

仮想現実技術と振動台を組み合わせた超高層建物の地震応答体験環境の構築

正会員 ○福井 優太 *1 同 倉田 和己 *2
同 平井 敬 *3 同 福和 伸夫 *4

超高層建物	長周期地震動	共振現象
多質点系	地震体験	仮想現実

1. はじめに

2011年の東北地方太平洋沖地震では、長周期地震動により震源から離れた首都圏や震源から離れた大阪府の超高層建物が大きな影響を受け¹⁾、共振現象が問題となった。これを受け2013年、気象庁は長周期地震動階級を導入した。一般社会の長周期地震動や共振現象に関する理解を向上させることが必要である。その一助として、体験者が当事者意識を持てるようなリアルな揺れを容易に体験できる環境を整える。ここでのリアルな揺れとは、任意位置・任意建物の任意地震に対する建物の応答を再現することである。これにより、建築技術者には耐震・制震性能の向上、一般社会には防災意識の向上を図り、家具固定等の実施を促進することで超高層建物での被害軽減を目的とする。

2. 地震時建物応答可視化アプリの開発

現在最も普及している地震体験装置はトラックの荷台部分を改造した起震車であるが、加振機構の制約から長周期・大振幅の揺れの再現が難しい。通常、大振幅の揺れを再現するには大型の振動台が必要であり、人間が登場するには安全性や運用性に問題が生じる。そこで本研究では視覚による揺れの疑似体験環境を構築し、活用することを目指す。振動台を用いる場合でも既存の振動台の加振能力を視覚情報により補うことで大振幅の再現を可能にする。

視覚情報を利用する方法には仮想現実(バーチャルリアリティ、以下VR)のソフトウェア技術を応用する。表示媒体には、現時点で幅広い世代に普及しているスマートフォンを表示装置として利用する。これにより個人が手軽に体験でき、普及可能性も高い。振動台に搭乗しない場合でも体験できるよう、スマートフォンのアプリケーション(以下、アプリ)として簡易な地震体験装置の開発を行う。

2.1 地震動生成と建物応答解析の手法

任意位置・任意建物の揺れを表現可能なソフトウェアの概要を示す。地震動は、長周期成分と短周期成分をそれぞれ別々の手法を用いて推計し、両者を合成して用いる。長周期成分には内閣府の「南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動に関する報告」²⁾により推計されたものか、あるいは有限差分法を用いて独自に作成したもの³⁾を

使用する。短周期成分には統計的グリーン関数法により作成したもの⁴⁾を用いる。

続いて、任意建物の応答解析に用いるモデルを作成するために必要なパラメータを整理する。図1のように逆三角形の1次モードをもち、第*i*層に質量*m_i*、剛性率*k_i*、減衰係数*c_i*をもつせん断質点系モデルを使用する。このとき、層数を*N*、1次固有周期を ω とし、階高を一定とすると

$$k_i = \left(\sum_{t=i}^N t \cdot m_t \right) \cdot \omega^2 \quad (1)$$

と表せる。減衰係数は剛性比例型とする。

$$c_i = \frac{2h}{\omega} k_i \quad (2)$$

これらのパラメータを用いてNewmarkの β 法により多質点系モデルの建物の地震時応答解析を行う。

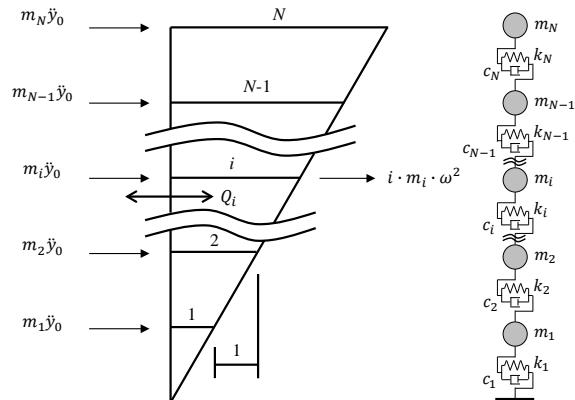


図1 逆三角形一次モードのせん断質点系モデル

2.2 地震時建物応答可視化アプリの特徴

アプリ側から見た揺れの表示までのフローは次の通りである。図2に対象地点の設定画面を示す。ここで計算の対象となる地点を決定する。図3に動作条件の設定画面を示す。ここでは計算に用いる地震シナリオの選択、計算に用いる波形データの時間区間、建物パラメータ(階数・固有周期・減衰定数)を入力する。一般利用者向けでは固有周期と減衰定数の代わりに構造種別(S造・RC造)と階数を入力すると一般的な値が自動的に設定される。これらの情報から、サーバ側で対象地点の地震動波形の取得・作成、建物の応答解析を行い、アプリ側で図4に示すように室内

