



電動スライダを用いた一軸振動台模型実験装置の開発

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-02-17 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 岩本, いづみ, 真野, 純司, 阪本, 吉一 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24729/00007528

電動スライダを用いた一軸振動台模型実験装置の開発

岩本いづみ*, 真野純司**, 阪本吉一***

Development of One-axis Shaking Table Test Equipment for Models Using Electric Slider

Izumi IWAMOTO*, Junji MANO** and Yoshikazu SAKAMOTO***

要 旨

著者らがすでに開発している耐震性能模型実験装置は手で振動させるもので再現性に問題があった。そこで、任意波形や地震波形が入力できる一軸振動台模型実験装置の開発を行った。本装置の加振機構には電動スライダを用いた。時間とともに変化する位置データから時間 10 [ms]ごとの移動量を計算し、パルス波形に変換した信号を電動スライダに常時送り続けられるように、マイコンを利用した制御回路を製作した。本装置に単振動および地震動の入力を行い、時刻歴加速度応答波形と応答スペクトルなどでその有効性を評価した。

キーワード：模型実験装置、振動台、電動スライダ、一軸、地震動

1. はじめに

日本は世界でも有数の地震大国であり、大規模な地震発生時の切迫性が指摘される中、耐震化は緊急かつ最優先に取り組むべきであるとされている。しかし、現実では、「耐震性があると思っている」「地震は起きないと思っている」など、耐震化の必要性を認識していない考えを持つ人が多く、建物の耐震化は十分に進んでいるとは言えない。このような認識を持つ人を啓発する方法として、建物と耐震性の関係をわかりやすく理解できる模型実験装置は一つの有効な手段である。

著者らは、写真 1 の(a)構造物可視化振動実験装置¹⁾および同 1 の(b)木造住宅の耐震性能実験装置²⁾をすでに開発している。(a)では、建物の固有周期、共振、耐震、制震、免震が目で見えて理解できる実験を行うことができる。(b)では、2つの木造住宅模型を同じ振動台に載せて、比較することで、どちらが耐震性に優れているか理解できる実験を行うことができる。これら2つの実験装置はこれまでに体験入学や公開講座、実験・実習で使用し、視覚的に訴えて分かり易いと好評を得ている。

しかし、これらの2つの装置は、手で振動数を変化

させる構造になっており、同じ振動を再現することが難しい点が問題であった。任意の波形や地震波形を再現する卓上の教材用の模型実験装置は他でもすでにいくつか開発されており³⁾、商品化もされている。しかし、これらは非常に高額で利用しにくい。

そこで、本研究では任意波形や地震波形を再現する卓上振動台の開発を行う。振動装置には製造現場などで使用されている電動スライダを用いる。電動スライダは基本的には決まった動作を繰返し行うことを目的として作られており、地震波のようなランダムな振動を再現することは想定されていない。そこで本研究では、マイコンを用いて、電動スライダに地震波形を入力し、その装置が振動台として有効であるか検証を行う。



(a)構造物可視化
振動実験装置



(b)木造住宅の
耐震性能実験装置

写真 1 耐震性を理解するための模型実験装置

2016年8月22日 受理

* 総合工学システム学科 都市環境コース

(Dept. of Technological Systems: Civil Engineering and Environment Course)

** 電子情報コース (Electronics and Information Course)

*** 技術教育支援室 (Technical Experts)

2. 電動スライダ

電動スライダは製品の組み立て工場などで、部品的高速搬送や高精度な位置決めで使用されている。移動量や速度に応じてさまざまな製品が開発されている。本研究では、オリエンタルモーター(株)の ELSM4XE015K^[4]を使用した。ELSM4XE015K の外観と仕様をそれぞれ写真 2 および表 1 に示す。写真 2(a)は電動スライダ本体部を示す。同 2(b)はスライダのステッピングモーターを駆動するモータードライバ EDR36D-K^[5]である。



(a) 電動スライダ本体



(b) モータードライバ

写真 2 電動スライダとモータードライバ

表 1 ELSM4XE015K の主要仕様

項目	仕様
使用モーター	ステッピングモーター
駆動方式	ボールねじ
ストローク	150 [mm]
リード	6 [mm/回転]
回転パルス	600 [パルス/回転]
位置分解能	0.01 [mm]
最高速度	300 [mm/s]
可搬質量	~30 [kg]

