

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：15201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K04792

研究課題名(和文) 中低層木質系建築物を対象とする高減衰ゴムを用いた制振架構の研究

研究課題名(英文) Earthquake Response Control of Wooden Structures by using High-damping Rubber

研究代表者

中村 豊 (Nakamura, Yutaka)

島根大学・学術研究院環境システム科学系・教授

研究者番号：40830477

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：中低層木造建築物の大地震時の損傷・倒壊防止のための研究を行い、以下の成果を得た。(1) 制振ダンパーによって地震時応答が低減される効果を「等価壁倍率」による評価できることを明らかにした。(2) 木造建築物の二層間にまたぐようにダンパーを配置する「層またぎ設置方式」が従来の層間設置型よりも地震応答低減効果を大きく向上させることを明らかにした。(3) 大断面集成材と鋼板挿入ドリフトピン接合を用いた木造建築物について、接合部設計と地震応答の関係を明らかにした。(4) 構造用合板を耐震壁とする低層木造建築物について、耐震壁の配置と力学的特性が大地震時の倒壊防止を可能にすることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

(学術的意義) 木造住宅について制振ダンパーの「層またぎ設置方式」の有効性を示すことができた。ねばりを持つ構造用合板耐震壁が大地震時の倒壊防止を可能にすることを明らかにした。集成材を用いた木造建築物の接合部設計と耐震性の関係を明らかにした。

(社会的意義) 本研究成果は木造住宅、中低層木造建築物の耐震性を向上させるための耐震設計法の確立に寄与する。さらに耐震性の不足する既存の木造住宅に対して、ダンパーや構造用合板の設置により耐震補強できる可能性を示すことができた。

研究成果の概要(英文)：The following results were conducted to prevent damage and collapse during large earthquakes of low-rise wooden buildings. (1) The effect of response control dampers can be evaluated by the "equivalent wall ratio". (2) "Cross-story installation" of dampers wherein a damper is installed between the rooftop and base of the structure across intermediate floors, greatly improves the effect of reducing the earthquake response than the conventional inter-story installation. (3) The relationship between the joint design and the earthquake response was revealed for a wooden building using a laminated wood and a steel-plate-drift-pinned joint. (4) For low-rise wooden buildings using structural plywood as earthquake-resistant walls, the arrangement and mechanical characteristics of seismic walls can prevent collapse during a large earthquake.

研究分野：建築構造

キーワード：木造建築 制振ダンパー 集成材 鋼板挿入ドリフトピン 耐震壁 構造用合板 終局耐震性能 壁倍率

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、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

現在、5千万戸を越える住宅ストックがあり、国土交通省では住宅ストック維持・向上促進事業「住まい価値向上プロジェクト2019」を進めている。そこでは、「住宅所有者が維持管理・リフォームをしない」、「個々の住宅の良質性が評価されない」ことが課題となっている。建築構造に関する学術的な面では、既存住宅の耐震性能の評価が難しい、経済的で有効な補強技術に乏しい、またその補強設計法と性能評価の信頼性が十分でないことがある。

木造住宅の制振技術としては、戸建住宅用のオイルダンパー、粘弾性ダンパーなどが開発され、一部の新築住宅に採用されてはいるが普及は進んでいない。小規模な建物が多い木造住宅では、考慮すべき地震や風などの水平力に対して耐力壁を必要量設置することで耐震性能が簡略的に検定される。この方法ではすべての耐力壁や筋交いは静的な水平力に対する抵抗力をもって評価されるため、地震エネルギー吸収効果により応答を低減するダンパーは正しく評価されない。普及を進めるためにはダンパーの減衰性能を考慮できる設計手法が必要である。

近年、CLT (Cross Laminated Timber : 繊維方向が直交するように積層接着されたパネル) などの新しい木質材料が使用されるようになり、木質構造の非住宅・中層構造物への利用拡大が進んでいる。現在の木質構造設計規準は許容応力度設計が前提となっており、中地震に相当する地震力に対する検定はなされるが、大地震時の地震力に対する耐震性能の検討は行われない。木質構造の利用拡大に向け、大地震に対する終局耐震性能を確保する必要がある。

