

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 3 日現在

機関番号：15401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26820235

研究課題名(和文) 外付け式層間変形制御装置による木造住宅の耐震性能の高度化に関する研究

研究課題名(英文) Improvement in seismic performance of wooden houses by external story drift control devices

研究代表者

宮津 裕次 (MIYAZU, Yuji)

広島大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：70547091

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、極めて大きな地震に対しても、木造住宅を主とする中低層建築物が特定の層のみで崩壊する「層崩壊」に至ることを抑制する技術を開発するものである。層崩壊を防ぐことは、地震時の人命被害を減らすうえで非常に重要である。初めに、提案する装置の挙動を模擬できる力学モデルを構築し、装置を設置することの有効性を多数の解析により検証した。次いで、実大規模で制作した装置の試作品の性能検証実験や、装置を設置した建物模型に対して地震時の挙動を再現する振動台実験を実施し、提案する装置の有効性を実証した。得られた成果は、建築物の地震安全性の向上、さらには、より高性能な建築構造システムの開発に資するものである。

研究成果の概要(英文)：This study aims to develop a seismic device for mid- and low-rise buildings, mainly for Japanese typical wooden houses. The device works to prevent soft-story mechanism of buildings under severe seismic ground motions, which is extremely effective to reduce loss of human life due to earthquakes. First, we formulate the mechanical model of the device and conducted a series of analytical study to verify the effectiveness of the device. Then, the details of the device are decided through the dynamic loading tests on full-scale wooden frames and the shaking table tests on scaled building frames with/without the devices. It is confirmed in this study that the proposed seismic device is quite effective to enhance the seismic performance of buildings.

研究分野：建築構造

キーワード：損傷分散 制振ダンパ 木造住宅 耐震性能 振動台実験

1. 研究開始当初の背景

木造住宅の耐震性能の向上を目的とした研究は、国内では1995年の兵庫県南部地震において戸建木造住宅に甚大な倒壊被害が生じて以降、特に精力的に取り組まれている。とりわけ、耐震性能の低い既存の木造住宅の耐震補強に関する研究は、近年中に高い確率で発生するといわれている東京湾北部地震や南海トラフ地震に対して早急に有効な対策を講じる必要があることや、既存ストックの有効利用の観点から、現在においても重要なテーマである。既存木造住宅の耐震性能向上に関する既往の研究では、構造用合板や筋かい等の増設によって建物の強度を増加させる従来の工法のみではなく、エネルギー吸収装置であるダンパを利用することで地震による建物への入力エネルギーを効率よく吸収する工法(図1)なども提案されており、その有効性は実大実験や解析を通じて検証されている。

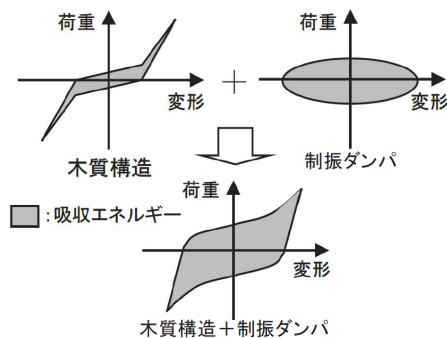


図1 木造の制振化の一般的な概念

これらの既往の研究で補強に用いられている部材は、例えば上述した構造用合板や筋かい、またダンパとしてはオイルダンパや粘弾性ダンパ、摩擦ダンパなど幅広く、部材の有する力学特性も様々である。しかし、既往のいずれの工法も、既存の建物の層間に新たに部材を設置することで建物全体のエネルギー吸収能力を増大させ、地震によって建物に入力されるエネルギーを吸収しようという意図は共通している。つまり、既往の技術開発の前提には、補強をしない状態では建物が十分なエネルギー吸収能力を有していない、という考えがあると考えられる。しかし、これまでの地震で倒壊した2層木造住宅の状況(写真1)を見ると、その大半は特定の層(多くは1層)に変形が集中して倒壊に至っており他の層(多くは2層)はほとんど変形していないことが分かる。このことは、変形



