

地震ザブトンの開発と減災啓蒙活動

Development of “Jishin the Vuton” for enlightenment of disaster preparedness.

○黒田 真吾¹, 翠川 三郎², 広瀬 茂男², 吉田 稔¹
 Shingo KURODA¹, Saburoh MIDORIKAWA², Shigeo HIROSE²,
 and Minoru YOSHIDA¹

¹ 白山工業株式会社
 Hakusan Corporation

² 東京工業大学
 Tokyo Institute of Technology

We developed a portable earthquake simulator system “Jishin The Vuton”. The moving part of the system reproduces various horizontal shakes of the real earthquake precisely. Synchronizing with the movement, the system displays a movie of indoor damage. By experience of the system, one can make a vivid image how serious the real shake could be and how less one could do something during strong shaking. More than 10,000 people have experienced the system through disaster preparedness programs.

Keywords : portable earthquake simulator, movie of indoor damage, 10,000 people, disaster preparedness,

1. はじめに

地震から命を守るための安全行動や、事前の対策を具体的に想像し実行する力を養うためには、地震の揺れや居室内の被害を疑似体験することが極めて重要だと考えられる。そこで我々は、各地の観測点や建物で実際に観測された多様な揺れを再現できる可搬型のシミュレータを開発するとともに、振動台実験による室内空間の被害状況の映像や音声と本装置を同期させることで、誰もがどこでも視覚や聴覚も含めた臨場感のある揺れ体験ができるシステムを開発した。さらに、このシステムを利用し、起震車等を用いた従来の防災訓練ではできなかった、より魅力的で多様な場で減災啓蒙活動を実践している。

2. 地震ザブトン

従来、揺れの疑似体験に用いられている起震車では、ストロークが不十分で大地震の揺れを正確に再現できない。また、実施場所も駐車場等に制限される。そこで、我々は、屋内のどこにでも持ち込める可搬型の地震動シミュレータ「地震ザブトン」を開発した^{1) 2)}。図1に地震ザブトン本体の外観を示す。

本体の走行部は、4台の直流電気モータで駆動するフリーローラを取りつけたクローラで構成される縦横 80cm、厚さ 15cm、重量 80kg の2次元小型振動台である。図2にVUTONクローラ³⁾の配置を示す。VUTONクローラは図3に示すように、ローラの軸の方向に対しては推進機構として機能し、ローラの軸に直行する方向については従動する支持機構として機能する。両者が複合した斜め方向の運動生成がローラの滑りなしに実現できることで、大きな荷重を支えながら任意の方向に移動できる。モータ制御には汎用サーボアンプを用い、CANバスによるシリアル通信でPCから速度制御データをリアルタイムで送信している。



図1 地震ザブトン本体

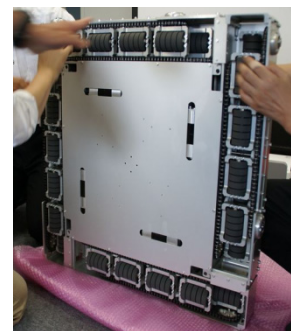


図2 本体走行部底面

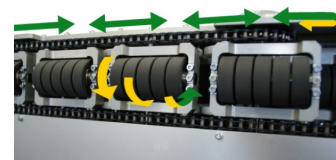


図3 VUTONクローラ拡大図

周期 1 秒以下程度では最大震度 7 の地震動を再現すること、周期数秒の長周期領域では 100cm/s 以上の振動が再現できることを目標として試作機を作成した。図 4 に示す通り、1995 年兵庫県南部地震で記録された JMA 神戸の水平 2 成分加速度波形（図中、Kobe Wave）、および想定東海地震による高層ビル 30 階の水平 2 成分の建物応答（図中、Shinjuku Wave）の両方の波形をほぼ正確に再現することを確認した⁴⁾。

