

長周期地震動を考慮した超高層建物の被害軽減のための意識啓発ツールに関する研究

名古屋大学工学部環境土木・建築学科建築学コース
福和研究室 福井優太

1. 研究の背景と目的

2011年の東北地方太平洋沖地震では、長周期地震動の発生により首都圏や震源から遠く離れた大阪府の超高層建物が大きな影響を受け、共振現象が問題になった。地表の揺れが小さな場合でも超高層建物の上層階では増幅され、長時間・大振幅の揺れとなる。これを受けて気象庁は2013年、長周期地震動階級を導入し、一般社会に向けて長周期地震動や共振現象に関する理解が浸透することを期待している。

そこで本研究では、長周期地震動における超高層建物の危険性を一般に認知させるため、超高層建物内での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、任意地点・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。リアルな揺れを体験することにより当事者意識を持たせ、建築技術者には耐震・制震性能の向上を促進させる。また一般社会には防災意識の向上を図り、家具固定等を実施することにより超高層建物での地震被害を軽減させることが本論の目的である。

2. 超高層建物と南海トラフ巨大地震

近年の巨大地震における長周期地震動を受け、超高層建物の安全性について問題視されるようになった。この状況を受け、内閣府により「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」が取り纏められた。

この報告では南海トラフ巨大地震が発生した際の揺れが250 mメッシュ単位で推計されている。三大都市圏が位置する堆積平野では長周期成分が多く継続時間の長い揺れが発生し、超高層建物が共振する可能性が高いと予想されている。既存の超高層建物の制震補強や新築される超高層建物にはより高度な地震対策を講じることが求められている。

3. 既存の地震体験環境と地震時建物応答の可視化手法

超高層建物での防災・減災対策を促進させるためには実際にその揺れを体験することが有効である。現在、最も多く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。また研究機関やゼネコンでは、大振幅を表現できる振動台も開発されつつあるが、一般の啓発活動に用いるのは困難である。そこで既存の地震体験装置を用いて超高層建物の揺れを体験できる環境を開発する。

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安全性にも問題が生じる。そこで本論では視覚による揺れの体験を可能にする。また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表現を可能にする。その方法としてバーチャルリアリティ(仮想現実、以下VR)のソフトウェア技術を応用する。

4. 地震時建物応答可視化アプリの開発

VRを用いた製品は徐々に浸透しつつあり、ヘッドマウントディスプレイ(以下、HMD)により簡単に体験できるようになってきた。ただし、現時点での普及率は低く、今後普及する可能性も未知である。一方でスマートフォンの利用率

は10代~40代で8割を超えており、全世代でも6割以上である。このように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れば、個人が手軽に揺れを体験でき、普及性にも期待できる。そこで本論では振動台に搭乘しない場合でも揺れを体験できるように、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を開発する。

4.1 地震時建物応答可視化アプリの開発

実際に任意位置・任意建物の揺れを表現可能なソフトウェアを開発する。任意位置における地震動には、内閣府による「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」により推計されたものを入力として用いる。

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に示すように逆三角形の一次モードをもち、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 、階高が一定と仮定すると

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

と表せる。減衰係数について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。

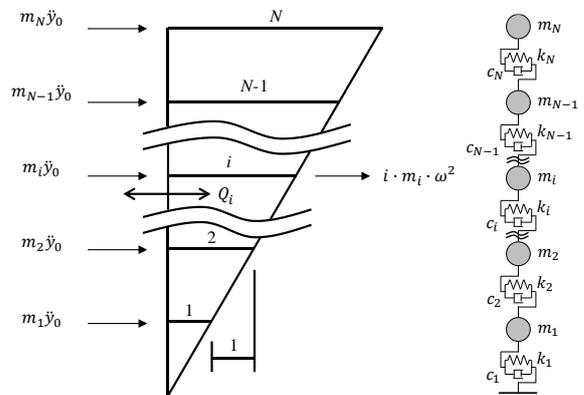


図1 逆三角形一次モードのせん断質点系モデル

4.2 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に対象地点の選択画面を示す。ここで計算の対象となる地点を選択する。図3に建物パラメータの設定画面を示す。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区間、建物のパラメータ(階数・固有周期・減衰定数)を入力する。一般利用者向けには固有周期と減衰定数の代わりに構造種別(S造 or RC造)を入力すると大まかな値が自動的に設定される。これらをサーバ側に送信すると、サーバ側では対象地点の地震動波形を取得し

建物の応答解析を行い、結果をアプリ側に返却し図 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効果音を鳴らす。以上により、視覚と聴覚を用いた地震体験装置を開発した。

構築したアプリとサーバによるシステムを図 5 に示す。サーバでの波形処理・応答計算とアプリでの揺れの可視化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。

