

OSHW で収録した動画の解析による地震応答モニタリング

○谷 明勲*1
山邊 友一郎*2

キーワード：OSHW Web カメラ 動画解析

1. 序

近年、OSHW(Open Source Hardware)や各種センサの低価格化により、ユーザのニーズに応じた種々の建築情報モニタリング¹⁾⁴⁾が可能となっている。さらに、Raspberry Pi⁵⁾のようなLinuxベースのOSHWでは、センサだけではなく、専用カメラやWebカメラを用いた静止画や動画の収録も可能となっている。動画や静止画には多くの情報が含まれ、その解析⁶⁾により多くの物理量を得ることができ、地震時の情報モニタリングに適していると考えられ、静止画を用いたモニタリングシステムの提案⁷⁾も行われている。一方、Raspberry Piの専用カメラは高性能⁸⁾ではあるが、カメラの接続ケーブルが短く、動画収集システムの設置方法の自由度が少ない。そのため、本研究では設置方法の自由度が比較的高いと考えられる一般的なWebカメラとRaspberry Pi 3を用いた動画収集システムを構築し、小型振動台実験における動画解析で得られる応答変位とレーザ変位計による応答変位の計測結果を比較し、その計測精度に関する基礎的な検討を行うことを目的とする。

2. 実験システムの概要

2-1 動画収集システムの概要

本システムでは、動画の収集にRaspberry Pi 3とWebカメラ⁹⁾を用いる。これらのシステムの概要を表1に示す。

表1 使用機器の概要

Raspberry Pi 3 ModelB		Webカメラ(CMS-V40BK)	
CPU	1.2GH ARMv8 Cortex-A53	センサ	500万画素CMOS
メモリ	1GB	インターフェース	USB2.0
コネクタ	USB2.0, micorSD,	解像度	最大2592×1944
	HDMI×1, 40pinGPIO他	レンズ	F1.8 f=3.8mm
無線LAN	IEEE802.11b/g/n	フレームレート	最大30fps
定格電源	DC5V	カメラサイズ	W61×D78×H98mm

図1に本システムのシステム構成を、図2にシステムの動作フローを示す。本システムは、Arduino Uno R3¹⁰⁾で加速度の検出を行い、加速度がトリガ値を超えると、ArduinoからRaspberry PiのGPIOピンの電圧レベルをHighに変更することで動画収集を行うシステムとした。これは、Raspberry PiのプログラムはPythonで作成したが、動画記録が始まると、記録終了まで加速度データの記録ができないため、加速度データの収集・保存はArduinoで行うこととした。なお、Raspberry Piでの動画収集と動画分析方法については後述する。

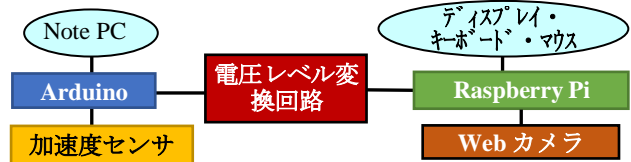


図1 システム構成

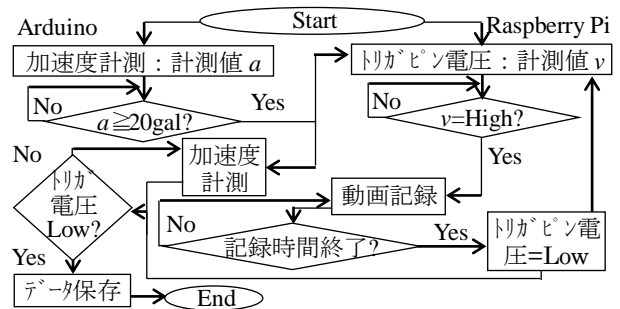


図2 システムフロー

2-2 供試体及び小型振動台実験の概要

図3、4に、供試体及び小型振動台実験の概要を示す。この実験では、3層天板上に設置したデジタル加速度センサ(MMA8451)¹¹⁾の計測値(分解能 14bit, サンプリング間隔 20 ms)をトリガとし、3層天板下面に固定したWebカメラで2層天板を撮影し、振動台実験時の3層層間相対変位を画像解析により算出する。なお、本実験では供試体の応答変位をレーザ変位計で計測し、動画解析結果との比較を行う。なお、レーザ変位計の計測は20ms間隔とし、動画収集システムの移動以前に開始し、動画計測終了後に終了させる。