電動スライダは、ステッピングモーターの回転をボールねじによって直線運動に変換する。モーターの回転量

は、入力パルス数によって正確に制御することができる。

表 1 より、この電動スライダは、最大振幅が 150 [mm]、最大移動速度が 300 [mm/s] 以内の 1 次元地震動を再現できることが分かる。また、可搬質量が大きいため、振動台の上に構造模型などを置くことができる。

3. 一軸振動台

3-1. 動作原理

一般に地震動は 3 次元（南北方向，東西方向，上下方向）の変動としてとらえられるが，本研究ではまず，一軸方向（南北方向）の動きの再現を考える。このとき，地震による位置の変化は固定サンプリング周期の離散値として与えられるものとする。離散化された位置データと時間の関係を図 1 に示す。隣り合う位置データの差分を計算することにより時間ステップごとに必要な移動量を求めることができる。

本研究で開発した一軸振動台は，電動スライダに対して，時間ステップ t_i ごとに移動量 δ_i を連続的に与えることにより地震動を再現するものである。時間ステップが十分小さくスライダの応答性が高いとき，よい近似であると考えられる。時間ステップは，一般的な地震波の観測データにあわせて 10 [ms] とした。

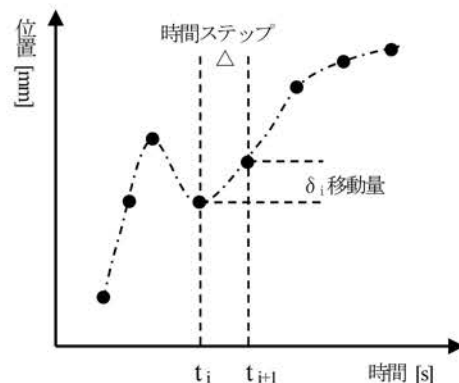


図 1 時間ステップと移動量

3-2. 一軸振動台の構成

本研究で開発した一軸振動台の全体構成を図 2 に示す。電動スライダとモータードライバはオリエンタルモーター(株)の既製品を使用した。

PC 部は，時間ステップ 10 [ms] の時系列で与えられる位置データを外部 csv ファイルから読み込み，移動量に変換する。この移動量はモーター仕様にしたがってパルス数に変換され USB ポートを介してコントローラ部に送信される。これらの処理はすべて，数値解析ソフトウェア Scilab^[6]を使ってプログラムした。

本仕様は、振動の位置データを外部 csv ファイルで指定するため、各種地震波や正弦波を含む任意波形に対応することができる。

コントローラ部は、時間ステップ 10 [ms]ごとに指定された数のパルスを発生させモータードライバを駆動する。

USB データ受信部は、PC との処理速度の差を吸収するため、ハードウェアフロー制御と 1 [KB]の容量を持つリングバッファを使用した。

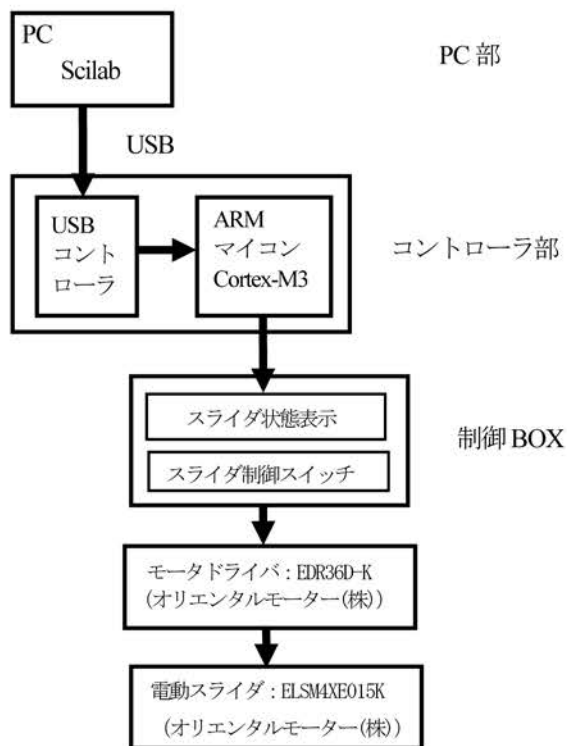


図2 一軸振動台の構成

コントローラ部は、高速処理と多数の高機能タイマ内蔵を特徴とするマイコンボード STBEE mini⁷⁾を使用した。STBEE mini の仕様を表 2 に示す。

表 2 STBEE mini の主要仕様

項目	仕様
プロセッサ	32bit ARM コア内蔵 STM32F103CBT6
クロック速度	72 [MHz]
プログラムメモリ	128 [KB]
SRAM	20 [KB]
IO ポート	32 [bit]
高機能タイマ	8 系統内蔵
通信機能 (USART)	5 系統内蔵

