

令和 3 年 5 月 5 日現在

機関番号：32407

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17K06653

研究課題名（和文）塗布状制振素材及びテープ状制振素材による木造制振耐力壁の開発と実棟3次元挙動解析

研究課題名（英文）Development and 3D analysis for wooden damping shear wall with coating type and tape type damping material.

研究代表者

那須 秀行（Nasu, Hideyuki）

日本工業大学・建築学部・教授

研究者番号：40611249

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：木造住宅用に「制振テープを併用した石膏ボード耐力壁」を研究開発した。各種実験（静加力、振動台、起振器等）を行いその力学的挙動を明らかにし最終仕様「エチレン系未発砲素材の片面接着」とした。その後、建物全体での3次元挙動解析を実施し倒壊の有無でこの制振効果を明らかにした。また、制振素材自体を劣化促進させた壁実験も行い実用化できる段階とした。

枠組壁工法向け摩擦系制振耐力壁に摩擦系ダンパーを用いた制振耐力壁を研究開発した。幾つかの試作仕様で静的・動的に各種実験を実施し、2018年度に最終仕様にて振動台実験を実施し複数回の極稀地震に対する当該装置の効果を定量的に検証、2019年度に実用化された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

木造住宅において巨大地震や交通振動による耐力劣化の抑制が最大の目的である。将来的な普及性を重視し市況で安定的に入手できる素材を制振材として活用し、かつ施工現場で工程的に負担とならぬような制振耐力壁を開発する。

木造住宅で多用される石膏ボード耐力壁に制振効果を発揮させるテープによる構法の研究を行う。また、枠組壁工法の新築木造住宅に用いられる摩擦ダンパー系制振耐力壁の研究開発を行う。これらの構法開発と並行して学術的な基礎データ（等価粘性減衰やパラッキ、テープ系制振素材自体の劣化等）も明らかにした。壁単体での実験結果を元に建物全体での3次元挙動解析も行い本研究による制振効果を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：Researched and developed "Gypsum board bearing shear wall with damping tape" for wooden houses. Various experiments (static force, shaking table, vibration generator, etc.) were conducted to clarify the mechanical behavior, and the final specification was decided as a "single-sided adhesion of ethylene-based material".

3D analysis of the entire buildings were carried out to clarify this damping effect with the presence or absence of collapse. Material experiments were also conducted to accelerate the deterioration of the damping material itself for practical use. We have developed a bearing wall system that uses a friction damper for the damping bearing wall for wood frame construction. Shaking table experiments were conducted with the final specifications in 2018, and the effect of the device against multiple extremely rare earthquakes were quantitatively verified. This system was put into practical use in 2019.

研究分野：木質構造

キーワード：木質構造 木造住宅 耐力壁 制振壁 静加力実験 振動台実験 促進劣化 3次元解析

### 1. 研究開始当初の背景

研究代表者は、これまで巨大地震後の現地調査において倒壊した多くの木造住宅を目の当たりにしてきた。「人々の暮らしの根幹である住宅。地震による耐力劣化を抑制し、倒壊防止と補修費を低減したい」との思いが強かった。

本研究課題申請時段階での国交省発表の平成27年度データでは住宅の新築戸数は909,299戸うち木造504,318戸、ストックは約6063万戸とされていた。本研究を進めれば、戸建住宅では新築の約8割、既存ストックの約9割を占める木造住宅の安全性向上に寄与できる。在来木造だけでなく、内装に石膏ボード等の面材を用いる構法、すなわち枠組壁工法も含め、いずれの木造住宅でも多くの効果を出せると見込んだ。

これまでの木造制振技術には、耐力壁内のコーナーにオイルダンパーを用いたものや鋼板と高価なエネルギー吸収ゴムを埋設した商品等があったが、高価で特殊施工も必要なクローズド技術であり、一般工務店には利用できず、普及にも至っていない。そこで本研究課題では、誰もが活用できる技術としてオープン提供すべく、市況で安価に入手できる一般材料を制振素材として活用し、施工も現場負担とならない制振耐力壁を制定すべく研究を進めようとしていた。本研究課題の前段階として、制振材として一般に入手しやすい塗布コーキング材やゴム系テープなど弾性材の他、紙ヤスリやブレーキパッドのような摩擦系素材等を活用しダンピング効果を得ようと数年前から既に試みていた。本研究課題の開始時点までに仕様を絞り込み、地震波の違いによる影響、温度依存性等を明らかにしていた。

