

# オープンソースハードウェア及びオープンソースソフトウェアを用いた 動画解析による地震時応答モニタリング Earthquake Response Monitoring by Video Analysis Using Open Source Hardware and Open Source Software

○谷 明勲<sup>\*1</sup>, 川手 滉一郎<sup>\*2</sup>, 山邊 友一郎<sup>\*3</sup>  
Akinori Tani<sup>\*1</sup>, Koichiro Kawate<sup>\*2</sup> and Yuichiro Yamabe<sup>\*3</sup>

\*1 神戸大学大学院工学研究科建築学専攻 教授 博士(工学)

Professor, Graduate School of Engineering, Department of Architecture, Kobe University, Dr. Eng.

\*2 元神戸大学工学部建築学科学部生(現大成建設株) 学士(工学)

Former Undergraduate Student, Faculty of Engineering, Kobe University (Now Taisei Corporation), B. Eng.

\*3 神戸大学大学院工学研究科建築学専攻 准教授 博士(工学)

Associate Professor, Graduate School of Engineering, Department of Architecture, Kobe University, Dr. Eng.

キーワード：地震時応答モニタリング；オープンソースハードウェア；オープンソースソフトウェア；動画解析

Keywords: Earthquake response monitoring; Open Source Hardware; open source software; video analysis.

## 1. はじめに

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<sup>1)4)</sup>が可能となっている。さらに、Raspberry Pi<sup>5)</sup>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<sup>6)</sup>も行われている。筆者らも、高性能のRaspberry Pi専用カメラは設置等に制限があるため、Raspberry Pi<sup>7)8)</sup>と一般的なUSBカメラを用いて動画を撮影し、市販の動画解析ソフト<sup>9)</sup>を用いた地震時応答変位の推定精度の検証<sup>10)</sup>を行ったが、画素数やフレームレートの制約で精度良い推定はできなかった。このため、本研究では、設置への制約はあるが、小型振動台実験におけるRaspberry Piと専用カメラを用いた動画収集システムとOSSW(Open Source Software)のKinovea<sup>11)13)</sup>を用いた動画解析で得られた応答変位の推定結果とレーザ変位計による応答変位の計測結果を比較し、その応答変位推定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. 動画撮影システム

本研究では、仕様を表1に示すRaspberry Pi 3<sup>5)</sup>と専用カメラ<sup>7)8)</sup>を用いた動画収集システムを構築する。図1に本システムの構成を、図2に本システムの動作フローを示す。本システムは、既報<sup>10)</sup>と同様にArduino Uno R3<sup>14)</sup>で加速度計測を行い、加速度計測値の絶対値が設定したトリガ値を

超えると、ArduinoからRaspberry PiのGPIOピンの電圧レベルを変更して動画収集を開始する。これは、Pythonで作成したRaspberry Piの画像収録プログラムが、動画の記録を始めると記録終了まで加速度データの計測ができないため、加速度データの計測・保存はArduinoで行う。なお、Raspberry Piでの動画収集・動画解析方法は後述する。

表1 使用機器の概要<sup>5)7)8)</sup>

Raspberry Pi 3 Model B+		Raspberry Pi Camera V2	
CPU	1.4GHz Cortex-A53	センサ	808万画素CMOS
メモリ	1GB	インターフェース	15pin専用ケーブル
コネクタ	USB2.0x4, microSD,	解像度	最大3240x2464 15fps
	HDMIx1, 40pinGPIO他	フォーカス	約30cm~無限遠
無線LAN	IEEE802.11b/g/n	フレームレート	15, 30, 40, 60, 90fps
定格電源	DC5V	カメラサイズ	W23.6xD25xH9mm