2. 研究の目的

本研究は、木造軸組住宅や集成材を用いた木造建築物の地震応答低減と終局耐震性能の確保のための制振構法および耐震設計法の確立を狙いとして、以下の4つの研究目的を有している。

低層木造建築物における高減衰ゴムダンパー、小型オイルダンパーの制振効果の検討

2層木造軸組住宅を対象として、高減衰ゴムダンパー、小型オイルダンパーの地震応答低減効果を3Dモデルの時刻歴地震応答解析により把握する。高減衰ゴムダンパーの振幅依存性の影響やダンパーの設置台数と応答低減効果の関係を把握する。ダンパーの応答低減効果について、「等価壁倍率」による評価法を検討する。

低層木造建築物における層またぎ制振機構の制振効果の検討

建物の層間変形に対してダンパーを設置する従来方式に加えて、二層間にまたぐようにダンパーを配置する層またぎ制振機構について地震応答低減効果、エネルギー吸収効果を検討する。

集成材を用いた中低層木造建築物の地震応答低減・耐震設計に関する検討

大断面集成材と鋼板挿入ドリフトピン接合を用いた木造建築物について、接合部の復元力特性を考慮した解析モデルの時刻歴応答解析を実施し、接合部剛性と地震応答の関係を検討する。

構造用合板耐震壁を用いた低層木造建築物の終局耐震性能に関する検討

構造用合板やパーティクルボードを耐震壁とする低層木造建築物について、耐震壁の復元力特性と終局耐震性能について、時刻歴地震応答解析により検討を行う。また、垂れ壁・腰壁(準耐力壁等)を設置した場合の地震応答低減効果についても検討を行う。

3. 研究の方法

低層木造建築物における高減衰ゴムダンパー、小型オイルダンパーの制振効果の検討

制振ダンパーとしては、低層木造住宅用の高減衰ゴムダンパー(図1)と小型オイルダンパー(図2)を対象とし、2層および3層木造軸組建築物(図3)の各層間に設置した場合について、その制振効果を、3Dモデルの時刻歴応答計算によって検討した。地震応答解析では木造建築物の終局耐震性能を解析可能なソフトウェア wallstat studio を使用した。制振ダンパーの配置箇所、設置台数を変化させて、各層の最大層間変形角やねじれ振動の低減量を求めた。既往の筋交い設置による最大応答との比較から、制振ダンパーの「等価壁倍率」の評価を行った。



図1 高減衰ゴムダンパー



図2 小型オイルダンパー

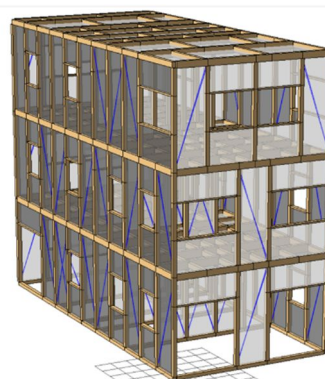


図3 3層木造軸組建築物

低層木造建築物における層またぎ制振機構の制振効果の検討

制振ダンパーを従来の各層間設置した場合に対して、層またぎ設置(図4)した場合の制振効果を2建て木造住宅(図5)の地震応答解析により検討した。本検討では小型オイルダンパーを使用した。地震応答時のダンパーのエネルギー吸収量についても考察を行った。また、減衰機構付き2質点系モデルについて複素固有値問題を解き、減衰機構(ダッシュポット)を層またぎ設置させた場合の減衰定数について各層間設置の場合と比較を行った。