プロセッサは、以下の 4 プロセスを同時に処理する。

- (1) 10 [ms]の時間計測
- (2) パルス波形の出力
- (3) パルス数のカウント
- (4) USB データの受信

(1)と(2)のプロセスをメインループとして繰り返し実行する。10 [ms]の時間計測は、内蔵タイマを使用する。パルス波形の発生は、内蔵タイマの PWM モードを使用する。出力されたパルス波は別のタイマによってカウントする。カウント値が規定値に達したら割り込み処理によりパルス波の出力を停止する。また、USB を介した PC からのデータは、割り込み処理によって随時受信する。処理の時系列を図 3 に示す。

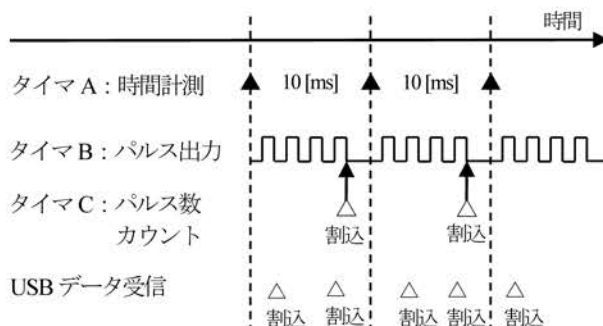


図3 プロセッサの時系列処理

パルス波の出力とカウントを高機能タイマによって各々独立に実行させるため、プロセッサの負荷が大幅に軽減され、割り込み処理による複数プロセスの並列化を実現した。

なお、マイコンボードのプログラム開発には、CooCox の CoIDE 開発環境⁸⁾と C 言語を使用した。

10 [ms]の時間ステップ内に、必要な数のパルスを出力する方法として、図 4 に示す 2 つの方式が考えられる。

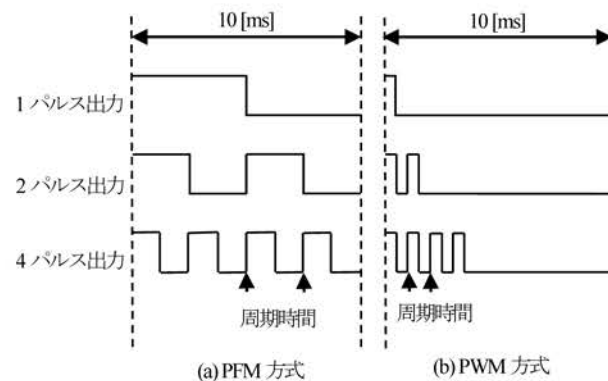


図4 パルス波形の出力方式

PFM 方式は出力パルス数に応じて周期時間を変化させ時間ステップ全体を使って必要パルス数を出力する。PWM 方式は、周期時間を固定して必要パルス数を出力する。ステッピングモーターの回転量は、入力パルスの数で決まるので、原理的には同じ結果が得られるはずであるが、評価の結果、本研究で使用したオリエンタルモーター(株)ELSM4XE015KはPFM方式で高い制御性能を示した。PWM方式では満足できる性能は得られなかった。これはモータードライバ回路の構成方法によるものと考えられるが詳細は分からなかった。