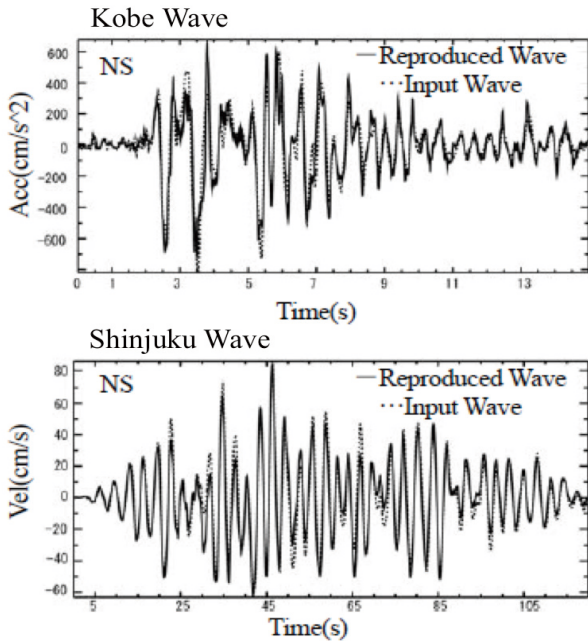


図 4 入力地震動(点線)と地震ザブトンで再現された地震動(実線)の比較

表 1 に示す仕様の通り、一般商用電源の AC100V で人を入れて短周期の強震動から長周期地震動までを正確に再現できる実用可能な可搬型地震動シミュレータは他に例をみない。

表 1 地震ザブトンの仕様

寸法・重量 (体験用チェア有)	幅 80 cm, 奥行 82 cm, 高さ 125 cm, 重さ 93kg
最大加速度	1,000gal
最大速度	120 cm/s
最大変位	無限大
電源	AC100V, 15KW
駆動機構	全方向移動機構 VUTON クローラ
制御機構	CAN によるシリアル通信
ユーザ インターフェイス	タッチパネル, ジョイスティック
安全装置	シートベルト、非常停止ボタン

3. 地震ザブトンと振動台実験映像の同期

地震被害アンケート調査⁵⁾によれば、地震による負傷原因の 30~50%は家具類の転倒・落下・移動によるものである。防災訓練では揺れの体験が重要視されているが、命を守るための安全行動や事前対策を実行する力を養うためには、揺れだけでは不十分で、視覚や聴覚も含めた臨場感のある揺れの疑似体験ができるシステムが必要だと考えられる。

そこで、寸法が横幅 320cm 奥行 250cm, 最大加速度

1,000gal, 最大速度 150cm/s, 最大変位 100cm の出力性能を持つ振動台の上に模擬的な居室空間をつくって実験を行った。地震ザブトンへの入力と同じ地震動データを用いて家具の応答の様子を撮影し、その動画と音声を収録した映像を作成した。地震ザブトンの動きとこの映像の出だしを合わせることで、コントローラのタッチパネル操作だけで制御用コンピュータと映像用コンピュータのデータが同期するように開発し、誰もがどこでも視覚や聴覚も含めた臨場感のある揺れ体験ができるシステムにした。入力データは表 2 の通り、主に日本で得られた代表的な強震記録とした。

表 2 14 種類の地震動入力データ

地震名	観測点名	地震のタイプ	震源の規模
兵庫県南部	JR 鷹取駅	直下型	M7.3
兵庫県南部	JMA 神戸	直下型	M7.3
新潟県中越	K-NET 小千谷	直下型	M6.8
福岡県西方沖	建築研究所福岡	直下型	M7.0
駿河湾	牧之原市相良	直下型	M6.5
駿河湾	菊川市堀之内	直下型	M6.5
東北地方太平洋沖	K-NET 仙台	海溝型	M9.0
東北地方太平洋沖	JMA 古川	海溝型	M9.0
東北地方太平洋沖	K-NET 茂木	海溝型	M9.0
東北地方太平洋沖	新宿 1 階	海溝型	M9.0
東北地方太平洋沖	新宿超高層階	海溝型	M9.0
想定東海	新宿 1 階	海溝型	M8.0
想定東海	新宿 30 階	海溝型	M8.0
イパリアバレー	ILP 中変電所	直下型	M6.4

東北地方太平洋沖地震時に K-NET 仙台で観測されたデータを用いて撮影した動画を例に、揺れ始める前、揺れ始めから 14 秒後、揺れ終了後の 3 ヶ所でキャプチャした静止画をそれぞれ図 5、図 6、図 7 に示す。この場合には 94 秒もの間揺れが続く。



