

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 4 月 18 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22560557

 研究課題名（和文） 強震を受ける室内での人間行動・知覚限界から設計規範を考える  
 基礎的研究

 研究課題名（英文） Fundamental Study on Design Criteria Based on Human Response  
 and Human Sensitivity in the Room During Strong Motion

研究代表者

高橋 徹 (TAKAHASHI TORU)

千葉大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：10226855

研究成果の概要（和文）：リニアモーターを用いた 2 次元加振可能な簡易振動台を開発し、これを用いて、強震時に人間が感じる不安度の大きさを評価する実験を行った。その結果、研究代表者らがこれまでに発表している 1 次元加振時の不安度よりも、若干小さめの振動で同等の不安度を感じる、という傾向が観察された。ただ、振動台の制御方法の影響が出ている可能性を否定できず、今後の課題となった。

研究成果の概要（英文）：Small shaking table using two linear motors was developed in this study. Using this shaking table, experimental study on evaluating people's anxiousness during strong ground motion was performed. As the result of the experiment, anxious level was higher than 1 axis experiment that was performed by the authors during 2000 to 2009. Although, effect of motion control system of the shaking table was left unsolved.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2011 年度	500,000	150,000	650,000
2012 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,800,000	1,140,000	4,940,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学，建築構造・材料

キーワード：荷重論

## 1. 研究開始当初の背景

東海地震、東南海地震、南海地震などの海洋型巨大地震により、長周期地震動が励起されて、東京、名古屋、大阪などの大都市圏に数多く立地している超高層建物の応答が非常に大きなレベルで長時間続くことが懸念されている。大都市域でこれまでにない勢いで超高層建物の建設が進む中で、長周期地震動に伴う大振幅かつ長時間の揺れに対する室内の安全対策を推進することは、我が国にとって緊急の課題である。

本研究では、リニアモーター駆動による低騒音かつコンパクトな 2 次元の床応答を再現する室内シミュレータの開発を行い、心理学的な観点に配慮した振動台実験を行う。並行してコンピュータシミュレーションにより実験では危険な家具の移動・転倒状況などをビジュアルに表現する。これらのことを通じて、長周期地震動に対する室内安全の検証、住民の心理の把握、さらには新たな設計規範の確立と住民への啓発活動などが成果として期待される。

## 2. 研究の目的

研究代表者らは 2009 年度までに、ワイヤーと滑車を用いた簡易な大ストローク振動台を用いて、強震時の屋内居住者の避難行動限界や家具の挙動について研究してきた。より実際の状態に近い実験を行うためには 2 方向に加振・制御する必要性を痛感しており、本研究では常伝導リニアモーターを用いた簡易な制御機構を開発する。この振動台を用いて強震に対する室内安全性の検証と新たな設計規範の提案を行うことが本研究の目的である。本研究では、人間の側から見てどの程度の揺れであれば許容できるのか、という視点に立って設計規範を考える。

## 3. 研究の方法

### (1) リニアモーター駆動による 2 次元簡易振動台の開発

リニアモーターの利用により通常のサーボモータに比べて高さを抑えることができるので、装置全体の転倒モーメントの低減にも効果的であり、地下ピットを設ける必要もなく、既存の実験室に設置可能であるなどの利点が考えられる。

### (2) 室内の揺れに対する人間行動と知覚限界に関する検討

研究代表者らの従来の実験では、実験室環境におかれた振動台から見える風景は実験室の内壁であり、一般的な室内とは呼びがたいものであった。本研究ではあらかじめ作成しておく強震時の室内状況再現 CG ムービーを、短焦点プロジェクタを用いてスクリーンまたは衝立に投影させ、床応答と同期させることにより、被験者に擬似的に地震時の室内状況を体験させることを試みる。実際にそのような状況下で揺れの怖さをどのように感じるのか、脈拍や呼吸、動き、さらには事後のアンケート調査などを通じて明らかにしていく。

### (3) 人間行動と知覚限界に基づく設計規範の提案

従来、建築物の設計規範は主たる荷重、即ち一般の建物においては地震時に対して、建築物の供用期間に稀に起きるような地震に対してはほぼ健全であり、ごく稀に起きるような地震に対してはある程度の損傷は許容するが人命は守る、という、構造物側の損傷を主眼においてきた。阪神淡路大震災以降、財産も守るべきであるという議論や、避難行動限界の揺れを探る研究などが行われ、研究代表者らのこれまでの研究もその流れにある。

本研究ではもう一步踏み込んで、人間の側から見てどの程度の揺れであれば許容できるのか、という視点に立って設計規範を考え

る。この背景としては、BCP (Business Continuity Plan: 事業継続計画) などの議論が盛んになり、地震経験後も建物は継続的に使われることが半ば前提となりつつある時代をにらんだものである。