製作した一軸振動台を写真 3 に示す。写真 4 は制御 BOX に内蔵されたコントローラ部を示す。

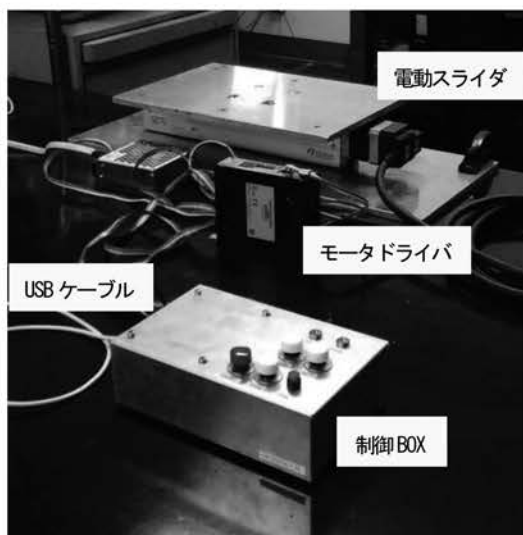


写真3 一軸振動台

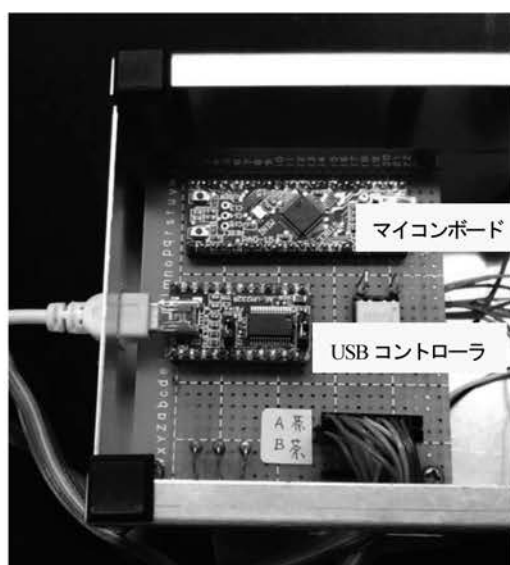


写真4 コントローラ部

4. 振動台としての再現性の検証

4-1. 単振動の再現

本実験装置を用いて、振動数および振幅を変化させて単振動の実験を行った。図5に振動数2 [Hz], 振幅20 [mm]の単振動の加速度の理論値と振動台に設置した加速度計から得られた実験計測値を示す。実験計測値にはフィルタ処理 (20 [Hz]以上をカット) をしている。理論値と実験値はほぼ合っていることがわかる。振動数1 [Hz], 振幅25 [mm]~振動数8 [Hz], 振幅5 [mm]の範囲では、電動スライダの動作は理論値とほぼ合うことが確認された。

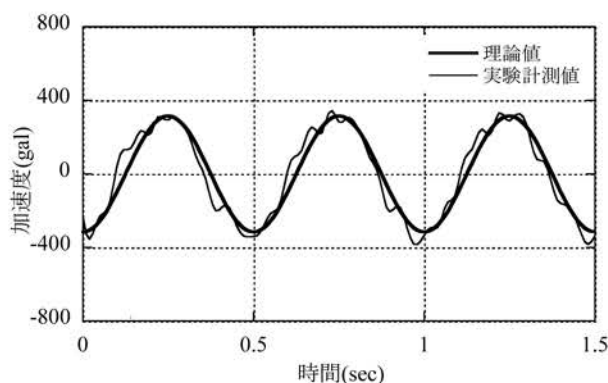


図5 単振動実験結果 (振動数 2 [Hz], 振幅 20 [mm])

4-2. 地震動の再現

表3に示す(a)~(i)の9つの地震動について入力を試みた。加速度・変位記録波形は、富山県農林水産総合技術センター木材研究所の有する水平振動台において、2015年(平成27年)1月に実施した動的実験で振動台から得られたデータを用いる。本実験装置にその変位データを入力した。本実験装置の電動スライダの追従可能な速度と振幅の制限により、入力可能であったのは、(a)El Centro波(最大25kine), (c)Taft波(最大25kine), (e)BSL波(16%), (g)BCJ_L1波(33%)の4つであった。

表3 入力地震波一覧

	地震波	備考	動作
(a)	El Centro波 (最大25kine)	1940年Imperial Valley地震の際にEl Centroで観測された地震動のNS成分	○
(b)	El Centro波 (最大50kine)		×
(c)	Taft波 (最大25kine)	1952年Kern County地震の際にTaftで観測された地震動のEW成分	○
(d)	Taft波 (最大50kine)		×
(e)	BSL波 (16%)	建築基準法に規定される第2種地盤における極稀地震に相当する人工地震波	○
(f)	BSL波 (80%)		×
(g)	BCJ_L1波 (33%)	日本建築センター模擬波	○
(h)	JMA神戸波 (100%)	兵庫県南部地震における神戸海洋気象台観測波のNS成分	×
(i)	JMA神戸波 (70%)		×