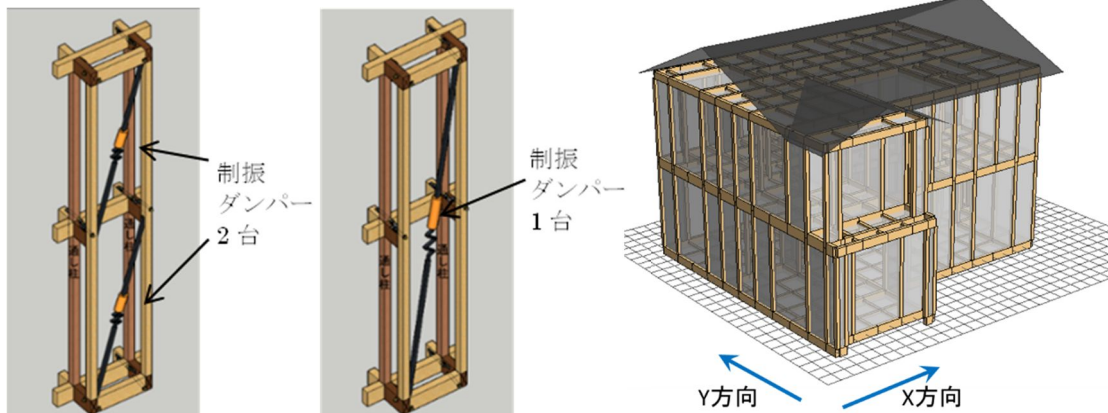


図4 制振ダンパーの設置(各層間設置と層またぎ設置) 図5 2階建て木造住宅

集成材を用いた中低層木造建築物の地震応答低減・耐震設計に関する検討

大断面集成材の接合部に鋼板ドリフトピン接合を用いた3層木造建築物(図6,図7)について、接合部の非線形ばね特性を考慮した地震応答解析を行った。最大層間変形角に影響を与える接合部位置を明らかにし、接合部の設計変更による応答低減効果について検討した。また、架構面に構造用合板、オイルダンパーを設置した場合の応答低減効果についても検討した。

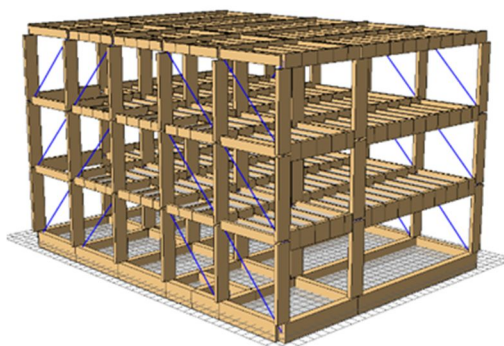


図6 大断面集成材を用いた3層木造建築物

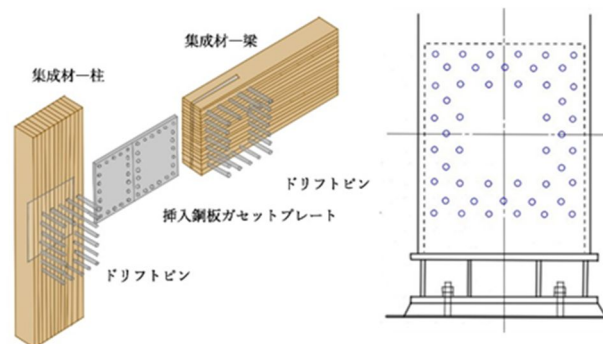


図7 鋼板挿入ドリフトピン接合(左:柱梁、右:基礎)

構造用合板耐震壁を用いた低層木造建築物の終局耐震性能に関する検討

構造用合板耐震壁の復元力特性と木造建築物の終局耐震性能の関係を明らかにするために、2階建て木造住宅(図8)に復元力特性の異なる耐震壁を設置して、極大地震による地震応答解析を行った。また、準耐力壁として垂れ壁・腰壁を設置した2階建て住宅モデル(図9)について地震応答解析を行い、準耐力壁の設置量と住宅モデルの耐力の関係を検討した。