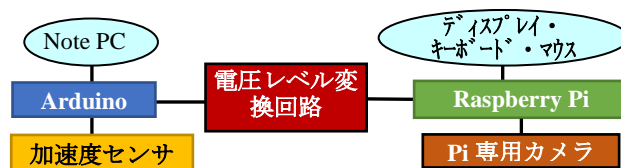


図1 システム構成

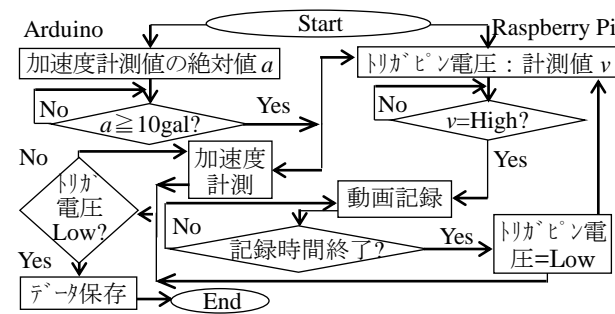


図2 システムフロー

日本建築学会情報システム技術委員会  
第42回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, 284-287, 2019年12月, 東京  
Proceedings of the 42nd Symposium on Computer Technology of Information,  
Systems and Applications, AIJ, 284-287, Dec., 2019, Tokyo

## 2-2 供試体及び小型振動台実験の概要

図3に動画計測システムを用いた3層供試体<sup>10)</sup>の振動台実験の概要を示す。この実験では、供試体基礎に設置したデジタル加速度センサ(MMA8451)<sup>15)</sup>の計測値(分解能 14bit, サンプル間隔 20ms)をトリガとし、図4に示す撮影対象に応じて設置した Raspberry Pi 用ケース内に設置した Pi カメラで図4に示す撮影対象に貼付したマーカーを撮影し、振動台実験時の撮影対象の相対変位を動画解析により算出する。なお、マーカーは円形で、1F-, 2F-, 3F-基礎は直径 15mm, 振動台-天井は直径 115mm とし、1F-, 2F-, 3F-基礎では寸法換算用定規も設置した。また、1F-基礎の動画収集と、2F-, 3F-基礎及び振動台-天井の動画収集は、システムを図4中に示す設置位置 1, 2 でそれぞれ行う。さらに、本実験では供試体の応答変位をレーザ変位計とデータロガー-GL900 で計測し、動画解析結果との比較を行う。レーザ変位計の計測は 20ms 間隔とし、動画収集システム作動前に計測を開始し、動画収集終了後に終了させる。

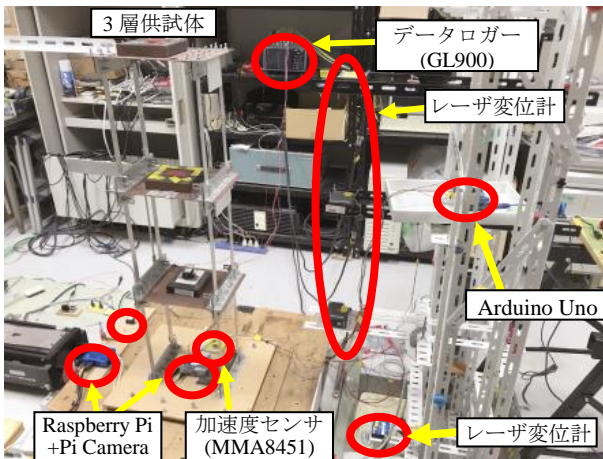


図3 実験システムの概要

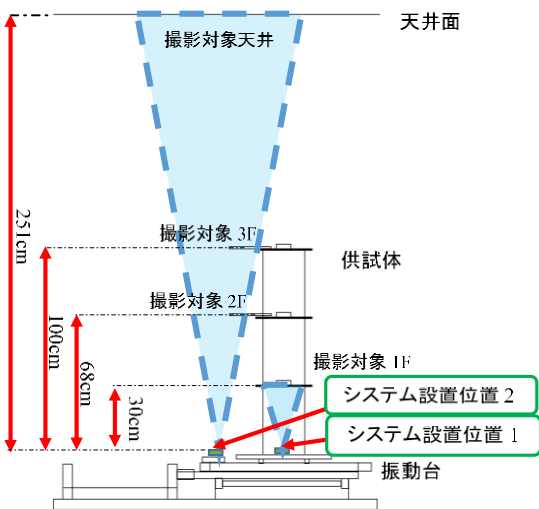


図4 動画収集システムと撮影対象

## 2-3 動画収集及び分析方法

表2に動画解析ソフト Kinovea の概要<sup>11)-13)</sup>を示す。OSSW

の Kinovea は運動解析ソフトとして開発され、スロー再生、二画面再生による映像比較、自動軌道追跡による距離、角度、速度の計測等を行うことができる。また、動画収集には Raspberry Pi の撮影条件を設定した raspivid コマンドを用い H264 形式で保存した。実験終了後に、H264 形式の動画ファイルを動画形式変換ソフト GPAC<sup>16)</sup>で MP4 にエンコードし、Windows 対応 PC で Kinovea を用いた動画解析を行った。なお、Kinovea での動画解析における寸法換算には、1F-基礎、2F-基礎、3F-基礎では寸法換算用の定規の目盛を、振動台-天井ではマーカーの直径 115mm を使用した。