写真1 2層木造住宅の典型的な倒壊事例

が集中しなかった層では地震入力エネルギーをほとんど吸収できていないことを示している。つまり、多くの既存木造住宅は建物の保有している耐震性能(エネルギー吸収能力)を十分に利用できていないと捉えることができる。

2. 研究の目的

本研究では、地震入力エネルギーを建物の全ての層でバランスよく吸収することによって倒壊を防止する構造システムとその設計体制を構築することを目的として、具体的な工法および設計法を提案することとしている。なお事前の検討によって提案しているのは、建物の2層に外部からトラス架構を設置し、トラス架構と1層柱脚との間に制振ダンパを設置する工法である(図2)。本工法の力学的特徴は、設置したダンパが1層と2層の層間変形を等しくしようとする抵抗力を発揮する点にある(図3)。つまり、提案する工法によって、1,2層の層間変形を一様化し特定層での崩壊を抑制することができ、建物全層で地震入力エネルギーを吸収する構造システムを実現できる。また、トラス架構部分はベランダ等とすることも可能であり、建築計画的にも有効に利用できる可能性がある。

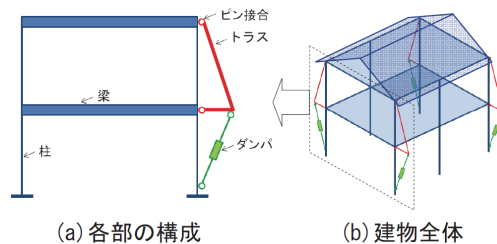


図2 提案する構法

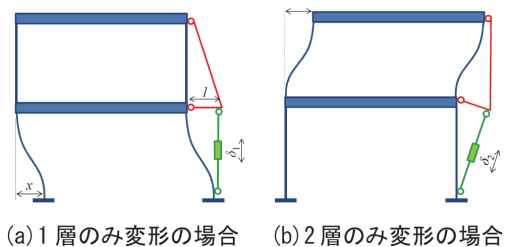


図3 地震時のダンパ挙動の模式図

3. 研究の方法

初年度は、どのような規模や構造の建物に対して提案工法を適用できるのか、また目標とする地震応答低減効果を得るためにはどの程度のダンパが必要となるのか、という点について、時刻歴地震応答解析を通して検証し、工法の適用範囲を明確にする。なお、本研究において第一の目的としているのは耐震性能の低い既存木造住宅の耐震補強であるが、先述の通り提案工法は新築建物や3層以上の建物、さらに木造に限らず鉄骨造の建築物などにも応用可能な技術である。また、建物層間に設置する既往の制振ダンパと提案工法とを併用することで耐震性能をより

向上させることも期待できる。よって、ここで実施する解析の中では、手間や労力が大きく増加しない範囲で2層木造建物以外の上記の建物等にも対象を広げて検討を行う。

第2年度は、初年度に実施した検討結果に基づいて、提案工法を適用した2層木造軸組を製作し、その構造実験を通して目標とする耐震性能が想定通りに得られることを検証する。次いで、装置を設置した試験体に対して振動実験を実施することで、地震動の入力に対する動的挙動を確認するとともに地震応答低減効果を実験的に検証する。また、解析モデルによる時刻歴応答解析の結果と実験結果との比較から、解析モデルの妥当性を検証する。

4. 研究成果

(1) 時刻歴応答解析による提案技術を適用した建築物の地震応答特性の把握と適用範囲の明確化

①装置の力学モデルの構築

本研究で提案する技術(装置)を適用した建築物が、地震動の入力に対してどのように挙動し耐震効果を発揮するのかを明らかにするための解析的な検討を行った。そのために、提案する装置を図4に示す2種類の力学モデルとしてモデル化し、その挙動を表現できる数式を導出した。