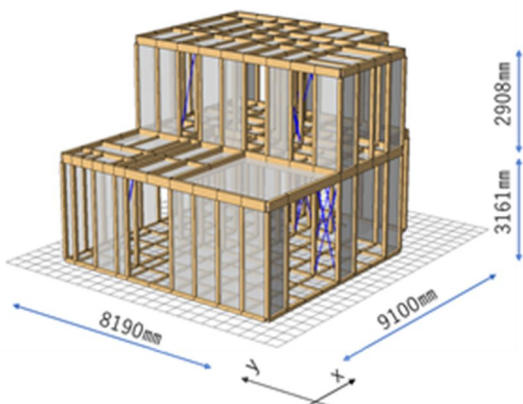


図8 2階建て木造住宅

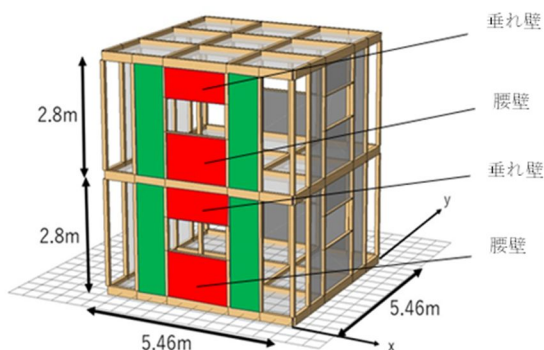


図9 腰壁・垂れ壁設置2階建て住宅モデル

4. 研究成果

低層木造建築物における高減衰ゴムダンパー、小型オイルダンパーの制振効果の研究成果

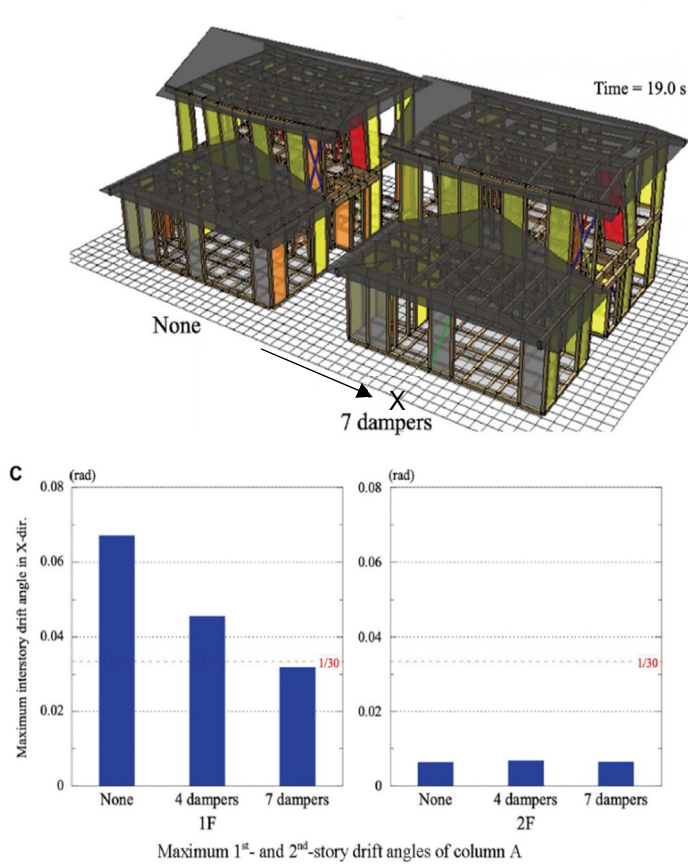


図 10 2階建て木造軸組住宅の地震応答解析

を評価することは簡易耐震設計法に活用できると考えられる。

低層木造建築物における層またぎ制振機構の制振効果の研究結果

減衰機構付き2質点系モデルの複素固有値問題を解いた結果、層またぎ(Cross-story)減衰要素(減衰係数c)1個の場合のモデルの1次減衰定数は、1層と2層に減衰要素(減衰係数c)を1個ずつ、計2個を層間設置(inter-story)した場合の1次減衰定数の約2倍となることが分かった。

