

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 5月 27日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22360234

研究課題名（和文） オイルダンパと滑り基礎を併用する軽量低層住宅の耐震性能検証実験と耐震計算法の構築

研究課題名（英文） Experimental and analytical study on seismic performance of low-rise light houses consisting of sliding base and oil dampers

研究代表者

曾田 五月也（SODA SATSUYA）

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：70134351

研究成果の概要（和文）：

軽量低層建築物を対象として、地盤上のべた基礎上面に超高分子量ポリエチレンシートを敷き、その上に上部構造用基礎を設置する事で、大地震時には基礎の滑りにより免震に準じた効果を発揮する一方で、小地震時や強風時には、上部構造内に設置するオイルダンパによる制振効果を活用する構造システムを考案した。実験的・解析的な検討を通じて、過酷な地震動の作用に対しても上部構造の変形・加速度を地震直後から建築物の継続使用を可能とする範囲に収めることが可能なことを実証した。

研究成果の概要（英文）：

We developed a new earthquake resistant hybrid system for houses consisting of a mat foundation, a sliding base and an upper structure with oil dampers. It works as a base-isolated system when ground motion is extremely strong. Under minor ground motions or strong wind, the base does not slide but oil dampers work to decrease vibration of upper structure. By shaking-table tests and numerical analyses, it is confirmed that deflection as well as acceleration can be decreased, making it possible to make use of the house even soon after a severe earthquake.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
2011年度	3,200,000	960,000	4,160,000
2012年度	6,300,000	1,890,000	8,190,000
年度			
年度			
総計	13,100,000	3,930,000	17,030,000

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：過酷地震動、損傷制御、オイルダンパ、滑り基礎、戸建低層住宅、木造、薄板軽量形鋼造、振動台実験

1. 研究開始当初の背景

(1) 1995年阪神淡路大震災における死者総数の約8割が戸建住宅の倒壊による圧死であったことより、今後の都市の防災体制の向上のためには低層戸建住宅・共同住宅の耐震性能をレベルアップすることが急務であった。

(2) 免震構法を適用すれば、建物に生じる最大加速度応答を 200cm/s^2 以下に収めることも可能であるが、軽量低層住宅を対象にしては、コスト高であることを主な要因として、同構法が十分には普及していないのが実情であった。

2. 研究の目的

以下の項目を主な目的とした。

- (1) 応答最大加速度の低減効果を若干犠牲にしながらも住宅の強地震動に対する変形や加速度の低減効果を十分に発揮する簡易な仕組みとして、事項に記す免震機能と制振機能をハイブリッド化した耐震構造システムを実現すること。
- (2) システムの実用性を裏付けるために個々の技術要素の安全性・耐久性も含め、さらに詳細を詰めると共に、滑り基礎構造の基本である摩擦振動系が不規則外乱を受ける際の最大滑り、残留変形、振じれ滑りに関する理論的な検討を実施した上で、その妥当性を可及的に大きな建物のモデルを用いた振動台実験により検証すること。
- (3) 上部構造にオイルダンパも設置する提案構造システムに対して、限界耐力計算を基礎とする合理的な耐震計算法を整備し一般化すること。
- (4) 本構造システムの対象とする上部構造に適した高靱性・高減衰の軽量構造システムを開発する事。
- (5) 本構造システムの安全性を詳細に検討するためには、時刻歴応答計算を併用することが不可欠であると想定されることより、上部構造の復元力特性のモデル化、基礎の摩擦滑りを考慮した地震応答解析法のアルゴリズム、応答計算で用いる減衰定数の妥当な値の設定法などについても明らかにする。

3. 研究の方法

- (1) 図1に示す通り、提案する構造システムは下部より上部に向かって免震機構と制振機構とを直列に組み合わせて構成される。個々の技術要素の多くに関しては、小型モデルを用いてその適用性を確認している。本研究では、はじめに申請者による既往の研究成果を理論的な側面より見直して、提案する構造システムの基本原理の正しさと性能の再現性を検証するための小型モデルによる実験を追加実施する。