一方、木造住宅全体での3次元応答解析手法ができつつあったことから、振動台実験や構法開発と並行して建物全体に本研究成果を適用した場合の効果について3次元解析も進めようとしていた。

### 2. 研究の目的

本研究は大地震等による木造耐力壁の耐力劣化の抑制を目的としている。倒壊を免れるのは勿論のこと、仮設住宅への避難も必要無く、且つその後の補修費も殆どかからない木造住宅を広く一般に提供したい、これが本研究の目的、思いである。

本研究課題「塗布状制振素材及びテープ状制振素材による木造制振耐力壁の開発と実棟3次元挙動解析」は、木造住宅の耐力壁において巨大地震や交通振動による耐力劣化の抑制が最大の目的であり、将来的な普及性を重視し、市況で安定的に入手できる素材を制振材として活用し、かつ施工現場で工程的に負担とならぬような制振耐力壁の開発がゴールである。

木造住宅に対しテープ状のダンピング材又は摩擦材で振動エネルギーを吸収させる技術である。本研究課題を通して、主として、新築・リフォーム問わず在来木造構法用の石膏ボード耐力壁に用いて制振効果を発揮させる片面接着テープによる構法の実用化に向けて研究開発を行う。また、枠組壁工法の新築木造住宅に用いられる摩擦ダンパー系制振耐力壁の研究開発を行う。

これらの構法開発と並行し、学術的な基礎データとして、等価粘性減衰定数や同じ制振耐力壁での個体のバラツキ範囲や、テープ系制振素材の劣化の影響などについても明らかにしていく。併せて、壁単体での実験結果や挙動解析結果を元に、建物全体で3次元挙動解析と実棟計測も行い効果を定量的に明らかにする。これらの知見をオープン技術として提供する。

### 3. 研究の方法

研究に関する実験手法として、次に記す(1)～(3)の主に3つの手法を用いた。また、(4)に示す解析手法で当該ゴム系制振壁の倒壊挙動も再現した。

#### (1) 振動台実験およびその試験体による劣化度合い検証用の静加力実験（於 京都大学）

まず京都大学の宇治キャンパスにある防災研究所の強震応答実験装置を利用し、各制振耐力壁仕様に対し極大地震を再現したダメージを与えた(写真1参照)。その後、当該試験体そのものを同キャンパス内にある生存圏研究所に移し、そこで極大地震ダメージを受けた試験体の残存耐力を静加力試験装置により丁寧に検証するという手法である。

この方法により、これまで様々な特徴（ゴム自体の硬さ、粘着力、発泡の有無）を持った素材を用いて制振耐力壁の比較検証や考察を行ってきた。最終仕様としては、比較的安価に入手できるエチレン系のゴムを利用して、接着剤は片面のみに設けることとした。接着面を片面と



写真1 振動台実験（於 京都大学）

することで飛躍的に施工性が向上した。更に、接着面を片面のみにしても、振動台実験時に応答変位を低減し、十分な劣化抑制性能を保持することが明らかとなった。

(2) 静加力実験による試験体および制振素材の劣化度を検証 (於 日本工業大学)

上述(1)の振動台実験は大掛かりとなり実験費用が嵩むことから、仕様の絞り込みや改良開発のためのプレ実験を静加力実験により行った(写真2参照)。並行して、制振素材そのものの材料劣化促進試験を素材メーカーに依頼したが、その促進劣化後の素材を用いた制振耐力壁の性能比較検証についてもこの方法にて実験を実施した。



写真2 静加力実験 写真3 起振機実験 (いずれも於 日本工業大)

(3) 起振機実験による長期にわたる中地震に対する劣化度合いを検証 (於 日本工業大学)

