

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 18 日現在

機関番号：33919

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H06107

研究課題名（和文）木質高層建物を対象とした制振技術開発と制振設計法の提案

研究課題名（英文）Technological Development and Design Method Suggestion about Passive Control Scheme for Timber Tall Buildings

研究代表者

松田 和浩（Matsuda, Kazuhiro）

名城大学・理工学部・准教授

研究者番号：80567397

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,900,000円

研究成果の概要（和文）：SDGsに代表される地球環境問題の観点から、木質高層建物の実現・普及が社会的に求められている。本研究課題は、地震国日本において木質高層建物の耐震性を効率的に向上させることを目的として、当該建物に制振技術を適用することを考え、かつその設計法を提案するものである。具体的に実施した内容は、以下の4つに大別できる。

(1)ポストテンション方式によるロッキング機構とダンパーを併用した架構の提案。(2)提案架構における柱脚支持部および柱-梁接合部の力学的挙動の把握。(3)等価線形化手法に基づく制振設計法の適用範囲拡張。(4)地震応答解析を簡易化するダンパーモデル化手法の提案。

研究成果の学術的意義や社会的意義

木材使用量を増加させるために、木質高層建物の開発研究が盛んに行われている。しかし、地震国日本においては、高層化するにつれ耐震性・居住性を確保するために、振動を制御する技術が必要になると考えられるが、そのような研究例は世界的にみても極めて少ない。本研究課題では、ロッキング機構とダンパーを併用した架構、ならびに柱脚支持部や柱-梁接合部の力学的挙動を把握し、一般的な耐震架構よりも変形時の損傷を抑制することに成功している。また、木質高層建物を想定した制振設計として、等価線形化法および時刻歴応答解析法を用いる場合の手法も提案しており、得られた成果の社会的意義は大きいと考えられる。

研究成果の概要（英文）：From the viewpoint of global environmental problems represented by SDGs, the realization and popularization of timber tall buildings is socially required. The purpose of this research project is to efficiently improve the earthquake resistance of timber tall buildings in Japan. Passive controlled technology for timber tall buildings is applied and its design method is proposed. The contents are summarized below:

(1) Suggestion of new frame using both post-tensioned rocking frame and dampers. (2) Mechanical behavior of column base and column-beam-joint regarding proposal frames. (3) Enlargement of passively controlled design method based on equivalent linearization. (4) Suggestion of simplified hysteretic model for arbitrary damper.

研究分野：建築構造・材料

キーワード：木質高層建物 CLT ロッキング ダンパー 接合部 等価線形化手法 時刻歴応答解析

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

建築構造材料に用いられる木材は、樹木の発育過程で大気中の  $\text{CO}_2$  を体内に取り込むため、環境負荷の少ない優れた材料である。日本では戦後に植樹されたスギを主とする樹木が伐採時期を迎え、木材使用量を増やす必要性が生じている。しかし、中層以上の木質建物の実績は日本ではほぼなく、耐震性の確保が課題となっている。一方海外では、ヨーロッパやオーストラリア、カナダなどの非地震国を中心に、10層程度までの高層木質建物が多く建てられている。

そのような背景の元、地震国でも中層以上の木造建物を成立させるために、近年アメリカやニュージーランドなどで耐震性向上に関する開発研究が急増し、日本も国交省や林野庁の事業として、スギの CLT (Cross Laminated Timber) を使った CLT 木造の研究が本格化した。それにより多く有用なデータが得られているものの、CLT 木造は RC 造や鉄骨造と比べてエネルギー吸収性能が低く、かつ荷重-変形履歴においてスリップが顕著に現れる。今後、地震国で CLT 木造を実現・普及させるためには、耐震性を向上させる技術開発が必要不可欠であり、そのような中で建物に剛性・減衰を付加する制振技術は効果的と考えられる。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、CLT による木質の中高層建物を対象として、ダンパーを効率的に付加するための高性能制振構法を開発し、その動的挙動を把握することである。そのためには、ダンパー、接合部、架構部材、取付部材などの剛性・耐力のバランスを適切に設定することが重要であり、戸建住宅における制振技術で培ってきた知見を有効に活用する。また、制振技術を CLT 木質建物に用いる際の設計法を提案する。減衰の影響を適切に評価することが可能な等価線形化法および時刻歴応答解析法を用いることにより、対象とする入力地震動に対して目標変形以下とするために必要なダンパー量を求めることが可能な手法を提案する。