表2 Kinovea の概要<sup>11)-13)</sup>

対応OS	Windows(XP, Vista, 7, 8.1, 10)
実行環境	.NET Framework 3.5 以降
CPU	1GHz
メモリ	256MB
スクリーンサイズ	1024x600 Pixel
入力ビデオフォーマット	AVI, MPG, MOV, WMV, MP4, FLV, 3GP, MKV, VOR, MOD, TOD
入力ビデオコーデック	DV, DivX, Xvid, H264, MJPEG, Theora等

## 3. 実験設定及び実験結果

本研究では、表3に示す5種の画素数、fps(フレームレート)の撮影設定で動画収集を行った。振動台への入力地震波は、El Centro NS (1940), Hachinohe NS (1968), JMA Kobe NS (1995)の3波を用いた。なお、本システムは加速度計測値がトリガ値を超えた時に動画収集を開始するため、動画解析結果の自由振動部分のデータを用いて動画解析結果の基線補正を行う。また、収集した動画とレーザ変位計の計測結果は同期していないため、応答変位はレーザ変位計による計測結果と動画解析結果の最大値の時刻を合わせて比較を行う。図5~13に、JMA Kobe 波を用いた場合の撮影設定 1, 3, 4 の場合のレーザ変位計の計測結果と Kinovea による応答変位の推定結果として、1F-基礎、3F-基礎、振動台-天井の場合の比較を示す。また、表4には全ての撮影設定と3つの入力波について、応答変位の最大値、最小値と推定誤算の一覧を示す。

表3 撮影設定

撮影設定	画素数	fps	撮影設定	画素数	fps
1	1920×1080	25	4	640×480	50
2	1280×720	25	5	640×480	90
3	640×480	25	fps: フレームレート		

## 4. 考察

本研究では、Raspberry Pi と専用カメラで収集した地震時動画を OSSW の Kinovea で動画解析して推定された応答変位をレーザ変位計の計測結果と比較し、その推定精度の検証を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。  
1) 本研究で構築した OSSW を用いた応答動画収集システムは、振動台実験で設定通り(図1, 2)の作動を、動画

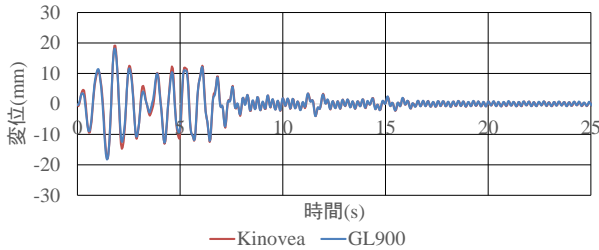


図 5 1F-基礎の応答変位の比較(撮影設定 1)

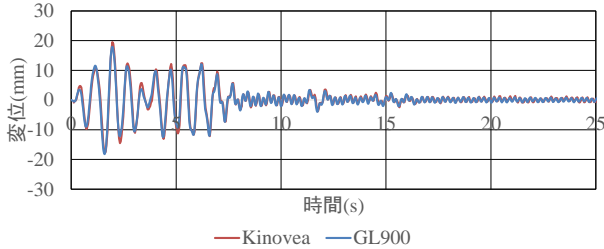


図 6 1F-基礎の応答変位の比較(撮影設定 3)

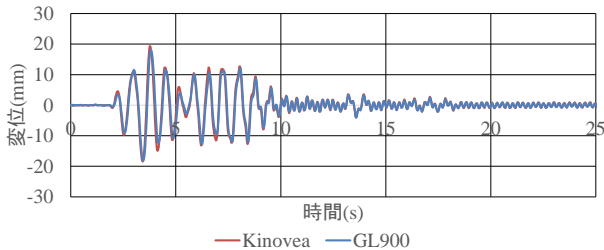


図 7 1F-基礎の応答変位の比較(撮影設定 4)

