

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06644

研究課題名(和文) 低層木造建築物の地震時層崩壊を抑制するリンク式制振構造システムの開発

研究課題名(英文) Development of vibration control system with mechanical links preventing soft story collapse of low-rise wooden buildings

研究代表者

宮津 裕次 (Miyazu, Yuji)

東京理科大学・理工学部建築学科・講師

研究者番号：70547091

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、申請者が既往の研究で提案しているメカニカルリンク機構を適用した制振装置をさらに高機能化し、過酷な地震に対してもロバスト性の高い構造システムを提案し、その有効性を各種の実大実験と詳細な数値解析により実証した。開発した装置は、建築物の全層の変形を一様化する機能を付加するために制振ダンパとメカニカルリンク機構とを統合している点が独創的であり、従来の制振構造に比べ層崩壊をより効果的に抑制できる。また、建築物の外側から設置することが可能なため耐震補強には極めて有効であり、既存建築物の耐震性能向上にも強力に資することが出来る。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、大地震時においても建築物が特定の層で崩壊することを防ぐことができる新たな耐震技術を開発し、その有効性を多くの実験と解析により示した点にある。開発した技術は、地震時の人命被害を低減させるために極めて効果的であり、また既往の技術を合理的に組み合わせているためにコスト性にも優れることから、都市防災を促進する観点から社会的意義は大きい。

研究成果の概要(英文)：In this research, we've proposed the new structural system that supplies buildings with high seismic performance and robustness, and proved its validity through a series of experimental and numerical studies. The developed system integrates passive energy dissipating devices with mechanical linkages to prevent buildings from collapsing in a few stories. Since this system can be installed to a building from its outside, it is useful to enhance the seismic performance of not only new buildings but also existing buildings.

研究分野：建築構造

キーワード：木造建築物 層崩壊 制振構造 リンク機構 粘弾性ダンパ 振動台実験 オイルダンパ ロバスト性

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

2000年以降に日本で発生した震度6弱以上の地震が50回を超えるという現実からもわかるように、建築物の設計段階で想定している最大級の地震動やあるいはそれを凌駕する過酷な地震動が日本各地で度々観測されている。そのような地震下においては、例えば2016年に発生した熊本地震の例にみられるように、低層木造住宅の特定層での層崩壊被害とそれに起因する人命被害が多数発生している。低層木造住宅の層崩壊の抑制は、建築物の耐震対策において最重要課題の一つである。

建築物の耐震性能を向上させる代表的な手段としては、壁やブレースを増設して強度・剛性を高める方法や、制振ダンパを設置することでエネルギー吸収性能を効果的に向上させる方法などがあるが、いずれの方法も建築物の各層毎に個別に設置することが基本である。よって、建築物を層崩壊させずに全ての層で一様に変形させるためには、壁(あるいは制振ダンパ)の建築物の高さ方向の配置が重要となる。そのため、壁やダンパの配置方法に関する既往研究も多くある。一方で、上記のような設計時の想定を凌駕する過酷な地震動に対しては、主構造の材料特性の非線形性や重力の影響等によって建築物の応答を正確に予測することが困難となり、設計段階で理想的とされた耐震要素の配置とした場合でも最終的には特定層で崩壊するケースが多い。

建築物の層崩壊を抑制するには、柔軟で独創的な発想による新たな構造システムの開発が求められている。

2. 研究の目的

本研究は、研究代表者が考案したリンク式制振装置を基本として、形態を改良しエネルギー吸収性能を強化した新たな制振装置を開発すること、また、実用可能な技術として社会に提供するために、提案する装置を設置した建築物の耐震計算法・設計法を整備することを目的とした。

3. 研究の方法

2017年度は、高性能化したリンク式制振装置を設置した実大2層構造物の振動台加振実験を実施し、2層構造物に対する提案装置の有効性の検証を行った。2018年度は、前年度の研究で得られた結果を踏まえて装置の各部仕様を改良し、再度振動台による性能確認実験を実施した。なお2018年度の実験では、3層構造物への適用性の検証を目的として、縮小3層構造物を試験体として使用した。2019年度には、振動台実験の結果を高精度に再現できる解析モデルを構築し、提案する装置を設置した建築物の耐震計算法・設計法の整備のための解析的検討を行った。

