

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 6 日現在

機関番号：12608

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25630229

研究課題名(和文) 地盤変状が建物の震動被害に与える影響を解明するための実験方法

研究課題名(英文) Experimental method for the investigation of effect of ground deformation on the seismic damage of building structures

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・教授

研究者番号：60230455

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、地盤変状が上部構造の地震時における損傷過程に与える影響を追跡することを目的とする。上部構造ならびに基礎構造・地盤の弾塑性挙動を模擬した小型模型振動台実験を行い、併せて数値解析による検討を行う計画であった。研究機関の中で、限られたパラメーターではあるが、上部構造の地震時における損傷過程を再現できる小型模型を構築できた。一方、地盤変状を再現する要素については、研究期間の中で製作できなかった。地盤変状を再現する要素の構築については、数値解析と併せて引き続き検討を進めていく。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to investigate the effects of ground deformation on the damage processes of upper structure under severe earthquake. Shaking table test using scaled model of upper structure, foundation and ground which can simulate elastic-plastic behavior of components was planned to carry out. Among the research plan, shaking table test of upper structure which simulate realistic elastic-plastic behavior of structural and non-structural components using reduced scale model was achieved. On the other hand, elements for reduced scale model for shaking table test which can reproduce the realistic ground deformation could not be produced within the study period. We will continue studying in conjunction with the numerical analysis.

研究分野：建築構造・材料

キーワード：模型実験 振動台実験 上部構造 弾塑性挙動

## 1. 研究開始当初の背景

大地震時には、建物のみならず建物が建つ敷地地盤も震動被害を受ける。申請者らは文部科学省の依頼により、東日本大震災において被災した216棟の鉄骨造文教施設について被害調査を行ったが、津波被害を除く震動被害を受けた172棟の施設の約半数の建物周辺において、沈下や地割れなどの地盤変状が観察された。建物の震動被害への地盤・基礎の影響については、これまでも地盤・基礎・上部構造連成系の応答解析などが行われており、建物と地盤の相互作用など多くのことが明らかにされているが、沈下や地割れなどの地盤変状と、そこに建つ建物の震動被害の関係については良くわかっていない。

## 2. 研究の目的

本研究では、建物敷地地盤における沈下や地割れなどの変状が、建物の弾塑性応答・終局耐震性能に与える影響について、地盤と建物双方について、非線形挙動や破壊を反映できるモデルを用いた振動台実験方法を構築し、地震波入力による加振実験を通して地盤変状の有無と建物被害との関連について検討を行うことを目的とした。併せて、地盤変状や上部構造の塑性化や破壊を考慮したモデルを組み込んだ地盤・基礎・上部構造連成系の応答解析プログラムを作成し、振動台実験結果によるキャリブレーションを行った上で、実際の地盤条件と建物の被害状況との関係についての検討を可能にすることも目指した。本研究の特徴は、地盤・基礎・上部構造連成系の挙動の中でも、地震時における地盤変状と上部構造の被害の関係を解明するための実験手法を確立するという点にあり、研究期間中に地盤、建物それぞれの被害状況を模擬した実験を行い、更に連成した系での実験及び解析プログラムを作成することで、実際の被害状況を再現し被害要因を把握することを目指した。

## 3. 研究の方法

本研究では、地盤変状と上部構造の非線形挙動を同時に再現し、建物の足元に必ず存在する地盤が地震時に沈下あるいは崩壊するような場合に、建物の耐震安全性にどのような影響があるかを把握するため、地盤・基礎構造、上部構造のそれぞれを特性が明らかな弾塑性バネ、粘性バネ等を組み合わせたモデルでモデル化し、これらを用いた振動台実験を行う。崩壊を伴う複雑な挙動をバネの組み合わせで再現することで、個々の要素の挙動が全体に与える影響を把握することを目的とする。併せて地盤・基礎構造・上部構造連成系の非線形応答解析プログラムを作成し、モデル実験で再現しきれない現実的な地盤・建物の挙動を反映した解析を行い、地盤変状によ