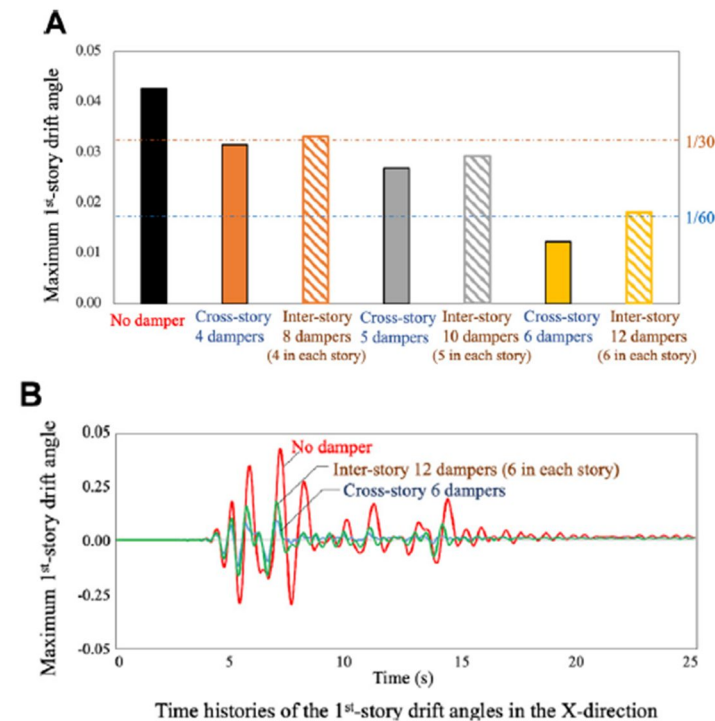
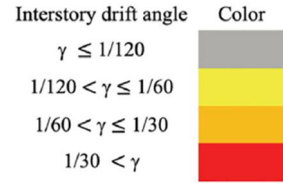


図 11 層またぎ設置、層間設置のダンパーの制振効果の比較



2階建て木造軸組住宅の1階(地震入力X方向)に小型オイルダンパーを設置し、2016年熊本地震(4月14日益城町観測波)の85%入力時の地震応答解析結果を図10に示す。

地震時応答は第1層の変形が支配的であり、ダンパーの設置台数を増やすと、第1層最大層間変形を低減することが可能である。7台設置する場合は、層間変形角を1/30以下に抑えることができ、倒壊を防ぐことが可能であることが示された。

小型オイルダンパーの「等価壁倍率」を評価するために、ダンパー4台の代わりに、耐震壁(壁倍率 $r=1\sim 5$)を4枚増設した場合の第1層最大層間変形角を比較した。ダンパー4台と壁倍率4の耐震壁4枚はほぼ同程度の応答低減効果を持つことが分かった。このことから、小型オイルダンパーの「等価壁倍率」は4弱程度であると言える。制振ダンパーの「等価壁倍率」

2階建て木造住宅(図5)に小型オイルダンパーを層またぎ(Cross-story)設置した場合、層間設置(inter-story)した場合の地震応答解析によるダンパーの制振効果の比較を図11に示す。ダンパーを層またぎ設置すると、層間設置した場合の半分のダンパー台数で同等以上の制振効果が得られることが示された。

層またぎ設置と層間設置の小型オイルダンパーの地震応答解析時の履歴ループ(変形~荷重関係)を求め、その面積からエネルギー吸収量を計算した。層またぎ設置ダンパーの履歴ループは大きく、1台で層間設置された2台のダンパーの総エネルギー吸収量よりも多くのエネルギーを吸収している。以上のことから、層またぎ設置によりダンパーの制振効果が高まり、その有効性が示された。