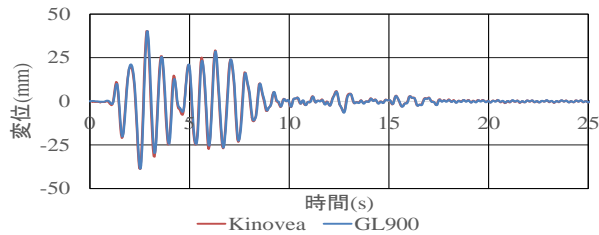


図 8 3F-基礎の応答変位の比較(撮影設定 1)

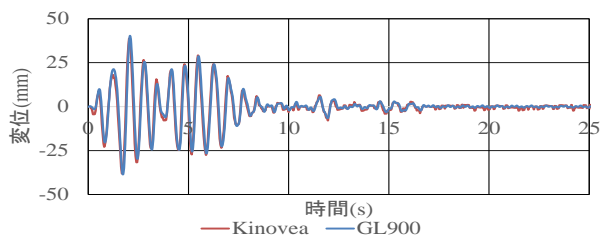


図 9 1F-基礎の応答変位の比較(撮影設定 3)

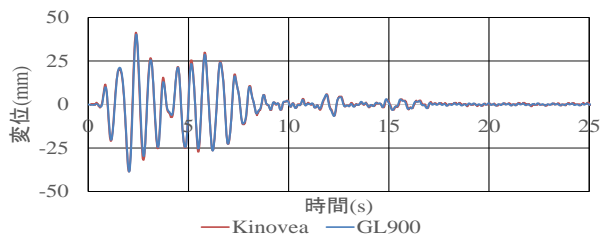


図 10 3F-基礎の応答変位の比較(撮影設定 4)

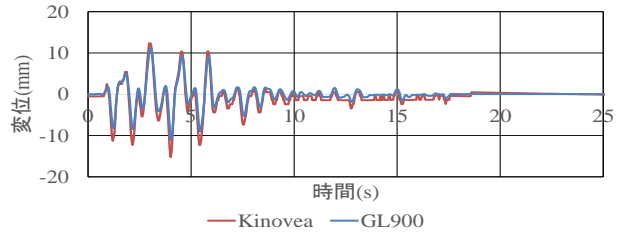


図 11 振動台-天井の応答変位の比較(撮影設定 1)

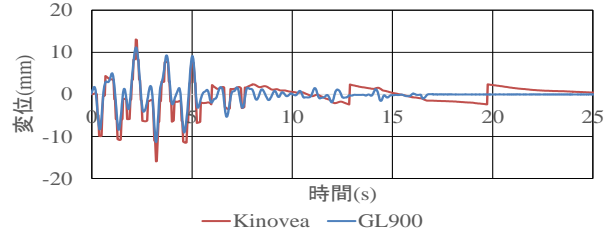


図 12 振動台-天井の応答変位の比較(撮影設定 3)

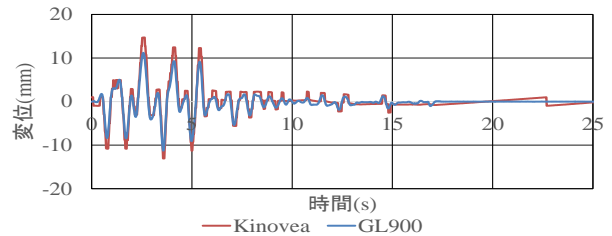


図 13 振動台-天井の応答変位の比較(撮影設定 4)

