学工学部 (Nagasaki University, Faculty of Engineering)

**** 広島大学大学院工学研究科 (Hiroshima University, Graduate School of Engineering Master's Degree)

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 Photo 1, Table 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 Fig. 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 Photo 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。

Table 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 フレームレート：238fps シャッター：1 μ s～30 s
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	入射角度：±20°

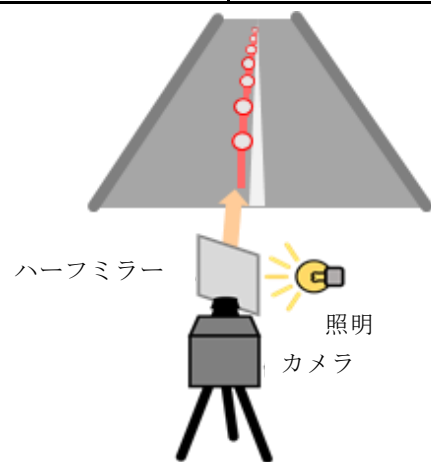


Fig. 1 イメージ図

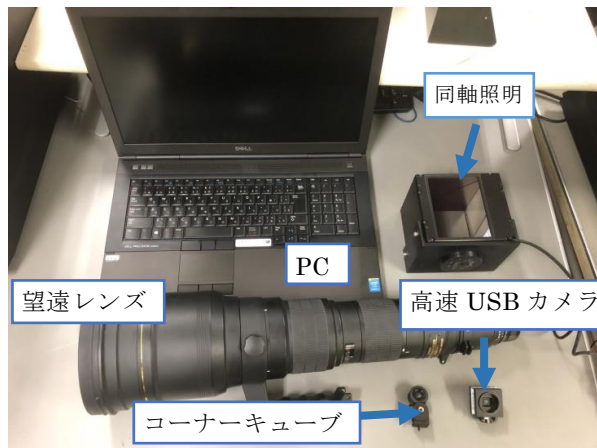


Photo 1 使用機材

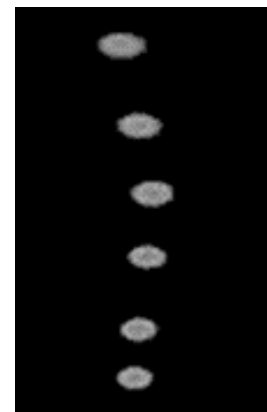


Photo 2 撮影写真

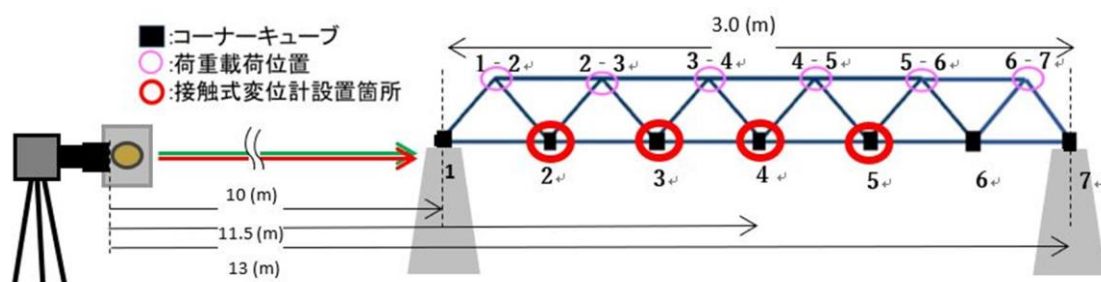


Fig. 2 計測概要図

3. 変位計測

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Fig. 2の模型上部6カ所である。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。(Fig. 2 参照)計測風景をPhoto 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Table 2, Fig. 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4-5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。



Photo 3 計測風景

Table 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
6-7	-0.98	-0.95	0.03	-1.23	-1.09	0.14

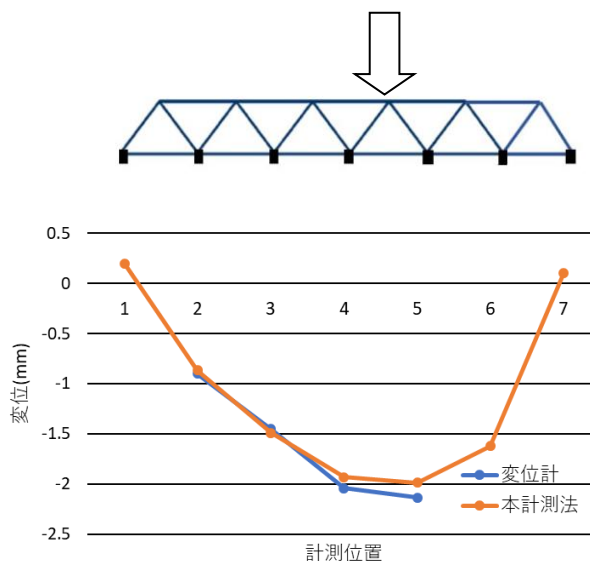


Fig. 3 本計測法と変位計の比較 (載荷点 4-5)

4. 振動計測

本計測システムでは動変位計測が可能であるため得られた動変位を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Fig. 4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Fig. 5に示す。そこから得られた各点の10,000点の動変位に対し、FFT処理を行い、応答周波数を求めた所、2~6点のどの点も約9.375Hzという結果が得られた。先ほどと同様に計測点2における応答周波数のグラフをFig. 6に示す。

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。さらに高性能の高フレームレートカメラを用いる事で精度の高い結果を得られると考える。今後は動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。

