

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 30 日現在

機関番号：12608

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23656337

研究課題名（和文） 相似則を克服する縮小模型振動台実験方法

研究課題名（英文） New method of reduced scale shaking table test to conquer law of similarity

研究代表者

山田 哲 (Yamada Satoshi)

東京工業大学・応用セラミックス研究所・准教授

研究者番号：60230455

研究成果の概要（和文）：小型模型振動台実験において相似則を克服するためには、試験体に対して鉛直方向に大きな力を加えなければならない。そのためには、遠心載荷装置など、大がかりな装置が必要となる。本研究では、通常の実験室で、小型模型試験体を用いて、現実的な固有周期帯で倒壊挙動を再現する実験を行うために、上下方向を反転させた倒立振動台実験という新しい実験方法を提案し、実際に実験を行い有効性を検証した。

研究成果の概要（英文）：

In order to conquer law of similarity in a reduced scale shaking table test, gravity must be amplified. To amplify gravity, it is necessary to use centrifuge. In this study, new concept of reversed shaking table is proposed. Main feature of this experimental method is set up a specimen upside down. As a result, not only realizing shaking table test with real time scale, but also setup is stabilized.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,300,000	690,000	2,990,000

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：鋼構造・実験方法・倒壊・相似則・振動台実験

1. 研究開始当初の背景

地震時の建物の倒壊挙動を把握することは、建物の安全性を評価する上で重要である。建物の倒壊現象を検証するには、実大の建物に対する振動倒壊実験を行うことが最も有効な方法である。しかし、実大実験は試験体の作製に多大な労力とコストが必要であり、加振を行う振動台も限られてしまうため容易に行うことはできない。一方、小型模型による実験は容易に行うことができるが、試験体の自重が軽いため重力による P-Δ 効果の影響が実際の建物に比べて小さくなる、部材も小型になるため接合部や断面の性能が異なる、小型試験体の固有周期に合わせて入力地震波の時間軸を修正することで非常に高

速での加振となり特殊な装置が必要となる、などの問題がある。

2. 研究の目的

小型模型実験において相似則を克服するためには、試験体に対して鉛直方向に大きな力を加えなければならない。そのために試験体の重量をただ増やすのでは、水平方向の抵抗能力と鉛直方向の抵抗能力のバランスの変化や固有周期の設定に対応することができず、鉛直荷重の影響を反映した現実的な実験を行うことはできない。そこで、鉛直方向の負荷のみ別の手段で加えることになるが、一般的な振動台を用いて行うには様々な問題があり、実施が困難である。本研究では、

上下方向を反転させた倒立振動台実験という新しい概念を導入することで相似則を克服する。

3. 研究の方法

小型模型試験体は自重が軽いため、図1に示すように鉛直荷重が過小となり倒壊させることができないが、単純に鉛直荷重を増大させただけでは図2に示すように試験体が不安定になり、設置が困難になる。そこで今回、この問題を克服するため、図3に示す実験システムを開発した。倒立した状態で設置した試験体にワイヤーロープを取り付け、他端には滑車を介してカウンタウェイトを繋ぎ、カウンタウェイトからの荷重を鉛直荷重として入力する。試験体を固定する台はカウンタウェイトを繋いだワイヤーロープとの接触を避け、アクチュエータと連結する。このシステムでは、水平方向の慣性力や固有周期などを変化させずにカウンタウェイトの入れ替えによって鉛直荷重の大きさを自由に設定することができ、試験体の上部スペースを利用して試験体から滑車までの高さを設けることで、試験体の変形してもカウンタウェイトからの力をほぼ鉛直に保持することができる。また、試験体を治具から吊り下がった状態でセットアップするため、安定した状態で設置が可能である。今回の実験で使用した試験体は、図4のように慣性質量を4本の柱で支持する1層1スパンの骨組である。実験を容易に行うために試験体の部品は手で運べる程度の重さとした。試験体高さは300mm程度とし、慣性質量は1枚20kg程度の鋼板をPC鋼棒で緊結することで約100kg～140kgとしている。P- Δ 効果による倒壊挙動を再現するため、試験体の接合部は小型クレビスを用いて剛性0のピン接合部とし、剛性は骨組とは別の剛性要素によって与える。すなわち試験体は、剛性要素と慣性質量を変化させて試験体の固有周期を実大の建物と同程度にすることができるため、入力地震波は時間軸を修正せずに使用できる。骨組と剛性要素の連結には、ロッドエンドとネジ棒を使用し、それらを介して剛性要素へ力を伝達する。試験体を固定している土台の鋼板には300mm×100mmの孔が開けられており、この孔を通るワイヤーロープで慣性質量とカウンタウェイトが繋がれている。倒壊時の衝撃からアクチュエータを保護するため、試験体の左右にストッパーを設置した。