## 4. 研究成果

### (1) リニアモーター駆動による 2 次元簡易振動台の開発

2010 年度に仕様策定・入札を経て、年度末に建築工学実験棟に確保した設置スペースに表記振動台が納品された。ただ、実験を行うためには運転のノイズが大きく、運転プログラムの改良を含むチューニングが必要であることが明らかになった。(写真 1)



写真 1 納品直後の振動台の様子

当初は位置センサーの不具合やモーターノイズの影響などさまざまな可能性を検討したが、最終的にはリニアモーターのゲインを適切な値に設定することで、狙いどおりの周波数と振幅を確保することができる、という結論を得たので、この経過を日本地震工学会と日本建築学会の大会に報告した。(発表論文 3), 2))

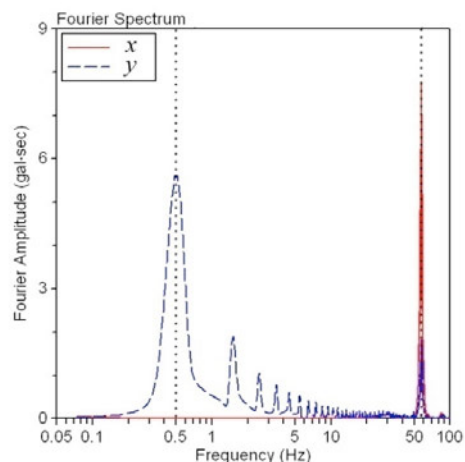


図 1 運転調整の過程で発生したノイズ

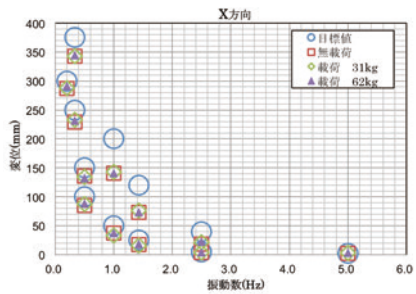


図2 第1次ゲイン調整後のx方向加振

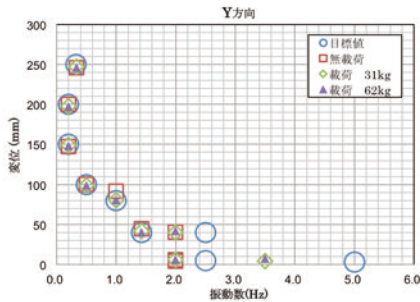


図3 第1次ゲイン調整後のy方向加振

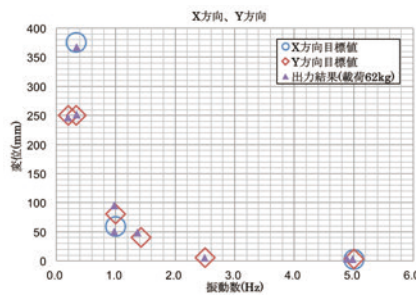


図4 最終的ゲイン調整後の周波数と変位

図2ならびに図3はゲインを一律に半分にした第1次ゲイン調整後の加振の様子だが、ノイズは解消したものの、x方向では変位が目標値に達せず、y方向では振動数が目標値に達していないことがわかる。結局、try and errorで最適なゲインを求め、図4のようにほぼ目標値を再現することができるようになった。以上のような調整を経て、2011年度末までにほぼ予定どおりの加振を行えることを確認した。(写真2)



写真2 試験加振の様子

(2) 室内の揺れに対する人間行動と知覚限界に関する検討

以上のような調整を踏まえ、2012年の夏に強震時の人間の不安度を定量化する実験を行った。



写真3 実験の様子

実験は振動台の木製の床の上に椅子とスクリーンを固定し、被験者が椅子に座った写真3のような状態で行った。被験者のかぶるヘルメットと振動台に加速度計を取り付けた。被験者は19名、1人当たり71種類の周波数・速度・加振方向の違う正弦波を入力した。波の加振方向はX, Y, O, 8, ∞の5種類である。図3には例として加振番号38番と50番の振動台の動きを座標に示している。加振派の順番はランダムとし、1波が終了するごとに不安度・行動不可能度・加振方向による感覚の違いに関するアンケートに答えてもらった。

またヘルメットと振動台に設置した加速度計によって頭部と振動台それぞれの加速度、速度、変位を測定し、実験の様子全体をビデオカメラで記録した。

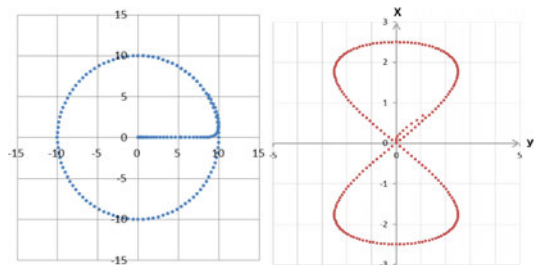


図5 加振波の例(振動台の変位)