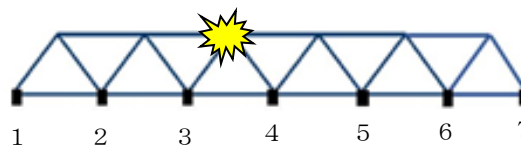


Fig. 4 ハンマリング点

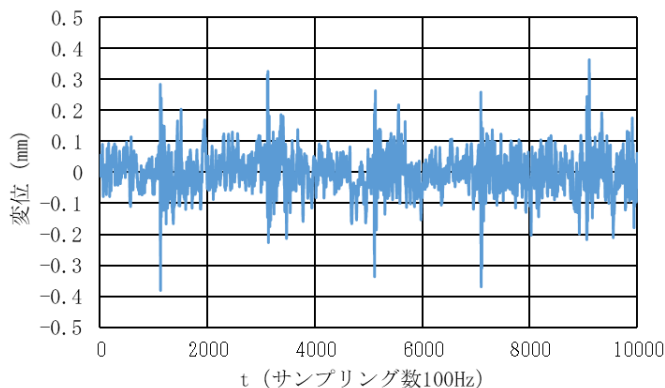


Fig. 5 応答変位スペクトル (計測点 2)

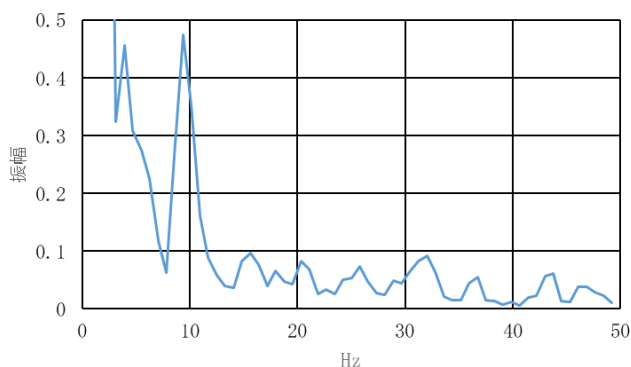


Fig. 6 応答周波数 (計測点 2)

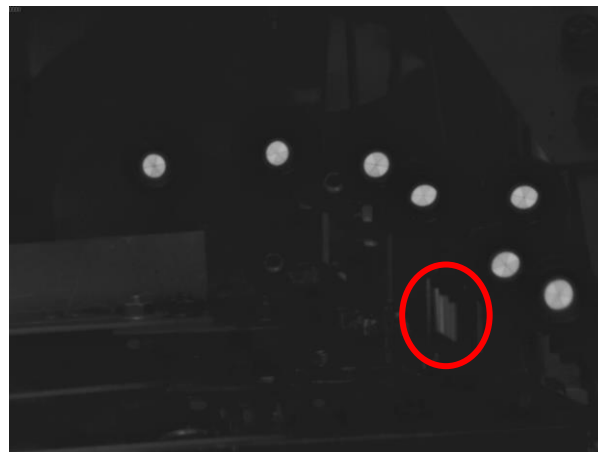


Photo 4 マーカー以外からの反射光を捉えた画像

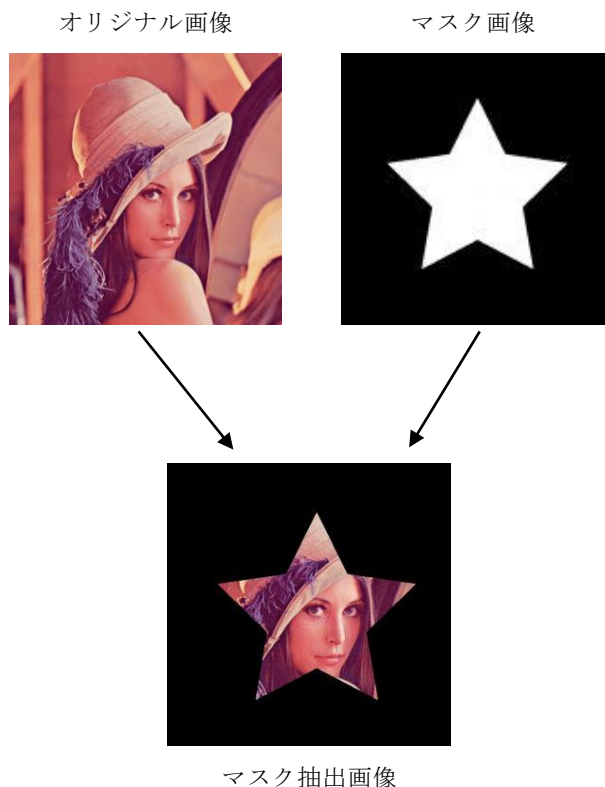


Fig. 7 マスク抽出処理

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、太陽光や街灯などがある条件下での計測の実現を目指す。太陽光がある条件下で計測を行ったところ、Photo. 4のようにマーカー以外からの反射光を解析上で捉えてしまい、結果に支障が生じた。そこで、この問題に対し、マスク抽出処理と呼ばれる画像処理技術を施すことを検討している。この処理は対象領域のみを抽出することで画像全体を計算する必要がなく、ある特定の領域だけを計算する際に便利である。Fig. 7の例の場合、星形の白い位置のみ輝度値を読み込むという処理を回すことでマスク領域を抽出し計算画素数を減らすことができる。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。

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
- 2) 石井 抱: 実時間モードパラメータ推定を用いたダイナミクスベースド画像検査法, 科学研究費助成事業研究成果報告書, 2016. 6