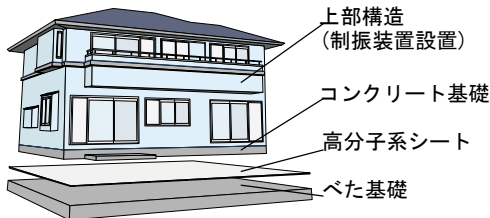


図1 滑り基礎構造 システム概略図

- (2) 構造の実地震時挙動を正確に模擬する解析的な手法を確立すること、一般的な構造設計者が利用する建築基準法施行令に記された各種耐震計算法による耐震設計に関わる諸問題への対応方法を明示すること、等々の

ソフト面での対応を順次行い、最終的に実大建物の振動台実験により滑り基礎構造の有用性・安全性を立証する。なお、

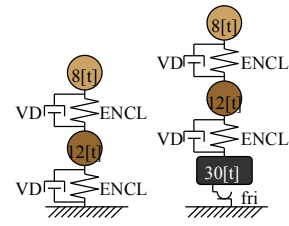


図2 解析モデル

初年度の研究

内容の多くは

本研究の対象全年度にわたり継続的に行う。

- (3) 木造2層戸建住宅を対象に、基礎固定時と滑り基礎構造適用時の地震応答性状を比較することで、滑り基礎構造の地震応答低減効果を定量的に評価する。図2に解析モデルを示す。同図中の記号は、VDは減衰性能を表すダッシュポット、ENCLは上部構造の復元力特性を代表する拡張NCLモデル、friは滑り基礎面を代表する摩擦要素である。入力地震動には、これまでに国内で観測されたもののうち、半サイクル最大入力エネルギーを換算した等価速度の最大値が150[cm/s]以上の地震動(過酷な地震動)23波を用い、これら地震動の作用に対しても提案する構造システムが目標とする性能を発揮できることを検証する。

4. 研究成果

- (1) べた基礎と上部滑り基礎との間に設ける滑り材の選定と、同滑り面の摩擦係数に関する種々の実験的な検討より、摩擦係数の最適値は0.2程度であると策定した上で、図2左に示す通常建物モデルおよび同図右の滑り基礎モデルそれぞれの基本的な地震応答性状を比較検討をした。滑り基礎適用時にはいずれの地震動に対しても上部構造の変形を安全限界変形角以内に抑えられることがわかった。一方、滑り基礎の最大滑り変位量は、一般的な住宅用免震構造の建物周辺クリアランスとして30~40[cm]程度が考えられるのに対して、過酷な入力地震動によっては過大な滑りを生じる可能性のあることが認められた。
- (2) 上記の過大な滑り変位防止対策としてゴムブッシュをストッパー(以下、ストッパー)として利用する効果を確認した。はじめに解析により適正なクリアランスを推定し、次いで振動台実験によりストッパーを設置することが効果的であることを検証した。
- (3) 初年度に実施した振動台実験により過酷な地震動が作用する場合に滑り基礎がべた基礎上でロッキングする現象が認められた為、2年度目の実験では基礎周辺に基礎底面の浮き上がり対策としてアブソーバを設置する効果を振動台実験により検討した。アブソーバを設置することにより、滑動開始時

の浮き上がり加速度が著しく低減され、衝突時の浮き上がり加速度も3割程度低減されることが認められた。

(4)当初は滑り基礎の施工方法として、超高分子量ポリエチレンシート上で通常の型枠を組みコンクリートを打設することを想定していた。その後、小型滑り基礎の製作・加振実験により、滑り面ではポリエチレンシートとコンクリートとの間に僅かな接着力が生じて、初期の滑り出し荷重が想定荷重を上回る現象が認められた。そこで、新たに、ポリエチレンシート上に組んだ木製型枠の底面に片面が極めて平滑なプレキャストコンクリートの小部材を平滑面を下に敷き詰め、その上にコンクリートを打設する方法を試みた。この方法は摩擦の安定化に有効であるとともに施工手順も容易であることから工期短縮にも有効であることが分かった。