### 3. 研究の方法

中高層木質建物の技術開発に向けた実験研究と、それを用いるための制振設計法提案に向けた解析研究の二つに大きく分かれる。

実験研究では、中高層 CLT 建物の 1 階部分を想定した 1 層 1 スパン架構実験 (図 1a)、当該架構の柱脚支持部の挙動に着目した壁柱単体実験 (図 1b)、当該架構の柱-梁接合部の挙動に着目した柱-梁接合部実験 (図 1c) の 3 種類を行った。各実験では、オイルジャッキにより静的に強制変形を与えている。試験体は提案する架構と一般的な耐震架構の 2 種類を用意し、挙動の違いを把握している。提案架構はダンパーを用いるだけでなく、壁柱にポストテンションを加えることで、原点指向型の復元力特性を持たせていることに特徴がある。

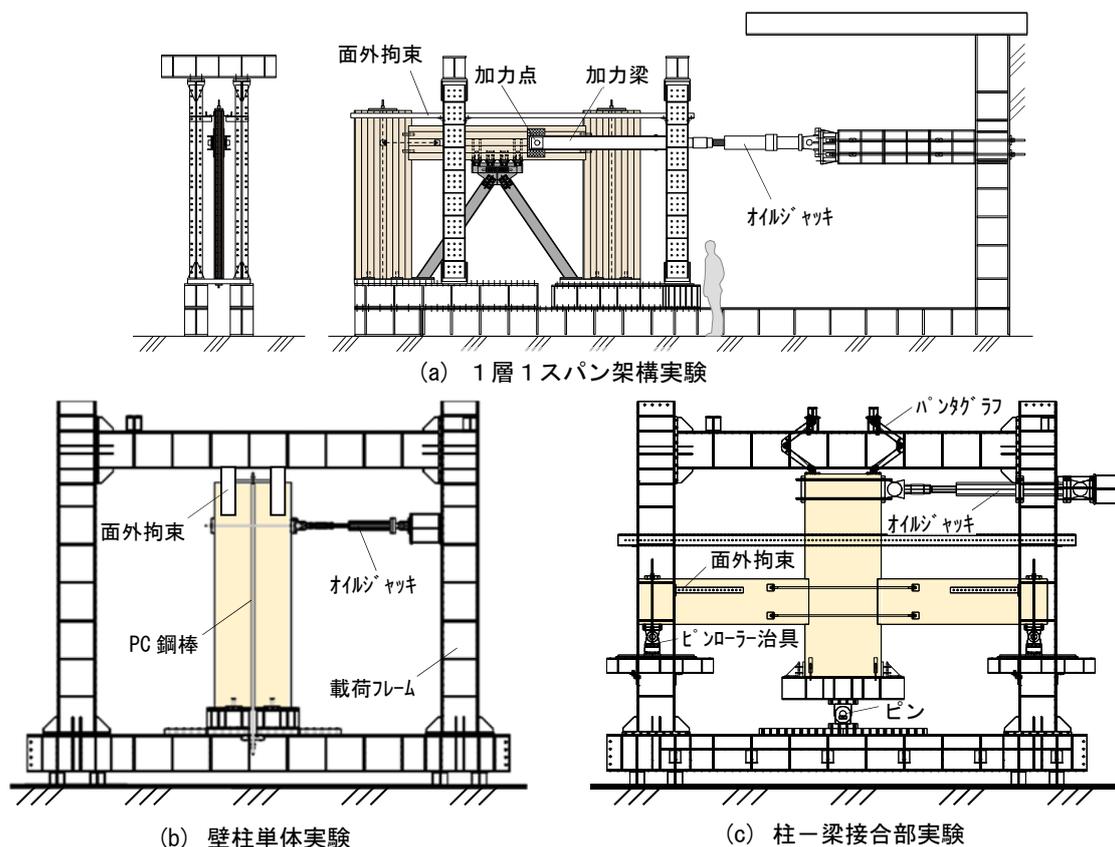


図 1 実験セットアップの概要

解析研究では、等価線形化法による応答制御設計法の提案と、地震応答解析用のダンパー簡易モデルの作成の2つがある。等価線形化法では、主架構を木質架構の履歴特性として一般的なバイリニア+スリップ型で表現し、それにダンパーを付加する場合の動的特性を定式化した。対象とするダンパーは粘弾性ダンパーと弾塑性ダンパーである。制振性能曲線(図2)を用いた目標性能指定型の設計法を提案することにより、多層建物の各階に必要なダンパー量を求める。地震応答解析の方では、任意のダンパー履歴をバイリニアとダッシュポッド(線形粘性要素)の足し合わせで表現する手法(図3)を提案することで、新しく開発したダンパーでも、地震時の時刻歴挙動を容易に把握できるようにする。

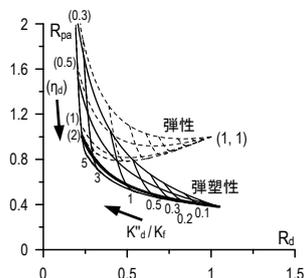


図2 制振性能曲線の例

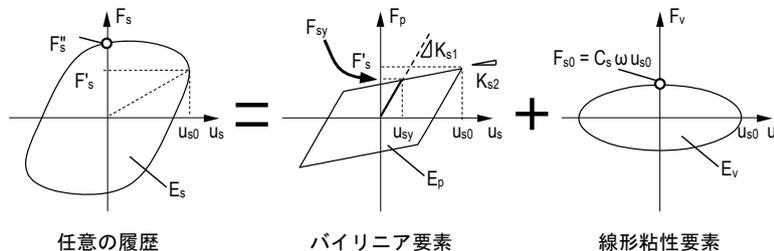


図3 任意ダンパー履歴の簡易モデル化

#### 4. 研究成果

本研究課題で得られた研究成果について、代表的なものを以下に示す。なお、「3. 研究の方法」で記述した実験研究と解析研究に分けて示す。