- 析用 OSSW の Kinovea は、推定誤差が生じる設定もあるが、応答動画解析に適用できることをそれぞれ確認した。
- 2) レーザ変位計の計測値と Kinovea で推定した応答変位の比較では、図 5-10(撮影対象:1F-, 3F-基礎)には振幅、位相共にほとんど差が見られないが、図 11-15(撮影対象:天井)では、振幅、位相共に大きな差が見られた。
  - 3) 構築した動画収集システムでは、撮影対象に貼付した円形マーカーをターゲットとして動画解析ソフトに自動追尾させ、マーカーの移動を相対応答変位として推定したが、カメラと被写体の距離が約 68cm(撮影対象 1F-, 2F-基礎)までは、動画サイズ 640×480pixel, fps25 の撮影設定 3 でも誤差平均約 6%(表 4)で応答変位が推定できた。
  - 4) カメラとマーカーの距離が約 1m(撮影対象 3F-基礎)、動画サイズ 1280×720pixel, fps25(撮影設定 2)の場合、応答変位が誤差平均約 8%(表 4)で推定できた。なお、この距離の動画サイズ 640×480pixel, fps25(撮影設定 3)で、Kinovea の自動追尾機能にブレが生じる場合が見られた。
  - 5) カメラとマーカーの距離が約 2.51m の場合(撮影対象振動台-天井)は、マーカーまでの距離が長いので大きいマーカーを用いたが、表 4 より応答変位も小さく、今回設定した 5 種の撮影設定に推定精度の良い条件はなかった。
  - 6) 一般に、同一範囲を撮影した場合、動画サイズが大きいと 1pixel 当たりの寸法が細くなり応答推定精度が向上