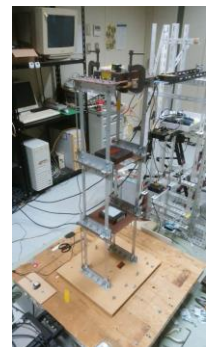


図3 振動台実験概要

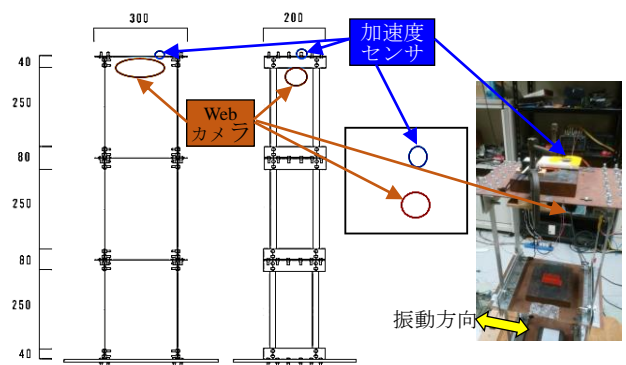


図4 供試体及び小型振動台実験の概要

2-3 動画収集及び分析方法

Raspberry Pi での動画収集にはフリーソフトの FFmpeg¹²⁾ を用いた。なお、動画は flv 形式で収集し、収集した動画を mpeg 形式変換して動画解析を行う。動画解析には DIPP-MotionV2D⁹⁾ の自動追尾機能を用いた。なお、自動追尾を行う点は、図 5 中に示す P1~P3 の 3 点を指定した。なお、動画解析の結果は、供試体上アンカープレート端部に設定した P1, P2 の解析結果の値と実際のアンカープレートの幅 121.20mm から変換比率を算定した。

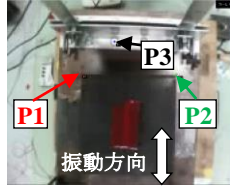


図 5 自動追尾点の設定

2-4 実験設定及び実験結果

Web カメラのフレームレートの最大が 30fps であるため、今回は、フレームレートを 25 fps(サンプリング間隔 40ms) とし、解像度を事前に実施した検討結果を参考に、640×480 と 1280×800 とした実験を行った。なお、実際の応答変位を算出する変換比率は、動画解析値 1 に対して 640×480 の場合 1.64mm、1280×800 の場合 0.226mm と設定した。

振動台への入力地震波は、El Centro NS (1940), Taft EW (1952), Hachinohe NS (1968), JMA Kobe NS (1995) の 4 波を用いた。図 6~9 に解像度 640×480 の場合の自動追尾点 P1 の、図 10~13 に解像度 1280×800 の場合の自動追尾点 P3 の動画解析結果とレーザ変位計の計測結果の比較を示す。なお、動画とレーザ変位計の計測結果は同期がとれていないため、図 6~13 では、加速度計測結果や計測結果の最大値の時刻を合わせる等の処理を行った結果を示している。また、表 2, 3 に解像度 640×480, 1280×800 の場合の応答の最大値、最小値とレーザ変位計の計測結果に対する計測誤差の一覧を示す。さらに、動画解析結果の FFT 解析を行い、固有周期の同定を行った。図 14 に、640×480, 1280×800 の場合の El Centro NS 波の自動追尾点 P1 の結果を用いたフリーエ振幅スペクトルを、表 4, 5 に 640×480, 1280×800 の場合に自動追尾点 P1 の結果を用いた 4 波の固有周期同定結果をそれぞれ示す。なお、表 5 では 1280×800 の Taft EW 波の場合に自動追尾による動画解析が行えなかったため、Taft EW 波の固有周期同定結果を示していない。