##### 実験研究

(1) 中高層建物用の CLT 制振架構を設計し、その架構の強制変形実験を行った。ダンパー部には、耐力の調整を容易に行うことができる摩擦ダンパーを用いた。提案した CLT 制振架構は、CLT 壁柱にプレストレスを導入することで、主架構の損傷を抑制できることに特徴がある。一般的な CLT 耐震架構についても制振架構と同様に実験を行うことで両者を比較しており、CLT 制振架構は CLT 耐震架構より剛性・耐力そしてエネルギー吸収能力が高く、高い耐震性を示すことを確認した。

(2) (1)で示した架構の部分について詳細に検討するために、CLT 壁柱単体の強制変形実験を行った。壁柱の構造形式、CLT の幅および高さ、PC 鋼棒の径、定着板のサイズなど、様々なパラメータを設けて多くの実験を行い、各試験体の力学挙動を把握した。柱脚支持部の M-θ 関係の包絡線を評価する手法を提案し、その評価法を応用することで、当該部の挙動に各パラメータが及ぼす影響について考察した。

(3) (1)で示した架構の部分について詳細に検討するために、CLT による柱梁接合部を対象とした強制変形実験を行った。接合部の構造形式と試験体形状(十字形と T 字形)をパラメータとし、その力学的挙動を把握した。(2)で示した柱脚支持部における M-θ 関係の評価法を応用して、柱梁接合部における M-θ 関係の包絡線を評価する手法を提案した。提案手法は実験結果で得られた M-θ 関係の包絡線を概ね再現できることを確認した。

##### 解析研究

(4) 制振設計法の構築に向けた検討として、複数の木質系耐力要素が用いられる建物を想定して、粘弾性ダンパーや弾塑性ダンパーを付加することで各層の最大変形を目標値以下にするための、等価線形化手法に基づく応答制御法を提案した。提案した手法は、時刻歴応答解析で精度を検証しており、精度よく、かつ安全側の評価となることを確認した。検討の際は、最初に一質点で周期、減衰定数、耐力要素の復元力特性、地震動などをパラメータにした 1 万を超えるケーススタディを行った後、多層建物を想定した多質点せん断系で 500 ケース以上の検討を行った。