図 5 揺れ始める前



図 6 揺れ始めから 14 秒後



図7 揺れ終了後



図10 イラスト例

4. 減災啓蒙のための活動

地震ザブトンと併せて使う減災啓蒙のための設営セットを制作した⁶⁾。図8に、このセットを用いた際のシステム全体の配置例を示す。図9のようにパーティションを立て、外側には自助・共助の重要性を示すイラストを配し、周囲の人に関心を持たせて体験を促し、体験者や見学者の意識を高める役割を持たせている。また、内側には兵庫県南部地震の際に倒壊した住宅や、家具類が散乱する室内被害の写真に被災者のコメントを添えており、地震ザブトンの揺れ体験がアトラクションだけで終わらないよう工夫した。外側のイラスト例を図10に、内側の写真例を図11に示す。



図11 写真例

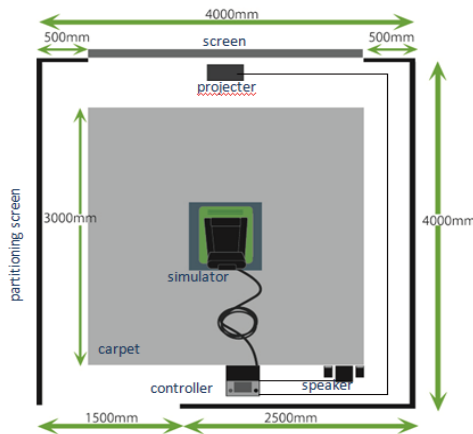


図8 地震動体験システムの配置例



図9 減災啓蒙用パーティション

このシステムを用いて、各機関からの要請に応じて出張防災教室を実施している。これまで約4年間の実施回数と体験者数を表3に示す。とくに2011年の東日本大震災以降は、長周期地震動の体験を高層住宅やオフィス内で実施したいという、大学や地域の協議会、民間企業やマンションなど各団体からの要請が多く、地震ザブトンの有効性が広まってきており、当研究グループだけでもこれまでに1万人を超える体験者数の実績がある。

表3 当研究グループの防災教室実施回数と体験者数

開催年度	実施回数	体験者数
2009年度	22回	920人
2010年度	37回	2,560人
2011年度	33回	2,190人
2012年度	52回	3,565人
2013年度(8/31迄)	10回	830人
合計	157回	10,065人

我々はこの出張防災教室において、図12のように、長周期地震動体験の前にはスポンジで出来た簡単な模型を使って固有周期や共振現象の説明を行ったり、震度7の地震動体験の後には、図13のように木製家具模型を使った家具転倒防止体験ワークショップを行うなど、地震の揺れ体験と減災の知識や知恵を結びつける努力をして、市民参加型の減災啓蒙活動を続けている。

さらに最近では、地震ザブトンの体験用チェアを取外し、小型振動台として装置上に参加者がブロックを積み上げて多様な地震動で揺らすなど新しい利用方法も試している。その様子を図14に示す。



図12 スポンジ模型を使った周期特性の説明風景



図 13 木製家具模型を使った家具転倒防止対策ワークショップの実施風景



図 14 小型振動台としての活用

5. 他の導入機関による利用例

現在地震ザブトンは、我々のグループ以外にも表 4 の通り東京消防庁などに導入され、それぞれの活動趣旨に合わせた利用がなされている。ここでは、東京消防庁とおぢや震災ミュージアムそなえ館の利用例について紹介する。

東京消防庁では都内管轄 81 署で随時開催される減災啓発イベントを巡回しており、入力波形は主に東日本大震災時の超高層階や、想定東海地震の 30 階のデータを使って長周期地震動を周知させるとともに、家具の転倒・落下・移動防止対策の重要性を訴えている。