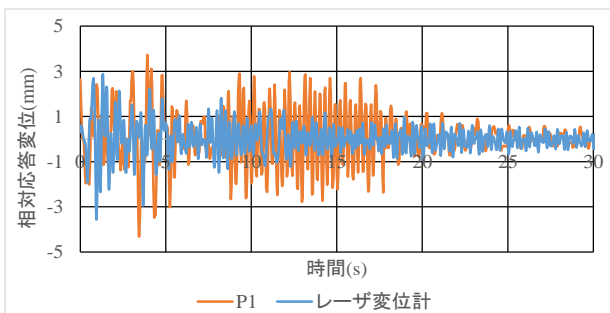


図 6 応答結果の比較(El Centro NS, 640×480, P1 点)

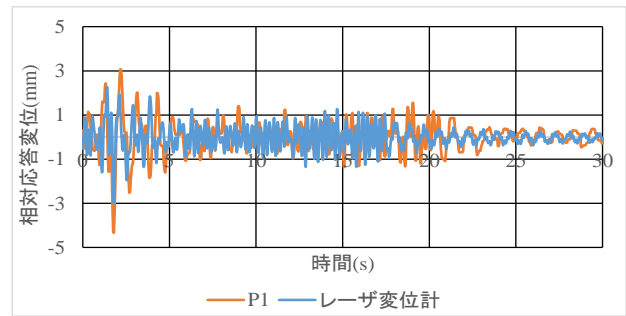


図 7 応答結果の比較(Hachinohe NS, 640×480, P1 点)

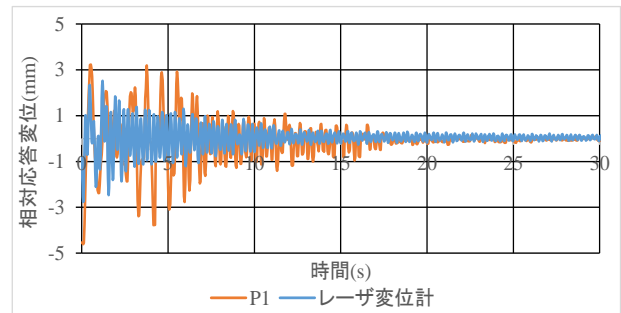


図 8 応答結果の比較(JMA Kobe NS, 640×480, P1 点)

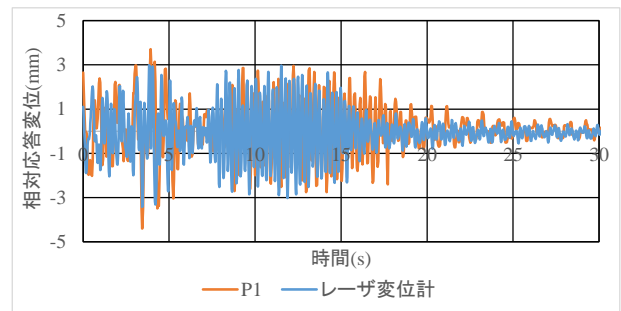


図 9 応答結果の比較(Taft EW, 640×480, P1 点)

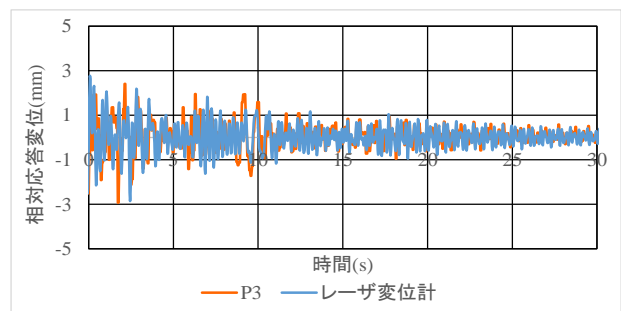


図 10 応答結果の比較(El Centro NS, 1280×800, P3 点)

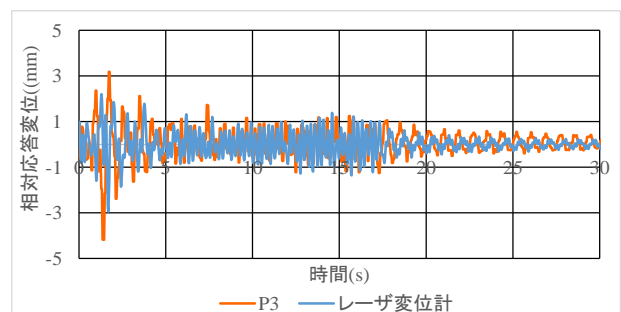


図 11 応答結果の比較(Hachinohe NS, 1280×800, P3 点)