集成材を用いた中低層木造建築物の地震応答低減・耐震設計に関する研究成果

大断面集成材を用いた3層木造建築物(図8)の1階柱脚部のバネ値を増加させ、地震応答解析を行った。1階柱脚接合部のバネ値を40%増加させると、層間変形角は22%減少したことから、1階柱脚部のバネ特性が地震時の応答に影響を及ぼしていることが分かった。1階柱脚部のアンカーボルト設計に着目して、その設計変更を行うことで柱脚部の回転剛性を大きくし、地震応答低減の可能性を検討した(図12)。図12は、1階柱頭柱脚の回転剛性の比と各層の層間変形角の低減率を示したものである。柱脚部の回転剛性が柱頭部の回転剛性の6割に達するまで、層間変形角は低減することが分かる。

1階柱梁接合部や柱脚部のバネ剛性が地震応答に大きな影響を与えること、1階柱頭柱脚部の回転剛性比を小さくしないこと(0.6以上)が耐震設計上重要であることが示された。また、合板耐震壁や制振ダンパーの設置によっても地震応答が低減可能であることが分かった。

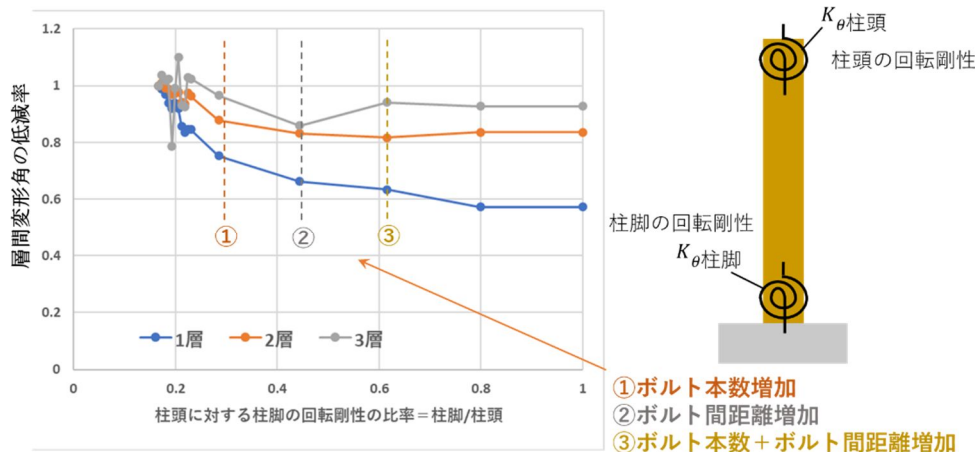


図12 1階柱頭柱脚の回転剛性の比と地震時応答の関係

構造用合板耐震壁を用いた低層木造建築物の終局耐震性能に関する研究成果

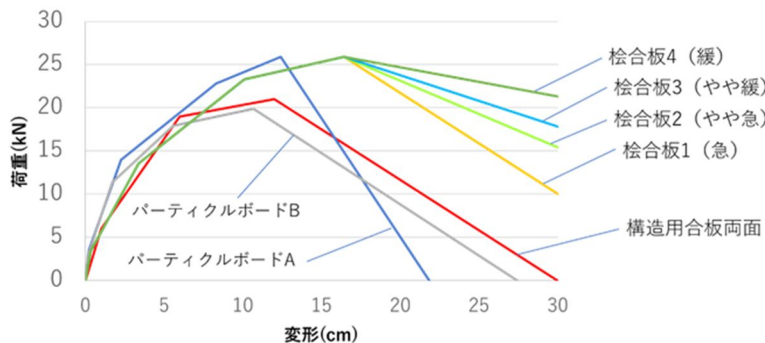


図13 検討した耐震壁の復元力特性

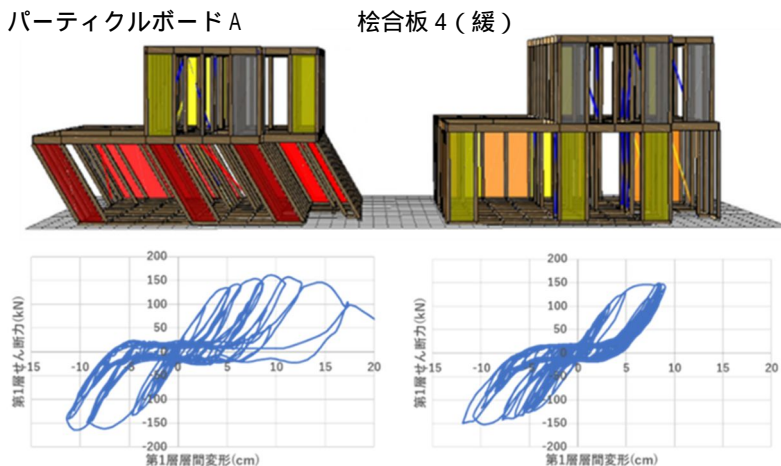


図14 2階建て木造住宅の地震応答解析結果

妥当であり、建物の耐力増、地震応答低減に効果があることが示された。

本研究で検討した4種類の耐震壁の復元力特性を図13に示す。桧合板については、最大耐力発生後の荷重減の負勾配を4通りに仮定した。これらの耐震壁を存在壁量が等しくなるように2階建て木造住宅(図8)に設置した。

BCJ波1.5倍入力による地震応答解析結果(図14)から、パーティクルボードAでは倒壊に至っているのに対して、桧合板4(緩)の場合は倒壊に至らない。本研究の結果から、用いる耐震壁の復元力特性(最大耐力発生後の耐力低下の特性)が木造住宅の終局耐震性能に差が及ぼすことが示された。

腰壁・垂れ壁設置2階建て住宅モデル(図9)の地震応答解析を行い、準耐力壁等での壁量増加により地震応答の低減効果が大きくなることが分かった。腰壁・垂れ壁は存在壁量に算入して存在壁量の増分を考慮することは

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Nakamura Yutaka, Matsumura Ryota	4. 巻 8
2. 論文標題 Cross-story installation of viscous dampers in timber frame houses for earthquake damage reduction	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Built Environment	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fbui.2022.1037832	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 影山結、中村豊	4. 巻 1
2. 論文標題 大断面集成材ラーメン構造における鋼板挿入ドリフトピン接合部設計が地震時応答に与える影響について	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本建築学会中国支部構造委員会 2022年度構造賞梗概集	6. 最初と最後の頁 19-22