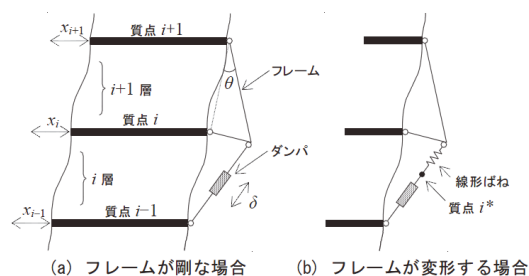


図4 提案する装置の力学モデル

次いで、導出した力学モデルを用いて、装置により多層建築物の層間変形を完全に等しくするために必要となるダンパの抵抗力を予測する式を導出した。その結果、ダンパの必要抵抗力は、建築物各階の質量と各層の最大耐力、および入力地震動の最大加速度から予測できることを明らかにした。また、予測式が妥当であることを、各階の質量および各層の剛性・耐力をパラメータとした4層の鉄骨造建築物と2層木造住宅の時刻歴応答解析により示した(図5)。

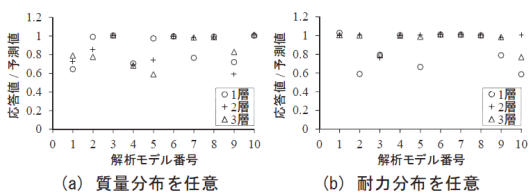


図5 予測式の妥当性の検証結果の一例

②装置の力学特性が地震応答に与える影響

に関する解析的検討

装置を構成するダンパの最大抵抗力やフレームの剛性が、建築物の層間変形の一様化効果に与える影響を包括的に検討するため、標準的な設計がされた4種類の4層鉄骨建築物を対象に、せん断質点系モデルを用いた時刻歴応答解析を行った。その結果、①で導出した予測式で求めたダンパの必要抵抗力に対するダンパの保有抵抗力の比 α の値や、層の水平剛性に対する装置の剛性の比 β の値が、層間変形の一様化に及ぼす影響を定量的に示した(図6、7)。

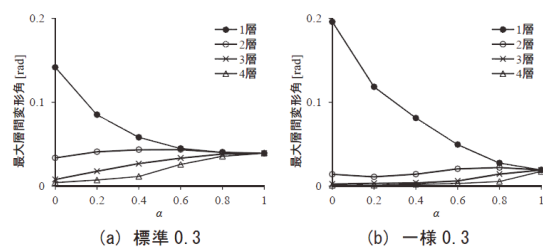


図6 α が層間変形の一様化に与える影響の一例

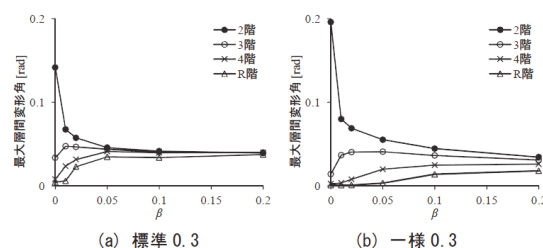


図7 β が層間変形の一様化に与える影響の一例

③装置を設置した鉄骨建築物の各部の地震応答性状の検討

建築物に装置を設置することによる応答低減と、ダンパの抵抗力が周辺部材に与える影響等についてより詳細に検討するため、平面フレームモデルを用いた時刻歴応答解析を行った。検討に用いる建物モデルは、2007年に(独)防災科学技術研究所の実大3次元震動破壊実験施設(E-ディフェンス)で実施された実大の4層鉄骨造建築物の一つの構面をモデル化したものとした(図8)。

解析結果より、装置を設置することで想定通りに全層の層間変形が一様化され、全体崩壊型となることで倒壊(層崩壊)を抑制できることを示した。また、装置が設置される付

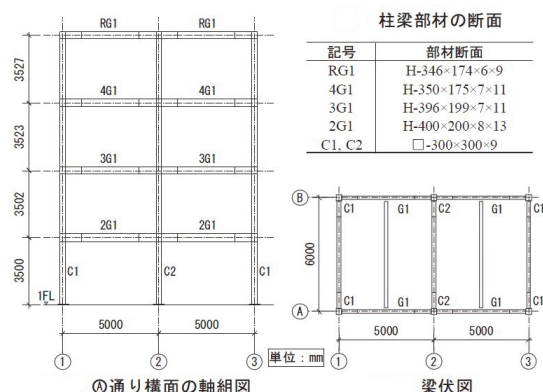


図8 2次元フレーム解析に用いた鉄骨造建築物

近の柱では軸力が増大するため、設計時に配慮が必要であることも明らかにした。

(2) 小型2層木造軸組架構の強制載荷実験による効果検証

(1) で得られた成果を実験的に検証する方法の一つとして、小型2層木造軸組架構を対象に、装置を設置する場合と設置しない場合について動的強制載荷実験を実施した(写真2)。実験結果より、装置を設置しない場合には耐力の小さい1層に変形が集中するが、装置を設置した場合は両層の層間変形を一樣化できることを示した(図9)。また、装置の各部分が想定通りに安定した挙動を示すことも確認した。