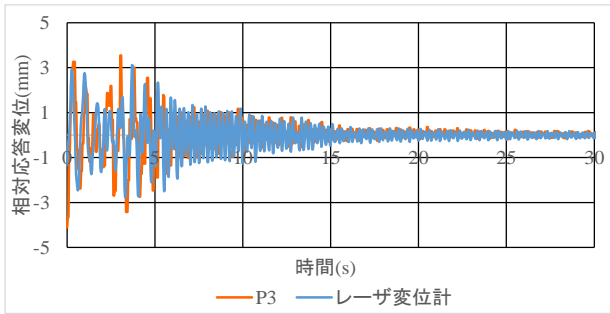


図 12 応答結果の比較(JMA Kobe NS, 1280×800, P3 点)

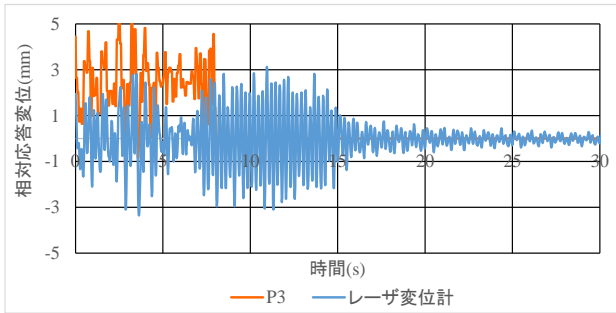


図 13 応答結果の比較(Taft EW, 1280×800, P3 点)

表 2 動画解析結果の最大値, 最小値と計測誤差一覧 (640×480 の場合)

640*480		相対応答変位(mm)			
		レーザ	P1	P2	P3
El Centro	Max	2.88	3.73	3.85	3.99
	誤差		29.6%	33.7%	38.5%
	Min	-3.56	-4.32	-4.68	-4.72
Hachinohe	Max	2.27	3.07	3.42	3.36
	誤差		35.4%	50.7%	48.3%
	Min	-2.99	-4.34	-4.51	-4.67
JMA Kobe	Max	3.23	3.23	3.83	3.73
	誤差		-0.25%	18.5%	15.4%
	Min	-2.79	-4.61	-4.64	-4.75
Taft	Max	2.98	3.70	3.85	3.95
	誤差		24.1%	28.9%	32.4%
	Min	-3.42	-4.40	-4.68	-4.73
	誤差		28.8%	37.1%	38.5%

表 3 動画解析結果の最大値, 最小値と計測誤差一覧 (640×480 の場合)

1280*800		相対応答変位(mm)			
		レーザ	P1	P2	P3
El Centro	Max	2.77	2.81	2.73	2.41
	誤差		1.65%	-1.52%	-13.0%
	Min	-3.45	-3.19	-4.74	-2.93
Hachinohe	Max	2.20	3.47	2.46	3.19
	誤差		57.5%	11.7%	44.7%
	Min	-2.94	-4.51	-15.07	-4.18
JMA Kobe	Max	3.12	3.74	11.13	3.54
	誤差		20.1%	257%	13.7%
	Min	-2.78	-4.59	-3.22	-4.10
	誤差		64.7%	15.8%	47.4%

表 4 供試体固有周期の同定結果(640×480 の場合)

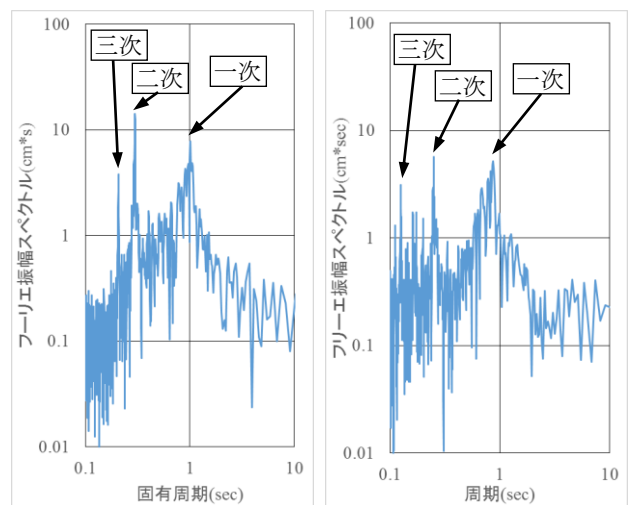
640 *480	El Centro	Hachi -nohe	JMA Kobe	Taft	レーザ変位計	加速度センサ
1st	1.01	1.01	0.836	1.01	0.854	0.851
2nd	0.297	0.296	0.299	0.298	0.248	0.248
3rd	0.207	0.207	0.207	0.207	0.172	0.172