る建物の耐震性能への影響を検討する。

## 4. 研究成果

### 4.1 地盤変状を模擬した小型振動台実験用模型

敷地地盤における沈下や地割れなどの変状を模擬した地盤要素についての、小型振動台実験用模型については、既往研究を参考に複数のバネをバネ端部のフックを引っ掛け合うことで構成した三次元格子を基本形状として考えた。しかしこの構成では地割れというバネ構造体が部分的に破壊することが再現することが難しい。そこで、バネとバネを繋ぐ際にバネ端部のフック同士を引っかけるのではなく、ある程度の衝撃で外れることが可能となるようなバネの接続方法と外れる条件について検討した。検討においては図1にあるように、バネの端部に磁石をとりつける方法A、小さい木片を介してその間を樹脂の摩擦で付ける方法B、マジックテープで取り付ける方法Cをバネの接続方法として設定した。方法Aについては、磁石のN極とS極でバネ同士を接続する方法であるが、磁石の自重によりバネの伸縮が想定通りにならないこと、重量を軽くすべく小さな磁石を使ってもバネの力より磁力の方が強いこと、バネ同士が離れるような動きを生じさせることはできなかった。方法BとCについてはバネの端部に軽い木片を付けることでバネの伸縮を妨害せずにバネ同士を接続できるようにしたものである。方法Bでは木片の表面にエポキシ樹脂系の接着剤を薄く塗布し、乾いた後に樹脂面同士を接触させる方法であるが、均一であり厚くせず塗布することが難しいため、個々のバネ接続部によってバネの付き方・離れ方にばらつきが見られた。方法Cでは一対のマジックテープを小さく切って木片の表面に貼る方法であり、比較的安定して接続できていた。しかし、マジックテープを外す際には少なくとも片方の面で生じるわずかなしなり、またバネの力とマジックテープの大きさ、表面の粗さとの相関関係などを明らかにする必要がある。この点について試行錯誤を繰り返したが、明確な傾向がみられなかった。このように、地割れを再現するためにはバネ同士が付いたり離れたりするのが明確に制御できる方法が必要であり、特に離れ方については今後も詳細な検討が必要である。

### 4.2 上部構造の建物被害を再現する小型振動台実験用模型

地盤変状が上部構造に与える影響を検討する上では、上部構造について、構造・非構造の弾塑性挙動が模擬できる小型模型が必要となる。上部構造の地震による被害を再現する小型振動台用模型試験体については、要

素レベルでの試行錯誤を経て、図2に示す4本柱1層1スパンの鉄骨造架構を基準試験体として製作した。基準試験体のスパンは1300mm×800mm、鋼板を利用した上部の錘の質量は784kgとし、柱は板厚9mm幅32mmの鋼板(SS400)を可撓長さ600mmとして用いることで、系の固有周期を中低層鉄骨造建物の固有周期帯にある0.56秒とした。

実験では、基準試験体にブレースや非構造部材を模擬した壁等を取付ける事で、構造要素、非構造要素の各要素の挙動の再現を目指した。要素取付け後の試験体を図3に例示する。図3(a)は引張力が作用したときにのみ抵抗する筋交いを取付けた。筋交いは剛性調整のため中間に設置したアルミ材が曲げ降伏する事で抵抗する。図3(b)ならびに(c)は非構造壁を模擬し、2mmのラワン合板および塩化ビニル製の波板を取付けた。また、非構造壁の取り付けには、直接ボルトで接合する場合、板材に隙間を設けウレタン系のシーリング材を充填する場合、壁の上下隅部でロッキングを抑制する場合について検討を行った。

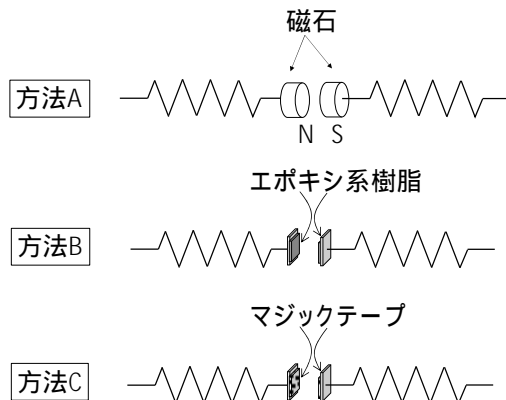


図1 地盤要素モデルの検討例

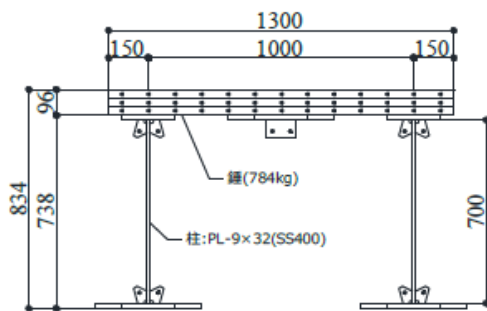
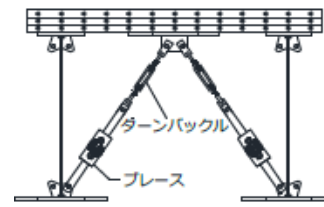
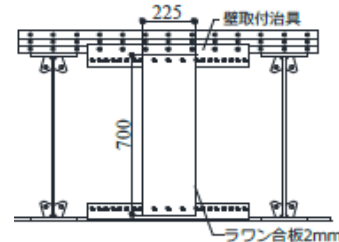