当初の研究計画では、最終年度についても京大の強振応答装置を利用する(1)の実験を予定していたが、当該強振装置が故障した旨の知らせを受けたこと、加えて既に極大地震での実験は概ね終了していたことから、日本工業大学内にて起振機(小型ではあるが本学の既存装置)を用いて、中地震における制振耐力壁の検証実験を行った(写真3参照)。50年間に及ぶ中地震の発生頻度を気象庁データから抽出しそれを蓄積した起振としてダメージを与えた。終了後、そのまま静加力実験により累積起振ダメージの有無で劣化具合の違いを検証した。

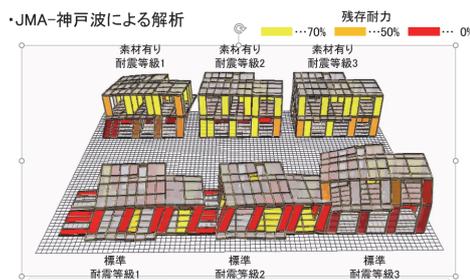


図1 wallstatによる解析結果の例

(4) 解析手法により、住宅一棟全体での挙動予測

別途静加力実験によって得られた各挙動をモデル化し、3Dでの振動解析と実験の比較も行った上で制振パネルの有無による効果を定量的に検証した。

また、木造住宅倒壊解析ソフトwallstatを用いて、当該ゴム系制振壁の倒壊挙動を再現する為、静加力実験のみを行う仕様も用いて制振壁のモデル化を行った。倒壊解析は住宅1棟全体で行い、石膏ボード一般仕様(素材なし)と石膏ボード壁部分をゴム系制振壁に変更した仕様で倒壊挙動を比較した。

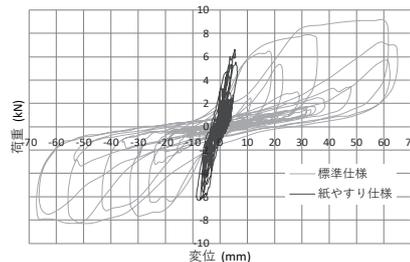


図2 標準仕様と制振仕様の比較の例

4. 研究成果

本研究課題の期間に京都大学防災研にて実施した振動台実験は、大きく分けて2タイプがある。ひとつは2017年度に行った壁単体での実験で、寸法：壁幅芯々910mm×高さ2742.5mm×厚105mm、重量：約530kg(設計用の錘を含む)で計5体行った。もうひとつは2018年度のボックス形状での実験(写真1)で、寸法：壁幅芯々2400mm×高さ2730mm×厚95mm、重量：約4.76t(設計用の錘を含む)で計2体行った。京都大での振動台実験は計7体を実施した。それらの中からごく代表的な検証結果の例を図2と図3に示す。

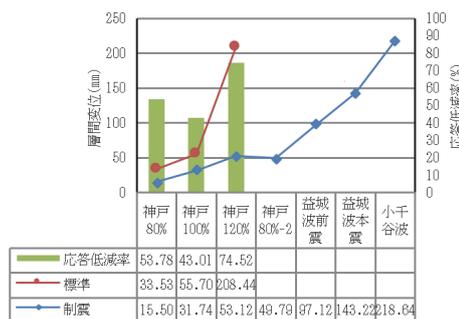


図3 各地震波の最大層間変位と応答低減率の比較の例

個別の研究成果は本報告書5.に示す主な発表論文等に記載した通りである。また、その他の静加力実験、起振機実験など多くの実験を通して改良や更なる検証を含む研究を進めてきたが、大略すると次のように集約される。

まず、在来構法向け制振耐力壁については、2017年度に・個体差によるバラツキ範囲の検証、・制振素材を促進劣化させた壁の振動台および静加力実験、・建物全体での3次元挙動解析を実施した。これらの成果として、実用面(効果や施工性、コスト等)を勘案し最終制振仕様を「エチレン系未発砲素材の片面接着」と決定できた。次に、この最終仕様にて同一仕様における性能のバラツキ度を検証すべく3体の振動台実験及び静加力実験を実施した結果、・振動台実験での挙動にほぼ差はなく、・静加力実験での残存耐力は約2割の低下に抑えられ、・残存耐力どうしのバラ