注)レーザ変位計、加速センサは4つ地震波の平均値

表 5 供試体固有周期の同定結果(1280×800 の場合)

1280 *800	El Centro	Hachi -nohe	JMA Kobe	Taft	レーザ変位計	加速度センサ
1st	0.862	0.871	0.827	0.836	0.845	0.845
2nd	0.249	0.247	0.249	0.248	0.248	0.247
3rd	0.125	0.126	0.125	0.125	0.173	0.172

注)レーザ変位計、加速センサは4つ地震波の平均値



(a) 640×480, El Centro NS (a) 1280×800, El Centro NS

図 14 固有周期の同定結果(自動追尾点: P1)

3. 考察

まず、図 6~13 に示す動画解析結果とレーザ変位計による供試体 3 層の層間相対変位の時刻歴の比較を見ると、解像度が 640×480 の場合、動画解析結果とレーザ変位計の計測結果の振幅に大きな差が見られる。また、地震波によっても振幅の差に違いが見られる。一方、解像度が 1280×800 の場合には、その差は小さくなっていることがわかる。また、位相については、手動で重ねあわせを行っているため、動画解析結果とレーザ変位計の計測結果の位相に差が見られる場合もあるが、図からは概ね位相のズレは小さいと思われる。なお、解像度が 1280×800 の場合では、図 13 に示す Taft 波の場合、自動追尾による動画解析ができない場合が見られた。これは、他の自動追尾点 P1, P2 についても同様に、入力地震波によって動画解析ができない場合があるが、自動追尾が機能しない場合については、地震波や移動追尾点、解像度による一定の傾向は見られなかった。

次に、表 2, 3 に示す動画解析結果とレーザ変位計による計測結果の値とレーザ変位計の計測結果に対する計測

誤差を見ると、解像度が 640×480 の場合は、解像度が 1280×800 の場合に比べて誤差が大きくなっており、地震波によって計測誤差に違いが見られることが分かる。また、解像度が 1280×800 の場合では、先にも述べたように Hachinohe NS, JMA Kobe NS 波の場合に自動追尾点 P2 の動画解析が行えず、誤差の大きな結果となっている。このため、今回得られた動画解析結果については、基線補正や低周波数成分の除去等の処理方法を検討し、適切な補正方法を検討する必要があると考える。

次に、図 14, 表 4, 5 に示す動画解析結果を用いた供試体固有周期の同定結果を見ると、解像度が 640×480 の場合は JMA Kobe 波の場合を除いて、供試体の一次固有周期の同定が行えておらず、二次、三次固有周期の同定は全ての地震波で行えていない。一方、解像度が 1280×800 の場合には、レーザ変位計や加速度センサの計測結果を用いた同定結果と比較して、若干の差は見られるが一次、二次固有周期はほぼ同定できていることがわかる。なお、三次固有周期については、全ての地震波の場合で同定できていない。

この原因としては、レーザ変位計と加速度センサのサンプリング間隔が 20ms であるが、動画解析のサンプリング間隔が 40ms で、波形の変化を十分に捉えられていないことが考えられる。さらに、解像度が 640×480 の場合、解像度も低く波形の変化を捉えられないためと考える。また、サンプリング間隔が 40ms でも、解像度が 1280×800 の場合では、解像度が高くなったため、一次、二次固有周期が同定できたと考える。以上より、動画解析による固有周期の同定を行う場合には、今回の実験の範囲では 1280×800 以上の解像度の動画を用いる必要があると考える。