の揺れを表示する。この際、家具の応答シミュレーションをリアルタイムで行い、転倒・破損の判定に基づく家具の転倒音や破壊音を再生する。

構築したアプリとサーバによるシステムを図5に示す。サーバでの地震動生成・建物応答計算と、アプリでの揺れの可視化のシステムを分離することにより、サーバでの計算結果を別のソフトウェアに出力でき、他の地震体験環境との連動が可能になる。

3. 開発した地震体験環境の啓発効果

一般向けの減災・防災啓発施設である名古屋大学減災館において、本研究で開発したスマートフォンアプリによる簡易HMDを用いたVR空間内の地震体験を来館者に試用してもらい、アンケートを行った。図6に簡易HMDの例を示す。「地震対策について、実践している対策・今すぐ行う対策・今後行う対策はどれか」(N=21)の結果を図7に示す。約6割がすでに食料・水・薬等の備蓄、家具固定・安全な場所への移動を行っているが、体験後にはすべての項目において約3割の改善が見られた。

耐震を専門とする建築従事者には、HMDによる映像と図8に示す振動台を連動させて地震体験を実施し、アンケートを行った。これらの装置が「長周期地震動や共振現象の特徴を説明するのに十分な内容か (4.十分である～1.十分でない)」(N=21)は平均値で3.43という結果が得られ、超高層建物の揺れの特徴をある程度再現できていることがわかる。一方、「アプリでも同様の効果が得られるか (4.かなりそう思う～1.全くそう思わない)」(N=19)は平均値で3.00であり、振動台での体験後の回答であったために見劣りした可能性があるが、今後この値を向上させることが課題である。

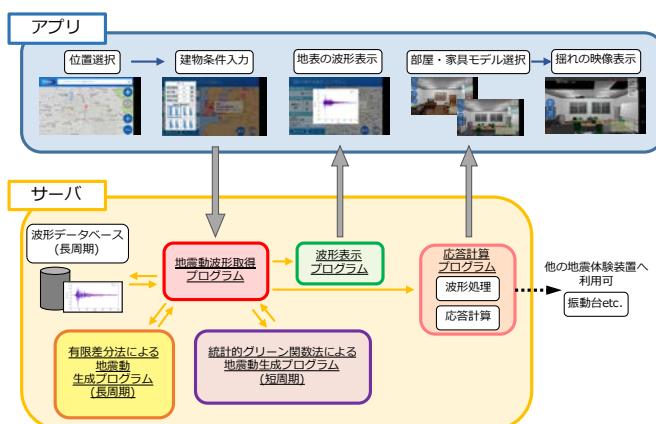


図5 任意地点・任意建物の揺れを表示するシステム



図2 対象地点の設定画面



図3 動作条件の入力画面



図4 室内の揺れのシミュレーション映像



図6 簡易 HMD

図8 振動台

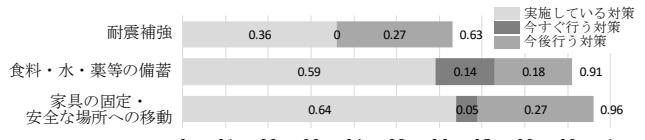


図7 地震対策についての回答(N=21, 人数割合)

参考文献

- 1) 大阪府総務部：咲洲庁舎の安全性等についての検証結果, 2011. 2) 内閣府：南海トラフの巨大地震モデル検討会、首都直下地震モデル検討会：南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動に関する報告, 2015. 3) Graves, R. W. Simulating seismic wave propagation in 3D elastic media using staggered-grid finite differences BSSA, 86, 1091-1106, 1996. 4) 釜江克弘, 入倉孝次郎, 福知保長, 地震のスケーリング則に基づいた大地震時の強震動予測, 日本建築学会構造系論文報告集, 第430号, 1-9, 1991.

*1 名古屋大学大学院環境学研究科 大学院生

*2 名古屋大学減災連携研究センター 特任准教授・博士(工学)

*3 名古屋大学大学院環境学研究科 助教・博士(工学)

*4 名古屋大学減災連携研究センター 教授・工博

*1 Grad. Student, Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ.

*2 Designated Associate Prof., Disaster Mitigation Research Center, Nagoya Univ., Dr.Eng.

*3 Assistant Prof., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.

*4 Prof., Disaster Mitigation Research Center, Nagoya Univ., Dr.Eng.