ツキは 3 割程である事を明らかにした。その後、制振素材を更に劣化促進させた壁実験も実施し、水平せん断力に対する剛性の向上と靱性の低下を定量的に検証した。これについては、更に長期間にわたる制振素材そのものの劣化の影響を検証すべく、現在も劣化促進試験を継続中である。2018 年度は、建物全体での 3 次元挙動解析では本制振耐力壁の効果を倒壊の有無で定量的に検証した。2019 年度は、既存建物を想定し防水フィルム等含めた実仕様にて制振耐力壁の静加力実験で効果を検証した。

一方、枠組壁工法向け摩擦系制振耐力壁については、2017 年度に・摩擦系ダンパーを用いた制振耐力壁の研究を進め、幾つかの試作仕様で実験を実施した。2018 年度は最終仕様にて振動台実験を実施し、複数回の極稀地震に対する当該装置の効果を定量的に検証し、2019 年度に実用化もされた。2019 年度には 50 年相当に及ぶ中地震を想定した起振機実験を各壁仕様ごとに個別に実施し、各仕様別に固有振動数の違いによる影響を検証した。2020 年度には各仕様を直列で繋ぎ実建物のように各仕様が同一変位となる状況を再現した上で、再度起振器実験を行った。

本研究課題による研究成果は、国際学会 WCTE2018、京都大学生存圏研究所シンポジウム(発表 3 編)、修士論文(2 編、優秀論文賞含む)、建築学会の大会梗概(7 編)、関東支部発表(1 編)、日本建築学会技術報告集(査読付)などの研究実績となった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2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 1件）

1. 著者名 里見凌一、後藤尚哉、齊藤義克、那須秀行	4. 巻 第26巻、第62号
2. 論文標題 枠組壁工法へのシアリンク式摩擦ダンパーの適用に向けた研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本建築学会技術報告集	6. 最初と最後の頁 97, 102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aijt.26.97	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 -