4. 研究成果

(1) 実大2層構造物の振動台加振実験

2層構造物に対するリンク式制振装置の有効性を検証するため、実大の2層薄板軽量形鋼造試験体(高さ6m、加振方向3m、加振直交方向2m)に対して振動台加振実験を実施した(写真1)。試験体の主耐震要素は別途開発した摩擦機構を内蔵した耐力壁である。リンク部材には溝形鋼を使用し、制振ダンパにはオイルダンパと粘弾性ダンパを用いる場合それぞれについて実験を行った。試験体の固有周期と減衰定数を評価するために実施したホワイトノイズ加振の結果からは、リンク式制振装置を設置することで2次モードの固有周期は短周期化し減衰定数は1次と2次の何れのモードでも増大することが認められた(図1)。地震動加振には、告示波のレベル1、2011年東北地方太平洋沖地震での芳賀観測波EW成分、1995年神戸海洋気象台観測波での



写真1 実大2層試験体

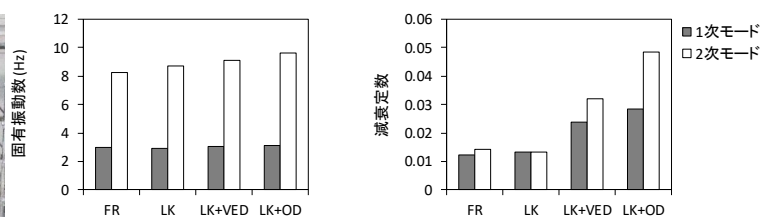


図1 ホワイトノイズ加振で得た固有振動数と減衰定数 (FR:装置なし, LK:リンク部材のみ設置, VED:リンク部材+粘弾性ダンパを設置, OD:リンク部材+オイルダンパを設置)

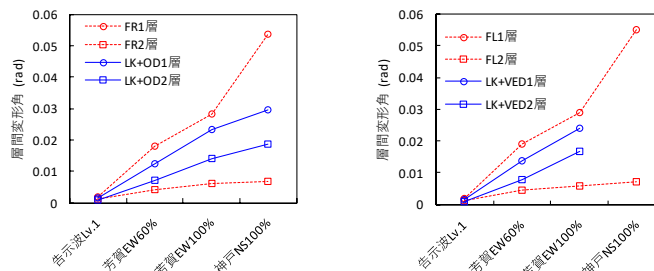


図2 地震動加振で得た各層の最大層間変形角 (左:LK+OD:右LK+VED)

NS 成分の計 3 種類の波形を入力波として用いた。加振結果より、リンク部材を設置することで 1 層と 2 層の層間変形角の差が小さくなり最大変形が低減され、さらに制振ダンパを設置した場合には、エネルギー吸収性能が向上することで最大層間変形をさらに低減できることを確認した (図 2)。また、加速度応答については、リンク式制振装置を設置することで最上階の応答が若干増大するものの最大でも 9.8 m/s^2 程度であることを確認した。

(2) 縮小 3 層構造物の振動台加振実験

リンク式制振装置の 3 層構造物に対する有効性を検証するため、高さ方向を 1/2 程度に縮小した 3 層薄板軽量形鋼造試験体の振動台加振実験を実施した (写真 2)。主構造の主な水平抵抗要素は、実大 2 層構造物試験体と同様の摩擦機構内蔵耐力壁である。リンク部材には溝形鋼を使用し、制振ダンパとしては粘弾性ダンパをリンク部材間に設置した (図 3 左)。リンク部材を主構造に取り付けるための金物は主構造にビス接合し、リンク部材は金物に対してスラスト玉軸受によりピン接合した (図 3 右)。



写真 2 縮小 3 層試験体

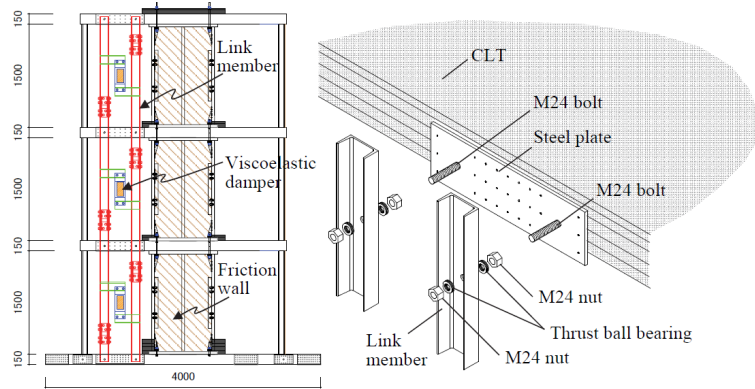


図 3 試験体の立面図 (左) とリンク部材取り付け部 (右)

実験結果より、リンク式制振装置を設置しない試験体では入力地震動レベルの増大に伴って 1 層に変形が集中する傾向であったが、リンク式制振装置を設置した場合には全層の層間変形角が一様化され最大変形を大幅に低減できたことから、提案した装置が目標とする性能を発揮することを確認した (図 4)。