アンケート結果と加速度計のデータをもとに集計し、各加振方向で周波数ごとに分け、横軸に速度、縦軸にアンケートの評価値、人数をバブルの大きさで表したグラフを作成した。また、重み付き最小2乗法による近似直線(切片≠0)を使って、バブルグラフの近似直線を求めた。不安度のバブルグラフと近似直線を重ね合わせたグラフの一部を図6に示す。

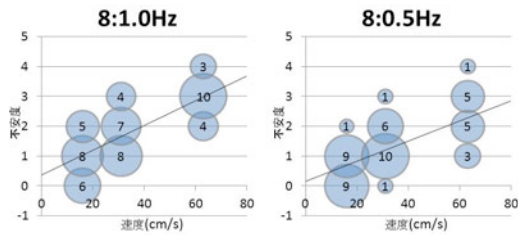


図6 不安度の実験結果

この図を一覧すると、固有周期が長くなるにつれて、近似直線の傾きが概ね小さくなっていくのが見て取れた。そこで、図6に示す回帰直線で値を代表させ、固有周期を横軸に取ったトリパーティット図に示すと例えば図7、図8のようになった。

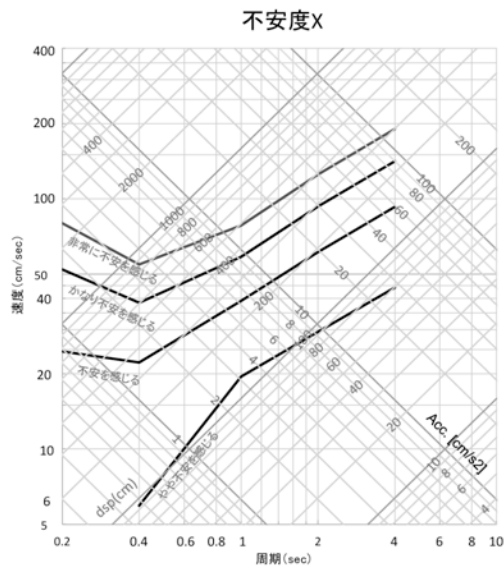


図7 x方向加振に対する不安度

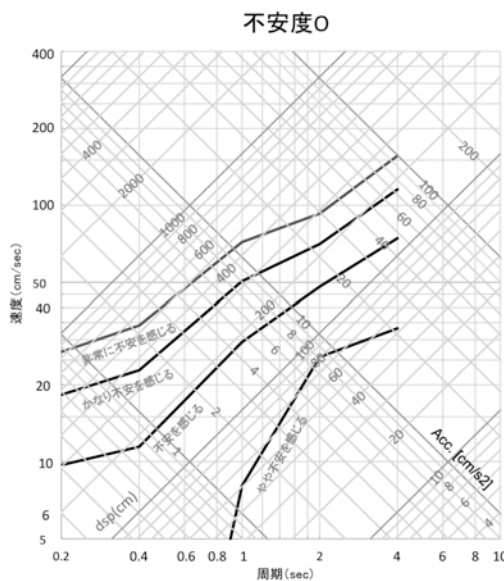


図8 O形加振に対する不安度

従来の筆者らの研究で得られている1次元の結果と比較すると、従来の1方向の起立・歩行動作の評価曲線よりも、今回行った座った状態の評価曲線の方が全体的に低いレベルの加振に対して同程度の不安を感じていると評価される結果を得た。一方、今回の実験の中での1次元加振と2次元加振に対する結果を比べてみると、図7と図8の違いに見られるように、部分的には短周期成分でより2次元の影響が顕著であるように見える。ただし、様々な加振方向(O, 8, ∞)と1次元(X, Y)の違いはそれほど明瞭ではなかった。振動台の制御方法の影響が出ている可能性もあり、今後の課題として残される結果となった。

(3) 結論として、今回の研究のみから設計規範を提案するには至らなかったが、その端緒となる成果は得ることができたと考えている。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計3件)

- 1) 木村 銀河, 渡邊 陽彦, 高橋 徹: 振動台実験による2次元振動に対する不安度の定量的把握, 日本建築学会大会, 2013年8月30日, 札幌 (発表確定)
- 2) 渡邊 陽彦, Pham Cao Phong, 片田 匡貴, 高橋 徹: X-Y スライダ式簡易振動台の性能試験, 日本建築学会大会, 2012年9月12日, 名古屋
- 3) 高橋 徹, Pham Cao Phong, 渡邊 陽彦, 片田 匡貴: リニアモーターを用いた簡易振動台の開発と性能試験, 日本地震工学会大会 2011, 2011年11月12日, 東京

### 6. 研究組織

#### (1) 研究代表者

高橋 徹 (TAKAHASHI TORU)  
千葉大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号: 10226855

#### (3) 連携研究者

齊藤 大樹 (SAITO TAIKI)  
豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号: 00225715

中村 友紀子 (NAKAMURA YUKIKO) (H. 24)  
千葉大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号: 2031354

宗方 淳 (MUNAKATA JUN)  
千葉大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号: 80323517