1. 著者名 那須秀行	4. 巻 第47巻第3号
2. 論文標題 木質構造研究室中高層スケルトン躯体、制振技術等を活用し、新しい木造建築の可能性を広げる	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本工業大学研究報告	6. 最初と最後の頁 pp.72-77
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計16件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 川嶋貴生、照井清貴、加藤大喜、大西郷、那須秀行
2. 発表標題 制振素材を用いた木造耐力壁の劣化抑制に関する研究 促進劣化された制振テープによる検証
3. 学会等名 日本建築学会大会（学術講演梗概集 投稿済み）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山崎歩、齊藤義克、大西郷、那須秀行
2. 発表標題 スウェーデン式枠組壁工法における摩擦系制振壁の開発 繰り返される中小地震が異種の耐力壁に及ぼす影響について
3. 学会等名 日本建築学会大会（学術講演梗概集 投稿済み）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川嶋貴生、加藤大喜、照井清貴、大西郷、那須秀行
2. 発表標題 制振素材を用いた木造住宅の耐力劣化抑制に関する研究 石膏ボード準耐力壁に対する制振テープの効果
3. 学会等名 日本建築学会大会（学術講演梗概集 講演番号22125）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山崎歩、齊藤義克、大西郷、那須秀行
2. 発表標題 スウェーデン式枠組壁工法における摩擦系制振壁の開発 繰返される中地震が制振耐力壁の構造性能に及ぼす影響について
3. 学会等名 日本建築学会大会（学術講演梗概集 講演番号22233）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 那須秀行、山崎歩、齊藤義克、所健、大西郷
2. 発表標題 スウェーデン式枠組壁工法における摩擦系制振の開発 ～繰返される中地震が制振耐力壁の構造性能に及ぼす影響～
3. 学会等名 令和元年度 京都大学生存圏シンポジウム 木質材料実験棟共同利用研究発表会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川嶋貴生、加藤大喜、照井清貴、那須秀行
2. 発表標題 制振素材を用いた木造住宅の耐力劣化抑制に関する研究 実仕様の石膏ボード準耐力壁に対する制振テープの効果について
3. 学会等名 日本建築学会関東支部研究発表会（学術講演梗概集 講演番号2042）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 齊藤義克、里見凌一、後藤尚哉、那須秀行
2. 発表標題 枠組壁工法へのシアリンク式摩擦ダンパー適用に向けた研究 その1 静加力実験での検証
3. 学会等名 日本建築学会大会（学術講演梗概集 講演番号22225）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 里見凌一、齊藤義克、後藤尚哉、那須秀行
2. 発表標題 枠組壁工法へのシアリンク式摩擦ダンパー適用に向けた研究 その2 振動台実験での検証
3. 学会等名 日本建築学会大会（学術講演梗概集 講演番号22226）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 後藤尚哉、齊藤義克、里見凌一、那須秀行
2. 発表標題 枠組壁工法へのシアリンク式摩擦ダンパー適用に向けた研究 その3 時刻歴応答解析での検証
3. 学会等名 日本建築学会大会（学術講演梗概集 講演番号22227）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 那須秀行、里見凌一、後藤尚哉、齊藤義克
2. 発表標題 枠組壁工法へのシアリンク式摩擦ダンパー適用に向けた研究
3. 学会等名 平成30年度 京都大学生存圏シンポジウム 木質材料実験棟共同利用研究発表会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryouichi Satomi, Hideyuki Nasu, Kiyotaka Terui, Hiroshi Kawase
2. 発表標題 STUDY ON STRENGTH DEGRADATION SUPPRESSION OF WOODEN SHEAR WALLS BY DAMPING MATERIALS: THE INFLUENCE OF DIFFERENCES IN CONSTRUCTION CONDITION AND CONSTRUCTION ACCURACY
3. 学会等名 WCTE 2018 (World Conference on Timber Engineering 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 里見凌一、後藤尚哉、齊藤義克、那須秀行
2. 発表標題 摩擦ダンパーを用いた木造柱組壁の構造性能 静加力実験時のダンパー性能の抽出
3. 学会等名 日本建築学会大会 (学術講演梗概集 講演番号22038)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柳原直也、里見凌一、那須秀行、北守顕久、川瀬博、照井清貴
2. 発表標題 制振素材による木造住宅の耐力劣化抑制に関する研究 その8 倒壊解析シミュレーション
3. 学会等名 日本建築学会大会 (学術講演梗概集 講演番号22226)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 那須秀行、柳原直也、里見凌一、川瀬博、北守顕久
2. 発表標題 制振素材の劣化を想定した木造制振耐力壁の効果に関する研究
3. 学会等名 H29年度 京大大学生存圏シンポジウム 本質材料実験棟全国共同利用研究報告会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柳原直也、里見凌一、那須秀行、川瀬博、北守顕久、森拓郎、照井清貴
2. 発表標題 制振素材による木造住宅の耐力劣化抑制効果に関する研究 その6 ゴム系素材の制振効果
3. 学会等名 日本建築学会大会（学術講演梗概集 講演番号22137）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 里見凌一、柳原直也、那須秀行、川瀬博、北守顕久、森拓郎、照井清貴
2. 発表標題 制振素材による木造住宅の耐力劣化抑制効果に関する研究 その7 施工状態の違い、施工精度の違いによる影響
3. 学会等名 日本建築学会大会（学術講演梗概集 講演番号22138）
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<ul style="list-style-type: none"> <li>・教員紹介 教員紹介 建築学部建築学科建築コース 教授/那須秀行[木質構造] <a href="https://www.nit.ac.jp/campus/teacher/at_nasu">https://www.nit.ac.jp/campus/teacher/at_nasu</a></li> <li>・木質構造研究室 <a href="https://www.nit.ac.jp/department/architecture/lab/lab2/wood">https://www.nit.ac.jp/department/architecture/lab/lab2/wood</a></li> <li>・那須研究室 NasuLab. <a href="http://leo.nit.ac.jp/~nasu.hid/">http://leo.nit.ac.jp/~nasu.hid/</a></li> <li>・Facebook Timber Engineering Lab. <a href="https://www.facebook.com/Timber-Engineering-Lab-232240306849456/">https://www.facebook.com/Timber-Engineering-Lab-232240306849456/</a></li> </ul>
--

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			
Sweden	Lurea Tekniska Universitet			