表4 応答変位の最大値, 最小値と推定誤算一覧

El Centro NS (GL900, Kinovea, 誤差:単位 mm)													
設定	対象	GL900	Kinovea	誤差	誤差(%)	設定	対象	GL900	Kinovea	誤差	誤差(%)		
1	1F	Max	16.46	16.98	-0.5174	3.143	1	2F	Max	29.41	27.60	1.809	6.150
		Min	-16.66	-16.74	0.08262	0.496			Min	-28.43	-27.22	-1.211	4.261
2	1F	Max	16.57	16.90	-0.3282	1.980	2	2F	Max	29.37	27.56	1.813	6.172
		Min	16.75	16.58	0.1654	0.987			Min	-28.35	-26.49	-1.857	6.551
3	1F	Max	16.62	17.67	-1.053	6.340	3	2F	Max	29.59	26.57	3.024	10.22
		Min	-16.86	-17.33	0.4666	2.767			Min	-28.53	-24.91	-3.626	12.71
4	1F	Max	16.75	17.25	-0.5029	3.003	4	2F	Max	29.76	28.29	1.467	4.929
		Min	-16.71	-17.09	0.3771	2.256			Min	-28.62	-28.19	-0.4332	1.513
5	1F	Max	16.74	17.96	-1.216	7.263	5	2F	Max	29.71	28.45	1.264	4.255
		Min	-16.80	-17.49	0.6942	4.132			Min	-28.59	-27.60	-0.9857	3.448
設定	対象	GL900	Kinovea	誤差	誤差(%)	設定	対象	GL900	Kinovea	誤差	誤差(%)		
1	3F	Max	30.41	30.88	-0.4660	1.532	1	天井	Max	9.836	12.30	-2.466	25.07
		Min	-28.83	-29.30	0.4740	1.644			Min	-7.964	-10.03	2.064	25.92
2	3F	Max	30.42	29.46	0.9623	3.163	2	天井	Max	10.03	13.44	-3.406	33.96
		Min	-28.84	-28.41	-0.4277	1.483			Min	-7.851	-11.01	3.154	40.18
3	3F	Max	30.51	28.02	2.490	8.162	3	天井	Max	10.11	15.00	-4.891	48.38
		Min	-29.05	-27.72	-1.330	4.578			Min	-7.891	-11.93	4.039	51.19
4	3F	Max	30.67	30.71	-0.04364	0.142	4	天井	Max	10.11	10.68	-0.569	5.629
		Min	-29.09	-28.87	-0.2236	0.769			Min	-7.934	-10.67	2.731	34.42
5	3F	Max	30.59	30.72	-0.1302	0.426	5	天井	Max	10.15	12.58	-2.432	23.97
		Min	-29.09	-27.88	-1.210	4.160			Min	-7.972	-9.060	1.088	13.64
Hachinohe NS (GL900, Kinovea, 誤差:単位 mm)													
設定	対象	GL900	Kinovea	誤差	誤差(%)	設定	対象	GL900	Kinovea	誤差	誤差(%)		
1	1F	Max	13.72	12.98	0.7371	5.374	1	2F	Max	27.12	25.07	2.054	7.573
		Min	-12.54	-12.73	0.1872	1.492			Min	-24.60	-23.32	-1.286	5.229
2	1F	Max	13.65	13.40	0.2579	1.889	2	2F	Max	27.15	24.29	2.865	10.55
		Min	-12.57	-12.61	0.04788	0.381			Min	-24.59	-23.74	-0.8455	3.439
3	1F	Max	13.65	13.40	0.2579	1.889	3	2F	Max	27.08	24.71	2.370	8.752
		Min	-12.57	-12.61	0.04788	0.381			Min	-24.54	-23.57	-0.9699	3.952
4	1F	Max	13.83	13.34	0.4888	3.535	4	2F	Max	27.13	25.00	2.130	7.854
		Min	-12.63	-12.82	0.1888	1.494			Min	-24.57	-24.03	-0.5495	2.236
5	1F	Max	13.86	13.40	0.4609	3.325	5	2F	Max	27.09	25.92	1.174	4.334
		Min	-12.62	-13.02	0.4009	3.177			Min	-24.73	-23.77	-0.9557	3.865
設定	対象	GL900	Kinovea	誤差	誤差(%)	設定	対象	GL900	Kinovea	誤差	誤差(%)		
1	3F	Max	30.16	30.35	-0.1801	0.597	1	天井	Max	7.588	7.742	-0.1537	2.026
		Min	-27.14	-27.51	0.3799	1.400			Min	-7.812	-9.315	1.503	19.24
2	3F	Max	30.22	29.87	0.3457	1.144	2	天井	Max	7.628	11.27	-3.643	47.76
		Min	-27.14	-27.24	0.09568	0.352			Min	-7.812	-8.919	1.107	14.17
3	3F	Max	30.12	27.68	2.4354	8.087	3	天井	Max	7.623	12.89	-5.264	69.06
		Min	-27.16	-25.68	-1.4846	5.465			Min	-7.817	-9.693	1.876	23.99
4	3F	Max	30.13	29.75	0.3803	1.262	4	天井	Max	7.569	10.44	-2.871	37.93
		Min	-27.27	-27.27	-0.009680	0.035			Min	-7.809	-8.850	1.041	13.33
5	3F	Max	30.26	29.55	0.7019	2.320	5	天井	Max	7.590	10.17	-2.575	33.92
		Min	-27.36	-26.39	-0.9781	3.574			Min	-7.810	-9.335	1.525	19.53
JMA Kobe NS (GL900, Kinovea, 誤差:単位 mm)													
設定	対象	GL900	Kinovea	誤差	誤差(%)	設定	対象	GL900	Kinovea	誤差	誤差(%)		
1	1F	Max	18.22	19.12	-0.8981	4.929	1	2F	Max	36.78	34.65	2.126	5.781
		Min	-18.16	-18.01	-0.1486	0.818			Min	-34.94	-32.77	-2.174	6.221
2	1F	Max	18.04	19.07	-1.0297	5.708	2	2F	Max	36.70	32.79	3.905	10.64
		Min	-18.16	-18.32	0.1603	0.883			Min	-34.76	-30.92	-3.845	11.06
3	1F	Max	17.94	19.51	-1.5698	8.752	3	2F	Max	36.77	34.39	2.387	6.492
		Min	-18.18	-17.91	-0.2698	1.484			Min	-34.97	-30.51	-4.463	12.76
4	1F	Max	18.12	19.29	-1.1695	6.453	4	2F	Max	36.72	34.97	1.759	4.790
		Min	-18.22	-18.43	0.2100	1.153			Min	-34.94	-32.32	-2.621	7.502
5	1F	Max	18.12	19.48	-1.3631	7.522	5	2F	Max	36.76	33.66	3.101	8.436
		Min	-18.20	-18.48	0.2769	1.521			Min	-34.88	-31.49	-3.389	9.716
設定	対象	GL900	Kinovea	誤差	誤差(%)	設定	対象	GL900	Kinovea	誤差	誤差(%)		
1	3F	Max	40.28	40.26	0.0228	0.057	1	天井	Max	11.19	12.32	-1.130	10.10
		Min	-38.64	-38.80	0.1628	0.421			Min	-11.17	-15.23	4.060	36.34
2	3F	Max	40.18	40.63	-0.4453	1.108	2	天井	Max	11.10	15.53	-4.427	39.90
		Min	-38.44	-38.44	-0.0053	0.014			Min	11.25	12.92	-1.665	14.80
3	3F	Max	40.30	38.72	1.589	3.944	3	天井	Max	11.19	13.06	-1.863	16.65
		Min	-38.60	-38.07	-0.5305	1.375			Min	-11.33	-15.92	4.587	40.49
4	3F	Max	40.29	41.36	-1.075	2.668	4	天井	Max	11.19	14.71	-3.513	31.39
		Min	-38.67	-38.58	-0.0947	0.245			Min	-11.25	-13.06	1.807	16.07
5	3F	Max	40.26	40.73	-0.4632	1.151	5	天井	Max	11.20	14.25	-3.046	27.20
		Min	-38.56	-37.93	-0.6232	1.616			Min	-11.28	-13.33	2.044	18.12
誤差=Kinovea推定値-GL900計測値, 誤差(%)=100× 誤差/GL900計測値													