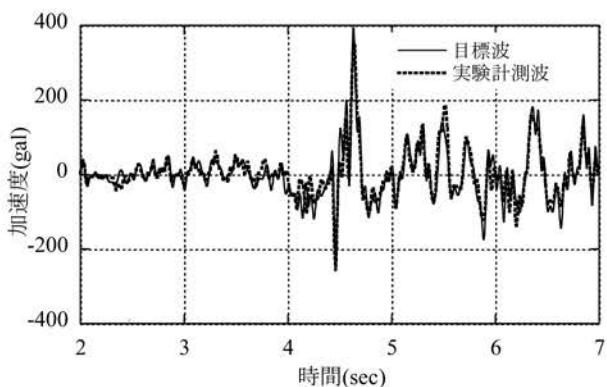


図6 (c)Taft波 (最大 25kine) 時刻歴加速度応答波形

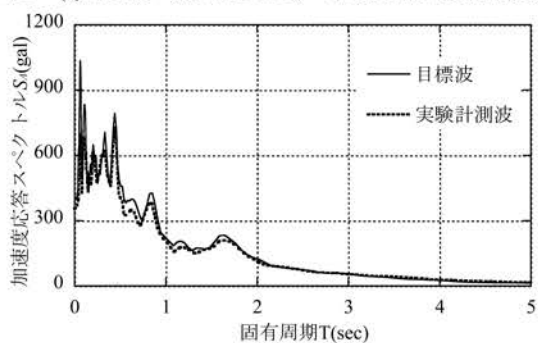


図7 (c)Taft波 (最大 25kine) 加速度応答スペクトル S_A

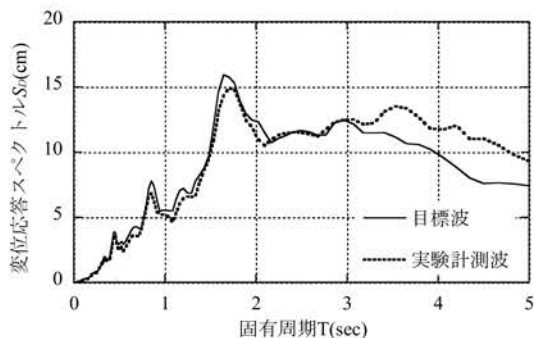


図8 (c)Taft波 (最大 25kine) 変位応答スペクトル S_D

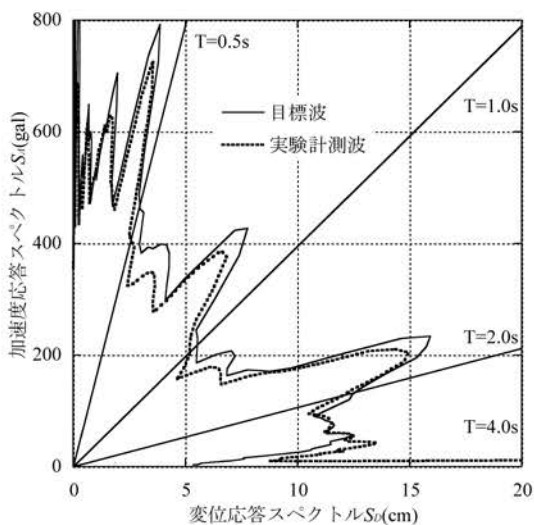


図9 (c)Taft波 (最大 25kine) S_A - S_D 曲線

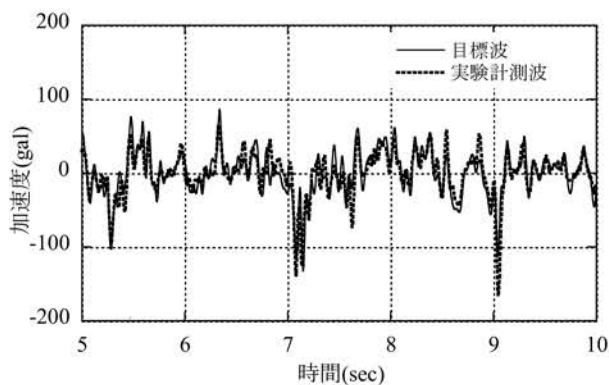


図10 (e)BSL波 (16%) 時刻歴加速度応答波形

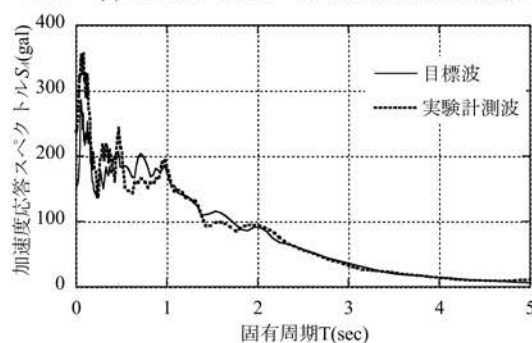


図11 (e)BSL波 (16%) 加速度応答スペクトル S_A

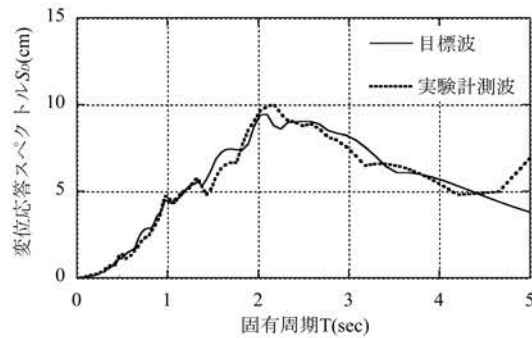


図12 (e)BSL波 (16%) 変位応答スペクトル S_D

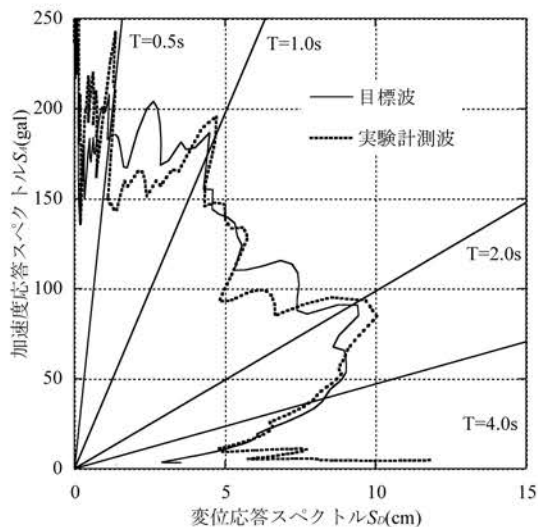


図13 (e)BSL波 (16%) S_A - S_D 曲線

(c)Taft 波 (最大 25kine) および(e)BSL 波 (16%) の時刻歴加速度応答波形, 加速度応答スペクトル S_A , 変位応答スペクトル S_D および加速度応答スペクトル S_A -変位応答スペクトル S_D 曲線を図 6~13 に示す. 細実線が目標波で太点線が実験計測値である. 図 6 および 10 の時刻歴加速度応答波形より, 本振動台で目標波を再現できていると言える.

人工地震動である(e)BSL 波 (16%) では, S_A , S_A - S_D 曲線を見ると, 目標値と実験値は合っているとはいえない. これは応答加速度の値が小さいことも影響していると考えられる. 観測地震動である(c)Taft 波 (最大 25kine) については, S_A , S_D , S_A - S_D 曲線いずれについても比較的良好に合っていると言える.