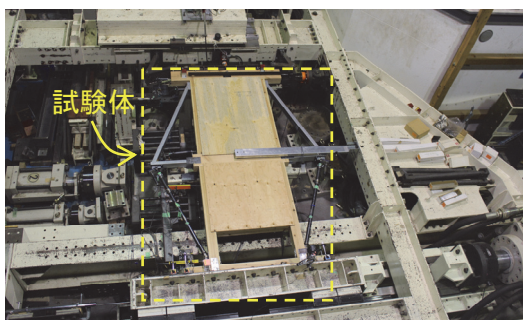


写真2 小型2層木造軸組の動的強制載荷実験

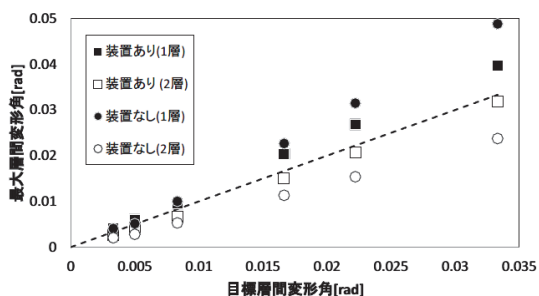


図9 装置の有無での両層の最大層間変形の比較

(3) 装置を設置した小型3層鋼製骨組の振動台加振実験

力学特性の異なる種々のダンパを装置に用いた場合や、主構造が塑性域に達する場合の地震応答性状等を明らかにするため、ダンパの組み換えや塑性化した部材の取替えが容易な小型の3層鋼製骨組を試験体として用いた振動台加振実験を実施した(図10)。ダンパには粘弾性ダンパと摩擦式ダンパを用い、定常ホワイトノイズおよび観測地震動による加振を行った。

定常ホワイトノイズによる加振結果から、外付け装置を設置することでモード減衰が増大するとともに、2次モードと3次モードの固有振動数が高振動数側に移動して、ほぼ消滅することが認められた。地震動による加振結果からは、外付け装置を設置した場合には設置しない場合と比較して各層の層間変形の差が小さくなり、特定層への変形集中が緩和された。また、(1)で構築した力学モデルを用いた時刻歴地震応答解析により、力

学モデルの妥当性を実証するとともに、特定層の剛性・耐力が変動した場合を想定した時刻歴応答解析を行い、外付け装置を設置することで主構造の剛性・耐力のばらつきに対するロバスト性を向上できることを示した。

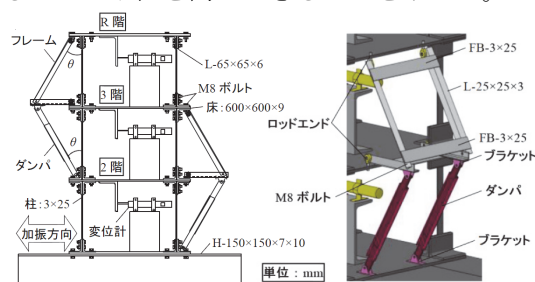


図10 振動台加振実験に用いた試験体

(4) より高性能な装置の仕様に関する着想とその基礎的検討

本研究を進める過程で、提案する装置と同様の特性を保有しつつさらにエネルギー吸収性能を向上できる装置の仕様の着想があったため、新たな装置に関する基礎的な解析的検討と試作モデルによる実験的検討を実施した。

新たに提案した装置は、十分な剛性・強度を有する部材(以下、リンク部材)を各階の梁にピン接合で取付けることで、リンク部材が各層の層間変形角の差を低減する抵抗力を発揮し層崩壊を抑制する。さらに、制振ダンパをリンク部材間に設置することでエネルギー吸収性能を付加し、さらなる応答低減を図ることを意図している(図11)。