(5)一般的な戸建て住宅には2層住宅が多い事より、2年度目の実験では2層モデルの振動を模擬する疑似建物モデルを構築し、振動台実験を実施した。基礎の滑り変位時刻歴に注目すると、上部1層および上部2層模擬両試験体の応答は概ね一致しており、上部構造の層数によらず滑り基礎は極めて安定した滑りの性状を示すことを確認した。上部構造の変形に関しては、変形が大きくなる一層の変形についてはモデルの違いによっても大きな差は無いことがわかる。各階の加速度応答に関しては、2階床では両試験体の応答が概ね一致するのに対し、2層を模擬した試験体の屋根階加速度が1層試験体の屋根階加速度を上回っており、上部構造の層数によって異なる応答性状が見られたことより、一連の解析による検討を加えた。

(6)はじめに、実験結果と解析モデルによる結果との整合性を確認した上で、解析により、上部構造に付加する粘性減衰の適正量につき検討した。ダンパの無い場合に変形が集中する傾向にある弱層に関しては、その階の粘性減衰を割り増すことにより各層の変形量を均一化できることが認められ、且つそれにより応答加速度が増加するような負の効果の無いことを確認した。このような特性は滑り基礎構造の非常に優位な点であり、実用化に向けた極めて好ましい特性であると認められる。

(7)滑り基礎を適用する低層の戸建て住宅につき、本研究では木造および薄板軽量形鋼造を検討対象とした。木造に関してはオイルダンパの設置効果の検証、薄板軽量形鋼造については高靱性・高減衰のための具体的な構造詳細を検討した。後者では、構造特性係数を0.25(応答計算による評価では0.23)に低減できる構法を新規に考案した。

(8)今回の一連の研究では、提案する構造システムが作用を受けるであろう地震動とし

ては、入力エネルギーが建築基準法で最低限として想定している地震動の5-10倍にも達する既往の記録を「過酷な地震動」として採用している。このような地震動レベルを策定するためには、申請者が以前より提案していたVDRSフォーマットによる入力および吸収エネルギーの評価が有効であることも明らかにしてきた。

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2件)

- ① 宋成彬、曾田五月也、エネルギー応答に基いた木質構造物の減衰機構の評価、日本建築学会構造系論文集 Vol. 78 No. 686, pp. 825-332, 2013年4月、査読有り
- ② 宮津裕次、曾田五月也、方杖型圧効きオイルダンパを設置した木造軸組の力学モデルの構築、日本建築学会構造系論文集 Vol. 76 No. 660, pp. 363-370, 2011年2月、査読有り

[学会発表](計36件)

- ① 曾田五月也、上倉理香、小田観世、秋津貴章、実用的滑り基礎構造に関する研究(その1、異なる施工法による基礎の滑り性状)、日本建築学会大会(北海道)、2013年8月
- ② 曾田五月也、上倉理香、小田観世、秋津貴章、実用的滑り基礎構造に関する研究(その2、上部構造層数の影響)、日本建築学会大会(北海道)、2013年8月
- ③ 曾田五月也、宮津裕次、宇平壮、リンク式オイルダンパによる建築物の地震応答制御に関する研究 その1 多層建築物の損傷集中抑制効果の解析的検討、日本建築学会大会(北海道)、2013年8月
- ④ 曾田五月也、宮津裕次、リンク式オイルダンパによる建築物の地震応答制御に関する研究 その2 偏心構造物のねじれ振動抑制効果の解析的検討、日本建築学会大会(北海道)、2013年8月
- ⑤ 曾田五月也、宮津裕次、瀬戸純平、谷敬成、リンク式オイルダンパによる建築物の地震応答制御に関する研究 その3 重量偏心した1層鉄骨ラーメン架構の振動台実験による効果検証、日本建築学会大会(北海道)、2013年8月
- ⑥ 曾田五月也、矢野遥、瀬戸純平、谷敬成、流体の慣性質量を利用したパッシブ負剛性ダンパに関する研究 その3 流体慣性ダンパの単体性能実験と鉄骨柱梁接合部の慣性力載荷実験、日本建築学会大会(北海道)、2013年8月
- ⑦ 中原政人、曾田五月也、久保和民、薄板軽量形鋼造の高減衰化に関する研究 その1. 実大耐力壁の正負交番繰返し載荷試験、