5. おわりに

本研究では, 加振機構に電動スライダを用い, マイコンを利用した制御回路を製作することにより, ランダムな波形入力を可能にした一軸振動台模型実験装置を開発した. 本実験装置に地震動を入力し, その有効性について検証を行った. 目標波と実験計測波を比較すると, 時刻歴加速度応答波形では, 比較的再現できている. 応答スペクトルで見ると, 地震動によっては, 現時点では十分に再現できていないものもあり, 引き続き改善が必要である.

また今後, 電動スライダを 2 つ組み合わせて二軸の振動台実験を可能にするととともに, 振動台に載せる模型の開発を行う予定である.

謝辞

椋山女学園大学 清水秀丸講師 (元 富山県農林水産総合技術センター 木材研究所 研究員) に検証用振動台実験データを提供いただきました. また本研究に多大なる御助言をいただきました. 記して謝意を表します.

参考文献

- [1] 阪本吉一: 構造物可視化振動実験器の試作研究, 平成 16 年度科学研究費補助金 奨励研究 研究成果報告書, 2005 年.
- [2] 岩本いづみ: 木造住宅の耐震性能実験装置教材の開発, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿), No.13008, 2014 年.
- [3] 花井勉ほか: 防災教材, 振動論教材としての卓上 2 軸振動台とその模型開発, 日本建築学会技術報告集, 第 15 巻, 第 29 号, pp.57-60, 2009 年 2 月.
- [4] オリエンタルモーター(株), 2012, 電動スライダ ELS シリーズカタログ.
- [5] オリエンタルモーター(株), 2011, EDR36D ユーザーズマニュアル.
- [6] Scilab, <http://www.scilab.org/>.
- [7] STBEE mini, Strawberry Linux, <https://strawberry-linux.com/catalog/items?code=32105>.
- [8] CooCox, <http://www.coocox.org/>.