(5) 任意の制振壁およびダンパーの簡易時刻歴応答解析モデルとして、その履歴をバイリニアとダッシュポッドという簡易なモデルの足し合わせで表現する手法を提案した。速度依存ダンパーと変位依存ダンパーの中間的な特性を有する非線形粘性ダンパーを対象とし、木質多層建物に提案手法を適用する場合について検討した。既往研究の手法では、解析モデルの諸元を求める際に試行錯誤が必要であったが、本提案ではモデル作成時の条件を追加することにより、上記の試行錯誤を回避している。提案する手法で作成した簡易モデルは、精解のモデルを概ね再現できることを確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計15件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 松田和浩, 笠井和彦
2. 発表標題 多層バイリニア+スリップモデルに弾塑性ダンパーを用いた制振構造の応答制御設計法
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 安藤咲季, 松田和浩, 笠井和彦
2. 発表標題 様々な履歴の制振壁簡易モデルを用いた時刻歴応答解析に関する研究
3. 学会等名 日本建築学会東海支部研究報告集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 増田顕, 松田和浩, 角田裕介, 坂田弘安
2. 発表標題 セルフセンタリング型CLT壁柱を有する木質制振架構の力学的挙動に関する実験研究
3. 学会等名 日本建築学会東海支部研究報告集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松田和浩, 笠井和彦
2. 発表標題 制振壁の簡易履歴モデルによる時刻歴応答解析法の精度検証
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 増田顕, 松田和浩
2. 発表標題 セルフセンタリング型CLT壁柱を有する木質制振架構の柱脚支持部の力学的挙動に関する実験研究
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹内明, 松田和浩, 笠井和彦
2. 発表標題 木質制振構造における等価線形化法の適用性検証～複数のバイリニア+スリップモデルを併用した場合について～
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 関初音, 松田和浩, 笠井和彦
2. 発表標題 木質制振構造における多層モデルの応答制御設計法～複数のバイリニア+スリップモデルに粘弾性ダンパーを用いた場合について～
3. 学会等名 日本建築学会東海支部研究報告集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 後藤慶一朗, 増田顕, 松田和浩
2. 発表標題 ポストテンションによるCLTロッキング壁柱の力学的挙動に関する実験研究 (その1) 実験概要及び実験結果
3. 学会等名 日本建築学会東海支部研究報告集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 増田顕, 後藤慶一郎, 松田和浩
2. 発表標題 ポストテンションによるCLTロッキング壁柱の力学的挙動に関する実験研究 (その2) 評価法の提案と特性の把握
3. 学会等名 日本建築学会東海支部研究報告集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kazuhiro MATSUDA, Akira MASUDA, Yusuke KAKUDA and Hiroyasu SAKATA
2. 発表標題 Study on Mechanical Behavior of Passively Controlled Cross-Laminated-Timber Structures with Self-Centering Function
3. 学会等名 21st International Conference on Earthquake Engineering and Seismology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuhiro MATSUDA, Yusuke KAKUDA and Hiroyasu SAKATA
2. 発表標題 Experimental Study on Mechanical Behavior of Passively Controlled Timber Structure with Self-centering-type CLT Wall Columns
3. 学会等名 15th World Conference on Timber Engineering (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松田和浩, 角田裕介, 坂田弘安, 山崎義弘, 伊東洋路, 森本知宏
2. 発表標題 セルフセンタリング型CLT壁柱を有する木質制振架構の力学的挙動に関する研究 (その1) 実験概要および実験結果
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 角田裕介, 松田和浩, 坂田弘安, 山崎義弘, 伊東洋路, 森本知宏
2. 発表標題 セルフセンタリング型CLT壁柱を有する木質制振架構の力学的挙動に関する研究 (その2) 力学モデルと地震応答解析
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 西島正人, 松田和浩, 笠井和彦
2. 発表標題 財産保持性に優れた制振住宅に関する開発の経過報告 (その52) 任意の振幅・振動数に対する制振壁履歴の予測法
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 田中清, 松田和浩, 笠井和彦
2. 発表標題 財産保持性に優れた制振住宅に関する開発の経過報告 (その53) 簡易モデルの時刻歴応答解析による設計法
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演
4. 発表年 2016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

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------