5. 開発した地震体験環境の啓発効果

名古屋大学減災館で一般来館者向けに行われているギャラリートーク内で、教員による長周期地震動についての講義の後、簡易 HMD による地震体験を実施し、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・薬等を備蓄し家具の固定・安全な場所への移動を回答していた。今すぐ行う対策/今後行う対策はすべて約 3 割改善しておりアプリの啓発効果によって防災・減災意識が向上したと考えられる。

「3 種類の映像①屋上実験室で人が揺すられている映像・②超高層建物での揺れのシミュレーション映像・③スマートフォンアプリを簡易 HMD で体験した映像のうち最も身に危険を感じたものはどれか」(N=14)では最も回答数が多いのが③の 43%で、同じ映像の②よりも増大したのは VR 空間での体験が有効であったためと考えられる。一方で①の映像が 36%と回答者が多いのは、映像や音声が実際のものであるために現実味を感じたと考えられる。シミュレーション映像におけるリアリティを向上させることによりその効果をより増大させることが可能になると考えられる。

また、耐震を専門とする建築従事者に、図 8 に示す HMD による映像と図 9 に示す振動台「パレットぶるる」を連動させた地震体験を実施し、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について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、揺れをある程度再現できていることがわかる。一方、「スマートフォンアプリでも同様の効果が見込めるか(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見劣りした可能性があるが今後の研究によりこの数値を向上させる必要がある。

連動させた地震体験装置の「評価できる点」「評価できない点」を問う質問(N=21, 複数選択式)の結果を図 10 に示す。最も評価できるものが「視覚・聴覚・実際の揺れが同時に体験できる」(71%)であり、本論での目標を概ね達成できている。一方、評価できない点として「広い部屋が必要」(29%)、「準備が大がかりである」(19%)が他の項目に比べて相対的に割合が高い結果となった。

6. まとめ

本研究では、長周期地震動を受ける超高層建物の地震対策を促進させることを目的として、新たなソフトウェアと既存の地震体験環境を用いてより高度な地震体験が可能になった。先行研究²⁾によってもその効果はある程度認められているが、長期的・持続的な効果についてさらに検討する必要がある。また家具や天井についての詳細な応答シミュレーションや短周期側の入力についても今後の課題とする。

参考文献

- 1)平成 27 年情報通信メディアの利用時間と情報行動に関する調査報告書(http://www.soumu.go.jp/iicp/chousakenkyu/data/research/survey/telecom/2016/02_160825mediariyou_houkokusho.pdf) 2)倉田和己・福和伸夫、仮想現実ソフトウェアと振動体験環境の融合による効果的な防災・防災減災ツールの開発、日本災害情報学会誌, pp83-92, 2016.7



図 2 地点選択画面



図 3 建物パラメータ入力画面



図 4 室内の揺れ映像



図 6 簡易 HMD



図 8 HMD による地震体験装置



図 9 パレットぶるる

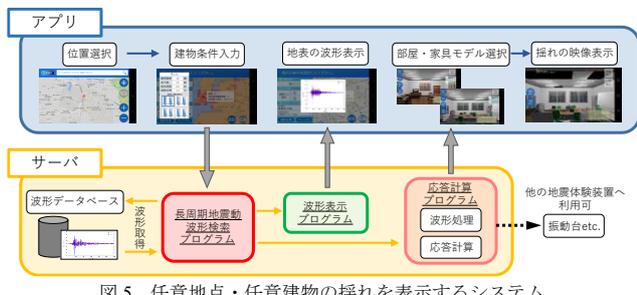


図 5 任意地点・任意建物の揺れを表示するシステム

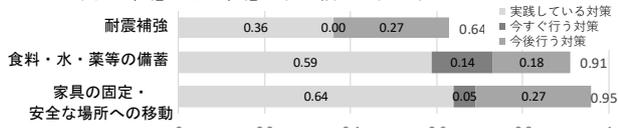


図 7 地震対策についての回答(N=21, 人数割合)

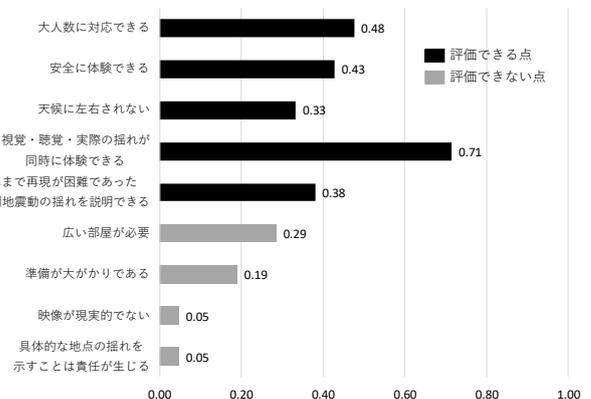


図 10 連動装置についての評価(N=21, 人数割合)