4. 結

本研究では、設置方法の自由度が比較的高いと考えられる一般的な Web カメラと OSHW である Raspberry Pi 3 を用いた動画収集システムを構築し、小型振動台実験における動画解析で得られる結果の計測精度に関する基礎的な検討を行った。今回は、解像度 640×480, 1280×800, フレームレート 25fps の場合に、4 種の地震動入力について小型振動台実験における 3 層供試体の 3 層層間相対変位の動画を収集し、動画解析ソフトの自動追尾機能を用いた解析を行った結果、以下の結論が得られた。

- 1) 動画解析結果より得られた最大、最小振幅は、レーザ変位計の計測結果に比べて誤差(表 2, 3 参照)が見られ、特に、解像度が 640×800 の場合に大きな差が見られる。また、解像度が 1280×800 の場合には、誤差が小さい場合もあるが、誤差が大きい場合もあり、動画解析結果のフィルタリング等による補正方法の検討が必要となる。

- 2) 動画解析結果と FFT 解析を用いた供試体の固有周期の同定(表 4, 5 参照)では、解像度が 640×480 の場合では、ほとんどの場合一次固有周期の同定が行えなかった。一方、解像度 1280×800 の場合では、一次、二次固有周期の同定が行えた。このため、今回の検討範囲では、固有周期の同定には少なくとも 1280×800 の解像度が必要であることが分かった。

今回の実験では、設置が容易な一般的な Web カメラを用いたが、カメラの設置方法や動画の分析方法をさらに検討する必要があると考える。また、一般的な Web カメラは性能に限界があるため、今後は、より高性能な Raspberry Pi の専用カメラ⁸⁾を用いた実験を行い、カメラの設置方法や動画解析の手法、計測制度の検討を行う予定である。

【謝辞】

本研究は、神戸大学工学部建築学科学部生(現 柵 Scube)・本郷清一君の卒業研究データを基に、解析結果の再検討と追加解析を行った。卒業研究を実施した本郷清一君に深く感謝します。また、動画解析ソフトを使用させて頂いた神戸大学特命助教・岸田明子先生に深く感謝致します。

【文献】

- 1) Liang, Q., Tani, A., Yamabe Y. : Fundamental Tests on a Structural Health Monitoring System for Building Structures Using a Single-board Microcontroller, Journal of Asian Architecture and Building Engineering, Vol.14, No.3, pp.663-670, 2015.9.
- 2) Urushihara, K., Tani, A. and Yamabe, Y.: Relationship between the Operation Mode of an Air Conditioner, Indoor Air Environment, and Electric Power Consumption using the OSHW, Proc. of the 16th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, USB-ROM, pp.1381-1388, 2016.7.
- 3) 山崎俊彦: IoTセンシングによる住宅の住み心地計測と可視化, 日本建築学会学術講演梗概集, 論文番号11038, pp.75-76, 2017.9.
- 4) 林慎也, 大西康伸, 仲間祐貴: BIMデータを活用したクラウドシステム上での環境センシングデータの可視化に関する研究, 日本建築学会学術講演梗概集, 論文番号11041, pp.81-82, 2017.9.
- 5) Raspberry Pi HP : <https://www.raspberrypi.org/>. (2017/10/6閲覧)
- 6) DIPP-Motion V/2D HP : http://www.ditect.co.jp/products/software/dipp_motion_v_2d.html. (2017/10/6閲覧)
- 7) 山田哲也, 平田裕一, 佐藤栄児, 土佐内優介: E-ディフェンスを用いた10階建て鉄筋コンクリート造建物の損傷評価システムの検証実験, 日本建築学会学術講演梗概集, 論文番号11012, pp.23-24, 2017.9.
- 8) 野村哲哉: キーデ・デバイス! 800万画素イメージセンサ実力テスト, CQ出版社, Interface 2016年9月号, pp.102-125, 2016.8.
- 9) CMS-V40BK HP : <https://www.sanwa.co.jp/product/syohin.asp?code=CMS-V40BK>. (2017/10/6閲覧)
- 10) Arduino HP : <https://www.arduino.cc/>. (2017/10/6閲覧)
- 11) https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/Freescale_MMA8451QR1.pdf. (2017/10/6閲覧)
- 12) FFmpeg HP : <https://www.ffmpeg.org/about.html>. (2017/10/6閲覧)

*1 神戸大学大学院工学研究科・教授・博士(工学)

*2 神戸大学大学院工学研究科・准教授・博士(工学)