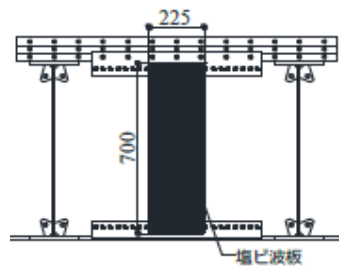
図2 基準試験体(フレーム)



(a) ブレース



(b) ラワン合板 2mm



(c) 塩ビ波板

図3 上部構造模型試験体の例(要素付)

小型模型振動台実験の実施にあたっては、50kN 動的アクチュエーターに平行移動装置と反力床を取り付け、振動台を製作した。実験のセットアップをセンサーの配置と併せて図4に示す。加速度計は振動台上に2台、錘上に2台を並列に計4台設置した。加速度計の特性は、定格容量±2G、定格出力0.5mV/V以上、応答周波数特性DC~60Hz、サンプリング周波数100Hzである。変位計測には、ワイヤー式変位計を用い、振動台および錘の変位計測用に各2台、錘の上下移動計測に2台の計6台を配置した。さらに、柱に作用するせん断力とブレースに作用する軸力を計測するために、歪ゲージを貼付した。

実験結果の例を図5に示す。試行錯誤の結果、限られたパラメーターではあるが、中低層鉄骨造建物における構造要素、非構造要素の弾塑性挙動を、実際の固有周期と近い周期で再現できる小型模型が製作できた。

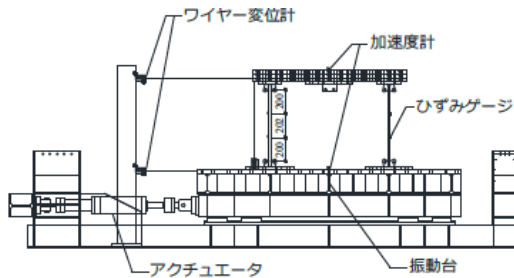
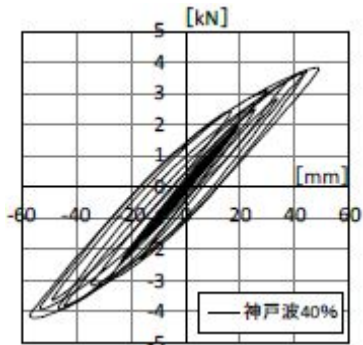
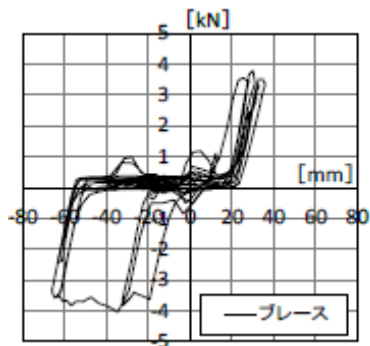


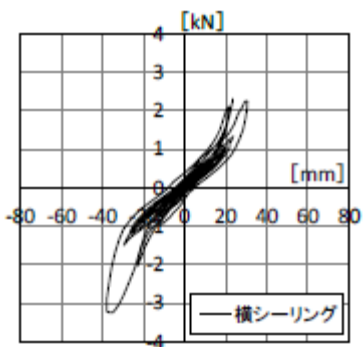
図4 上部構造模型振動台実験  
セットアップ



(a) フレームの挙動(基準試験体)



(b) 取り付け部材(ブレース)の挙動



(c) 取り付け部材(ラワン合板  
+横シーリング)の挙動

図5 実験結果の例

#### 4.3 まとめ

地盤変状が上部構造の地震時における損傷過程に与える影響を追跡するための小型模型振動台実験を行い、併せて数値解析による検討を行う計画の中で、限られたパラメータではあるが、上部構造の地震時における損傷過程を再現できる小型模型の製作まではできたが、地盤変状を再現する要素については、研究期間の中で製作できなかった。数値解析については、上部構造のみであれば追跡可能であるが、肝心の地盤変状を再現するところが、模型製作と併せて今後の課題となる。科研での研究期間の終了後も、引き続き検討を進めていく。

#### 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)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 0 件)

〔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〕

ホームページ等

#### 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・教授

研究者番号：60230455

##### (2) 研究分担者

島田 侑子 (SHIMADA YUKO)

千葉大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：90586554