- 日本建築学会大会（北海道）、2013年8月
- ⑧久保和民、曾田五月也、中原政人、薄板軽量形鋼造の高減衰化に関する研究 その2. 地震応答解析による高減衰耐力壁の耐震性能評価、日本建築学会大会（北海道）、2013年8月
- ⑨堀込克哉、曾田五月也、多層建物への地震入力エネルギーが各層へ分配される割合に関する研究、日本建築学会大会（北海道）、2013年8月
- ⑩曾田五月也、宮津裕次、野口光裕、丸野悟司、圧効きオイルダンパによる木造住宅のねじれ応答抑制効果に関する研究、日本建築学会大会（愛知）、2012年9月
- ⑪曾田五月也、田中義輝、瀬戸純平、谷敬成、流体の慣性質量を利用したパッシブ負剛性ダンパに関する研究（その1 流体慣性ダンパの概要と制振性能）、日本建築学会大会（愛知）、2012年9月
- ⑫曾田五月也、田中義輝、瀬戸純平、谷敬成、流体の慣性質量を利用したパッシブ負剛性ダンパに関する研究（その2 流体慣性ダンパの単体性能試験と時刻歴応答解析）、日本建築学会大会（愛知）、2012年9月
- ⑬曾田五月也、上倉理香、柳下真吾、緩衝装置を併用した滑り基礎構造の実大振動台実験、日本建築学会大会（愛知）、2012年9月
- ⑭堀込克哉、曾田五月也、過酷な地震動入力に対する建築物の備え エネルギーに基づく地震動の過酷度指標の提案、日本建築学会大会（愛知）、2012年9月
- ⑮青野裕太、中原政人、曾田五月也、薄板軽量形鋼造耐力パネルの高靱性化に関する研究（その1. 実大耐力パネルの正負交番繰り返し載荷試験）、日本建築学会大会（愛知）、2012年9月
- ⑯中原政人、曾田五月也、青野裕太、薄板軽量形鋼造耐力パネルの高靱性化に関する研究 その2. 地震応答解析による内挿型耐力パネルの耐震性能評価、日本建築学会大会（愛知）、2012年9月
- ⑰木村聡志、宮津裕次、中村洋介、野口光裕、丸野悟司、曾田五月也、圧効きオイルダンパを用いる木造住宅の耐震性能と耐震設計（その1 ダンパ設置した面材壁の動的載荷実験による制振性能確認）、日本建築学会大会（東京）、2011年8月
- ⑱野口光裕、宮津裕次、中村洋介、木村聡志、丸野悟司、曾田五月也、圧効きオイルダンパを用いる木造住宅の耐震性能と耐震設計（その2 ダンパを設置した2層木造住宅の地震応答解析）、日本建築学会大会（東京）、2011年8月
- ⑲丸野悟司、宮津裕次、中村洋介、野口光裕、木村聡志、曾田五月也、圧効きオイルダンパを用いる木造住宅の耐震性能と耐震設計（その3 ダンパによる地震応答制御効果の統計的評価）、日本建築学会大会（東京）、2011年8月
- ⑳久保田雄大、宮津裕次、曾田五月也、圧効きオイルダンパを用いる木造住宅の耐震性能と耐震設計（その4 2層木造住宅の耐震補強設計例）、日本建築学会大会（東京）、2011年8月
- ㉑宮津裕次、曾田五月也、圧効きオイルダンパを用いる木造住宅の耐震性能と耐震設計（その5 エネルギーの釣り合いに基づく最大応答変形制御設計）、日本建築学会大会（東京）、2011年8月
- ㉒上倉理香、藤田寛祐、柳下真吾、曾田五月也、滑り基礎構造の実用化に向けた摩擦振動に関する検討（その1 バイリニア型復元力モデルの問題点）、日本建築学会大会（東京）、2011年8月
- ㉓柳下真吾、藤田寛祐、上倉理香、曾田五月也、滑り基礎構造の実用化に向けた摩擦振動に関する検討（その2 速度依存性を考慮した摩擦モデルの提案）、日本建築学会大会（東京）、2011年8月
- ㉔藤田寛祐、上倉理香、柳下真吾、曾田五月也、滑り基礎構造の実用化に向けた摩擦振動に関する検討（その3 滑り基礎構造各部の最大応答加速度の簡易推定法）、日本建築学会大会（東京）、2011年8月
- ㉕佐藤和哉、青野裕太、曾田五月也、スチールハウスの復元力特性と地震応答に関する研究 その1. 実大スチールハウス耐力パネルの強制載荷試験、日本建築学会大会（東京）、2011年8月
- ㉖青野裕太、佐藤和哉、曾田五月也、スチールハウスの復元力特性と地震応答に関する研究 その2 地震応答解析によるスチールハウス耐力パネルの耐震性能評価、日本建築学会大会（東京）、2011年8月
- ㉗曾田五月也、藤田寛祐、宮本吉紀、宮本恵美、戸建住宅用滑り基礎構造の地震応答に関する研究、第13回日本地震工学シンポジウム（茨城）、pp. 518-525、2010年11月
- ㉘曾田五月也、宮津裕次、中村洋介、野口光裕、圧効きオイルダンパを設置した木造パネルの耐震性能評価、第13回日本地震工学シンポジウム（茨城）、pp. 948-955、2010年11月
- ㉙曾田五月也、佐藤和哉、居谷圭祐、脇田健裕、薄板軽量形鋼造の復元力特性と地震応答に関する研究、第13回日本地震工学シンポジウム（茨城）、pp. 1514-1521、2010年11月
- ㊿宮津裕次、曾田五月也、Experimental Study on Seismic Response Control of Wooden House with Knee-Brace Oil Damper、大韓建築学会（韓国）、2010年10月
- ㊿宮津裕次、曾田五月也、圧効きオイルダン