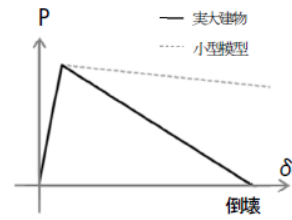


図1 P - Δ 効果の違い

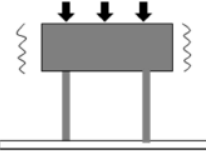


図2 不安定な試験体

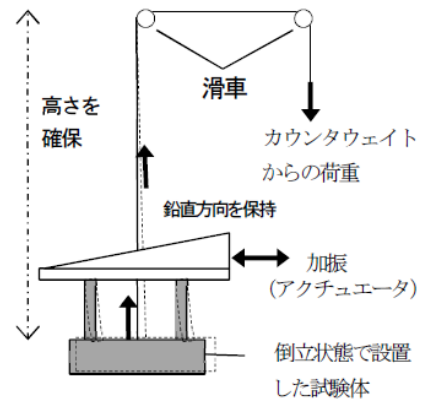


図3 倒立振動台システム

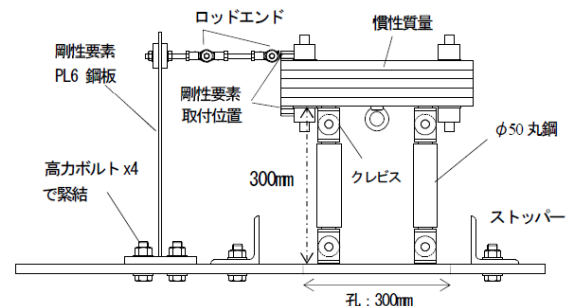


図4 試験体

4. 研究成果

セットアップを図5に示す。加振実験は2000kN 動的アクチュエータを用いて行った。試験体は倒立状態で治具に取り付け、治具とアクチュエータ加力ブロックをPC鋼棒で一体化した。計測は、治具と試験体の絶対加速度と水平方向の絶対変位をそれぞれ加速度計とワイヤー変位計によって計測し、試験体の鉛直方向の絶対変位はレーザー変位計で計測した。さらに剛性要素に加わる力を把握するため、剛性要素に歪ゲージを添付した。なお、歪ゲージ以外の計測機器は、試験体のねじれの検出と計測漏れを防ぐために、加振

方向に対して左右対称の位置に2点ずつ設置し、平均値を使用した。

加振は、自由振動により計測機器の動作確認、および各試験体の固有周期と減衰を計測してから、入力倍率を変化させて観測地震波(1995年兵庫県南部地震神戸海洋気象台記録NS成分など)時間軸を変えずに入力した。

実験結果であるが、試験体の荷重変形関係を図6に例示する。図中の δ は、治具と試験体の水平変位から求めた相対変位であり、 Q は水平せん断力 Q_h に $P-\Delta$ 効果により生じるせん断抵抗力を考慮した値である。提案した実験方法により、小型模型を用いた振動倒壊実験が、通常の実験装置により実現できたことがわかる。なお、自由振動により計測した剛性を変化させた各試験体の固有周期は0.4秒から1.24秒と、実大の鉄骨造建物と対応しており、小型模型を用いて実時間軸に則した振動倒壊実験方法を確立するという目的は達成できた。