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 -
1. 著者名 Nakamura Yutaka, Fujii Hinako	4. 巻 7
2. 論文標題 Earthquake Damage Reduction in Timber Frame Houses Using Small-Size Fluid Damper	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Built Environment	6. 最初と最後の頁 1-19
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fbui.2021.767741	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 松村涼大、中村 豊	4. 巻 1
2. 論文標題 層またぎ制振ダンパーによる木造住宅の耐震性能向上に関する研究	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 2021年度構造賞梗概集（日本建築学会中国支部構造委員会）	6. 最初と最後の頁 35,36
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 成田朋生、中村豊	4. 巻 1
2. 論文標題 木造住宅の制振ダンパーによる地震応答低減効果に関する研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 2019年度日本建築学会中国支部構造委員会・構造賞概要集	6. 最初と最後の頁 17-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 藤井日向子	4. 巻 1
2. 論文標題 制振ダンパーによる木造住宅の耐震性能向上に関する研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 2020年度日本建築学会中国支部構造委員会・構造賞概要集	6. 最初と最後の頁 37-38
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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1件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 影山結、中村豊
2. 発表標題 大断面集成材ラーメン構造の接合部性能が地震時応答に与える影響について
3. 学会等名 wallstatカンファランス2022
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>研究室の紹介「地震に対して安全な建物をつくる」 http://kenchiku-seisan.jp/publics/index/153/&anchor_link=page153#page153 木造住宅の制振ダンパーによる地震応答低減に関する研究 https://www.shimane-u.ac.jp/_files/00191159/2020031608.pdf</p>
--

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
---------	---------