試作モデルの基本的な性能を検証するために静的強制載荷実験を実施し、装置が期待する性能を有することを確認した。また、2層木造住宅を対象とした2次元フレーム解析を行い、リンク部材による層間変形一様化とダンパによるエネルギー吸収により、地震応答を効果的に低減できることを示した。

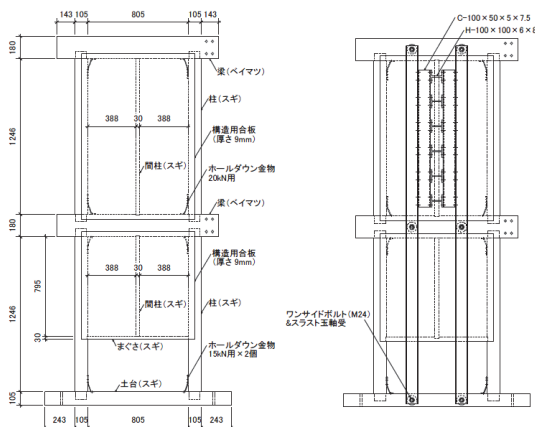


図11 新たに提案した装置

本研究で得られた以上の成果は、地震時の層崩壊被が多い木造住宅やその他の中低層建築物の層崩壊を抑制するために極めて有用な知見を与えるものである。今後は、本研

究を遂行する中で得られた新たな着想も踏まえて、建築物の耐震安全性に資する技術の開発およびその設計理論の整理を進めることが重要と考えられる。

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)

[雑誌論文] (計 2 件)

1. 宮津裕次, 曾田五月也: 外付け式層間変形制御装置を設置した小型 3 層鋼製骨組の振動台加振実験, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 80, No. 716, pp. 1505-1513, 2015, 査読有
2. 宮津裕次, 曾田五月也: 外付け式層間変形制御装置による中低層建築物の地震応答制御, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 80, No. 710, pp. 561-570, 2015, 査読有

[学会発表] (計 9 件)

1. 森川翔平, 宮津裕次, 長谷川冬馬: リンク式制振装置による低層木造建築物の地震応答制御, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 福岡, 2016. 8. 25
2. 伊藤彰保, 宮津裕次: 多層偏心建築物の地震応答層間変形を一様化する構造システムに関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 福岡, 2016. 8. 26
3. 宮津裕次, 曾田五月也: 拡張 NCL モデルによる非対称な復元力特性のモデル化手法, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 福岡, 2016. 8. 26
4. 森川翔平, 宮津裕次: 層間変形を一様化するリンク機構を設置した中低層建築物の地震応答, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第 39 巻, pp-129-132, 広島, 2016. 3. 6
5. Y. Miyazu, A. Itou, S. Soda, M. Ohsaki: Seismic response control of buildings using mechanical linkages with passive dampers, Proceedings of the Tenth Pacific Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 49, Sydney, Australia, 2015. 11. 6
6. 伊藤彰保, 宮津裕次, 曾田五月也, 大崎純: 外付け式層間変形制御装置による建築物の地震応答制御に関する研究 その 4 装置の性能改善と時刻歴応答解析による検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp. 717-718, 神奈川, 2015. 9. 4
7. 宮津裕次, 伊藤彰保, 曾田五月也, 大崎純: 外付け式層間変形制御装置による建築物の地震応答制御に関する研究 その 3 小型 3 層鋼製骨組の振動台加振実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp. 715-716, 神奈川, 2015. 9. 4
8. 宇平壮, 曾田五月也, 宮津裕次: 外付け式層間変形制御装置による建築物の地震応答制御に関する研究 (その 2) 小型 2 層木造軸組架構の強制載荷実験による効

果検証, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, pp. 439-440, 兵庫, 2014. 9. 14

9. 宮津裕次, 曾田五月也: 外付け式層間変形制御装置による建築物の地震応答制御に関する研究 その 1 工法の概要と時刻歴地震応答解析による検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, pp. 437-438, 兵庫, 2014. 9. 14

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮津 裕次 (MIYAZU YUJI)

広島大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号: 70547091