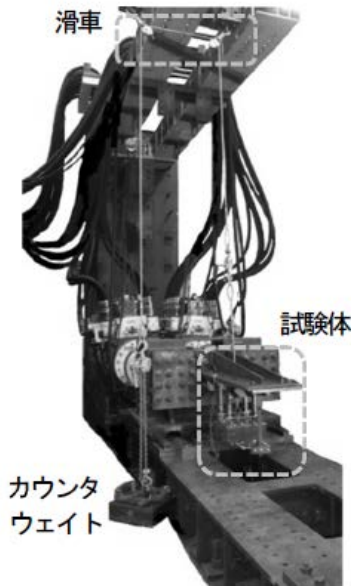
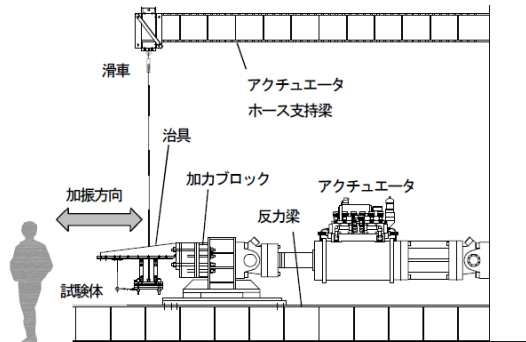


図5 セットアップ

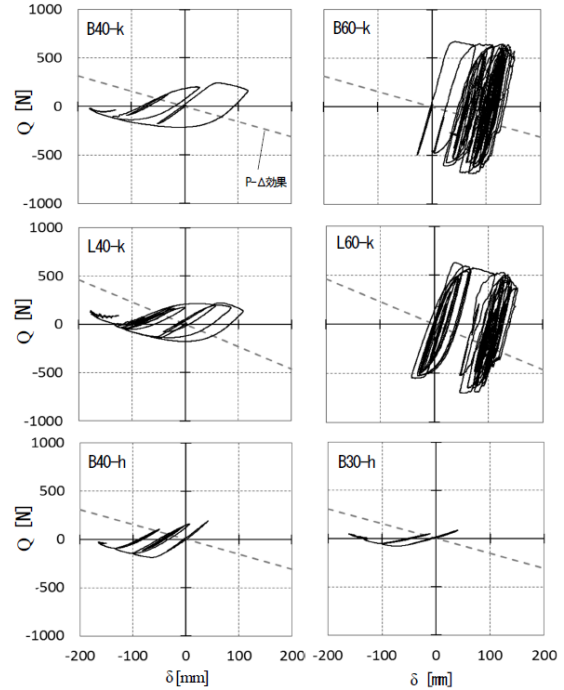


図6 実験結果(荷重-変形関係)の例

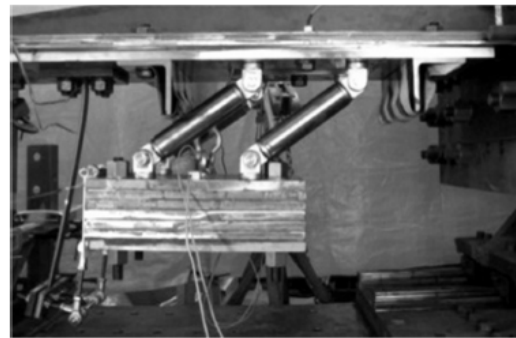


写真1 倒壊した試験体

小型模型により実時間軸に則した振動倒壊実験方法を提案し、加振実験により有効性を検証した。提案した方法の概要と、得られた成果を以下にまとめる。

- (1) 試験体の固有周期を支配する慣性質量と、 $P-\Delta$ 効果を支配する鉛直重量を分離することで、縮小模型でも固有周期が実大の建物と対応するとともに、 $P-\Delta$ 効果による倒壊挙動も再現できるようにした。
- (2) 振動台のテーブルと試験体を上下逆転させて設置し、鉛直荷重は装置外部から天井付近に設置した滑車を介して作用させた。このセットアップ方法により、加振時に大きな重力相当の鉛直荷重を安定的に作用させることができるだけ無く、試験体設置時には重力により試験体は安定する。

(3) 提案した方法による振動倒壊実験を実施し、小型模型を用いた実時間軸に則した振動倒壊実験が、通常の実験装置により実現できることを検証した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計2件)

- ① 高橋健太, 島田侑子, 山田 哲: 倒立振動台による鋼構造小型模型の倒壊実験, 2012年度日本建築学会関東支部研究報告集, CD-ROM, 2013年3月
- ② 高橋健太, 島田侑子, 山田 哲: 倒立振動台による鋼構造小型模型の倒壊実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, CD-ROM, 2013年8月

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山田 哲 (Yamada Satoshi)
東京工業大学・応用セラミックス研究所・
准教授
研究者番号: 60230455

(2) 研究分担者

島田 侑子 (Yuko SHIMADA)
千葉大学・工学(系)研究科(研究院)・助
教
研究者番号: 90586554