すると考えられるが、動画サイズが大きい 1920×1080 pixel(撮影設定 1)で収集した応答動画にコマ落ちが見られた。一方、動画サイズ 1280×720pixel(撮影設定 2)ではコマ落ちはなかったため、構築した応答動画撮影システムの動画サイズの上限は 1280×720pixel と考える。

7)カメラとマーカーの距離が約 2.51m の場合(撮影対象振動台-天井)に、静止状態の撮影動画の Kinovea による動画解析でマーカーが移動する現象が見られた。このため、Kinovea を使用する場合、カメラとマーカーの距離が大きい場合は推定精度が低下すると考えられる。

8)本研究では、撮影設定で fps を変化させたが、fps=50 と fps=90 の場合の応答変位の推定結果にほとんど差がないため、構築したシステムの fps は 50 で十分と考える。

### 5.まとめ

以上より、本研究の範囲では、構築した応答動画撮影システムと OSSW の動画解析システムを用いた応答変位推定に関して、本システムの適用範囲と応答変位推定精度を明らかにできたと考える。より高精度の動画解析による応答変位推定システムの構築には、今後、本研究で得られた問題点の改善方法のより詳細な検討が必要と考える。

### 【参考文献】

- 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.
- 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.
- 山崎俊彦: IoTセンシングによる住宅の住心地計測と可視化, 日本建築学会学術講演梗概集, 論文番号11038, pp.75-76, 2017.9.
- 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.
- Raspberry Pi HP : <https://www.raspberrypi.org/>. (2019/10/4閲覧)
- 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.
- 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.
- Picamera 1.13 Documentation HP : <https://media.readthedocs.org/pdf/picamera/latest/picamera.pdf>. (2019/10/4閲覧)
- DIPP-Motion V/2D HP : [https://www.ditect.co.jp/products/software/dipp\\_motion\\_v\\_2d.html](https://www.ditect.co.jp/products/software/dipp_motion_v_2d.html). (2019/10/4閲覧)
- 谷明勲, 山邊友一郎: OSHWで収録した動画の解析による地震応答モニタリング, 日本建築学会第40回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, 報告, 論文番号H63, pp.11-15, 2017.12.
- Kinovea HP : <https://www.kinovea.org/features.html>. (2019/10/4閲覧)
- Kinovea: Japanese version tutorial : [https://www.researchgate.net/publication/323825827\\_Kinovea\\_Motion\\_capture\\_software\\_Japanese\\_version\\_tutorial](https://www.researchgate.net/publication/323825827_Kinovea_Motion_capture_software_Japanese_version_tutorial). (2019/10/4閲覧)
- 清水潤: フリーソフト活用コーナー 運動映像解析ソフト Kinova, CQ 出版社, Interface 2016年10月号, pp.114-121, 2016.8.
- Arduino HP : <https://www.arduino.cc/>. (2019/10/4閲覧)
- [https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/Freescale\\_MMA8451QR1.pdf](https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/Freescale_MMA8451QR1.pdf). (2019/10/4閲覧)
- GPAC HP : <https://gpac.wp.imt.fr/mp4box>. (2019/10/4閲覧)