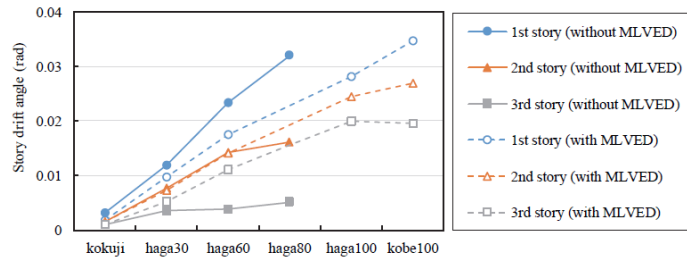


図 4 リンク式制振装置の有無による最大層間変形の比較

(3) 解析モデルの構築と時刻歴応答解析による応答評価

リンク式制振装置の解析モデルを構築するため、リンク部材接合部と粘弾性ダンパの荷重実験を実施し、解析モデルのパラメータを策定した。構築した解析モデルを用いて振動台実験を模擬した時刻歴応答解析を実施し、実験結果と解析結果が十分な精度で一致することを確認した (図 6)。また、リンク式制振装置の性能を示す指標を提案しその妥当性を検証することで、耐震計算法の整理への道筋を示した。

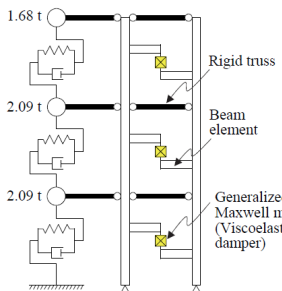


図 5 解析モデル

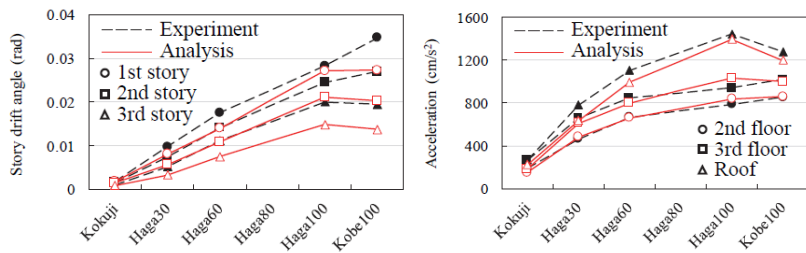


図 6 実験結果と解析結果の比較 (左: 層間変形角, 右: 加速度)

以上の通り、本研究により低層建築物の層崩壊を抑制するリンク式制振装置が開発され、その有効性が各種の実験および解析により実証された。本成果は、建築物の耐震性能の向上および都市地震防災の発展に大きく寄与するものである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 宮津裕次, 曾田五月也	4. 巻 83
2. 論文標題 部分空間法による2層木造軸組工法住宅の振動特性同定	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本建築学会構造系論文集	6. 最初と最後の頁 409-419
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.3130/aijs.83.409	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Y. Miyazu, S. Soda, K. Watai, T. Wakita
2. 発表標題 SEISMIC RESPONSE CONTROL OF A THREE-STORY CFS STRUCTURE BY MECHANICAL LINKS AND VISCOELASTIC DAMPERS
3. 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮津裕次
2. 発表標題 変形分布制御機構を備えた実寸2層薄板軽量形鋼造試験体の振動台実験 その3. 機械式リンク機構を設置した場合
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuji Miyazu
2. 発表標題 Estimation of Vibration Property of Japanese Wooden House Using Subspace Identification Method
3. 学会等名 World Conference on Timber Engineering (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森川翔, 宮津裕次, 中村尚弘
2. 発表標題 振動台加振実験によるリンク式制振装置の効果検証
3. 学会等名 日本建築学会中国支部研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Morikawa, Y. Miyazu, N. Nakamura
2. 発表標題 Three-dimensional seismic response of two-story wooden buildings with seismic devices using mechanical linkage
3. 学会等名 EURODYN2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森川翔平, 宮津裕次, 中村尚弘
2. 発表標題 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 その2 接合部の静的載荷実験と2層木造住宅の3次元地震応答解析
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	曾田 五月也 (Soda Satsuya) (70134351)	早稲田大学・理工学術院・名誉教授 (32689)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	向井 洋一 (Mukai Youichi) (70252616)	神戸大学・工学研究科・准教授 (14501)	
研究分担者	脇田 健裕 (Wakita Takehiro) (10469025)	早稲田大学・理工学術院・客員主任研究員（研究院客員准教授） (32689)	