パを設置した木造軸組の力学モデルの構築、日本建築学会大会（富山）、2010年9月

③②野口光裕、宮津裕次、中村洋介、曾田五月也、圧効きオイルダンパの強風時耐久性能試験、日本建築学会大会（富山）、2010年9月

③③宮本吉紀、藤田寛祐、曾田五月也、滑り基礎構造の最大地震応答予測法に関する基礎的検討（その1 最大滑り変位量の推定法）、日本建築学会大会（富山）、2010年9月

③④藤田寛祐、宮本吉紀、曾田五月也、滑り基礎構造の最大地震応答予測法に関する基礎的検討（その2 想定最大応答加速度の推定法）、日本建築学会大会（富山）、2010年9月

③⑤Satsuya Soda、Yuji Miyazu、Experimental study on seismic response control of wooden houses with small knee-brace oil dampers、9th US National and 10th Canadian conference Earthquake Engineering、Canada Toronto、CD-ROM、2010.7

③⑥ Satsuya Soda、Yuji Miyazu、Seismic Response Control of Wooden House Placed on Sliding Base、9th US National and 10th Canadian conference Earthquake Engineering、Canada Toronto、CD-ROM、2010.7

6. 研究組織

(1) 研究代表

曾田 五月也 (SODA SATSUYA)
早稲田大学創造理工学研究科・教授
研究者番号：7013435

(2) 研究分担者

宮津 裕次 (MIYAZU YUJI)
早稲田大学理工学研究所次席研究員
研究者番号：70547091

脇田 健裕 (WAKITA TAKEHIRO)
中部大学工学部建築学科・助教
研究者番号：10469025

松永 裕樹 (MATSUNAGA HIROKI)
(株)竹中工務店技術研究所
研究者番号：60434304

宋 成彬 (SONG, SUNGBIN)
早稲田大学理工学研究所招聘研究員
研究者番号：60547090