そなえ館は、新潟県中越地震で被災した記憶を風化させないために作られた防災館であり、元々は小千谷市の市民学習センターであった建物の 2 階を改装して使われている。地震ザブトンの設置には、特別な電源工事や大掛かりな床の基礎工事を行う必要がなく、このようなリニューアル案件に適していることを本事例が明示している。さらに、完全に暗転できる部屋に地震ザブトンを置き、200 インチの大スクリーンと 5.1 チャンネルスピーカーを組み合わせて、より臨場感のある演出を行っている。入力波形は新潟県中越地震時に K-NET 小千谷で観測された記録を用い、別に制作された CG 映像と同期させて運用されている。市民以外に市外、県外からの団体来訪客が多く、揺れ体験前後に用意されたストーリー性のある展示や語り部の話との相乗効果が極めて高いと考えられる。

各導入機関の主な利用形態としては、東京消防庁と我々が出張型、それ以外では常設型を基本としている。体験者数は東京消防庁が突出して多く、年間 1 万人を超えている。全ての機関を合わせると、導入からこれまでの体験者数は 3 万人を超えている。

表 4 地震ザブトンの導入機関と活動趣旨等

導入機関名	主な活動趣旨
白山工業株式会社	事業プロモーション 及び減災啓発
東京工業大学 都市地震工学センター	研究内容のアウトリーチ 及び減災教育
東京消防庁	長周期地震動及び 家具転倒落下移動防止の啓発
おぢや震災 ミュージアムそなえ館	新潟県中越地震の伝承 及び減災啓発
民間大手マンション デベロッパー	高層免震マンションの販売促進 (免震と非免震の比較体験)
防災科学技術研究所	研究内容のアウトリーチ 及び減災教育

6. まとめ

短周期から長周期までの水平 2 方向の実地震動を正確に再現する可搬型地震動シミュレータ「地震ザブトン」を開発した。さらに、振動台実験による室内空間の被害状況の映像や音声と本装置を同期させ、誰もがどこでも視聴覚体験を伴った臨場感のある揺れ体験ができるシステムとした。本システムと啓蒙用設営セットやコンテンツを併せて活用し、高層住宅やオフィスなど人々が生活する場所に向いて、長周期地震動と震度 7 の揺れの体験会や家具転倒防止の講習会を行うなど、減災啓蒙活動を実践し、すでに 1 万人以上の体験実績を重ねている。

今後は、地震動メニューや啓蒙・教育コンテンツを増やし、さらに効果的な減災啓蒙活動や防災教育の仕組みを作っていくたい。

参考文献

- 1) 平山義治, 山口龍介, 松平昌之, 王猛, 吉田稔, 翠川三郎, 広瀬茂男, “激震動及び長周期地震動を再現する地震動シミュレータ” Jishin The VUTON” の開発, 日本地震工学会, pp. 116-117, 2009
- 2) 吉田稔, 広瀬茂男: 全方向移動車両機構を利用した従来にない地震体験装置, 日本機械学会誌, Vol. 114 No. 1111, pp. 448-449, 2011
- 3) Hirose and Amano, “The VUTON: High Payload High Efficiency Holonomic Omni-Directional Vehicle,” Proc. ISRR, Hidden Valley, USA, pp. 253-260, 1993
- 4) Adachi, S., Matsudaira, M., Hirayama, Y., Yoshida, M., Midorikawa, S. and Hirose, S., Development of Earthquake Experience System Using Ground Motion Simulator “Jishin The Vuton”. 7th International Conference on Urban Earthquake Engineering (7CUEE). pp. 317-320, 2010
- 5) 東京消防庁のサイト, <http://www.tfd.metro.tokyo.jp/hp-bousaika/kaguten/handbook/>
- 6) Shingo Kuroda, Saburoh Midorikawa, Shigeo Hirose, Minoru Yoshida, Development of portable earthquake simulator for enlightenment of disaster preparedness, The 15th World Conference on Earthquake Engineering, 2012

謝辞

本稿作成にあたり、地震ザブトンの体験者数や利用事例についてご教示頂いた東京消防庁防災部防災安全課とおぢや震災ミュージアムそなえ館の関係者各位に、また、防災教室のコンテンツにアドバイスを頂き、スポンジ模型作りやブロック積み等で協業して下さった防災科学技術研究所の納口恭明氏(Dr. ナダレンジャー)にも心から感謝の意を表す。