

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 23 日現在

機関番号：32689

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26630259

研究課題名(和文) アルミ合金押し成型材を用いた組立型制振壁の提案と実用化

研究課題名(英文) Study of Wooden Shear Wall with Aluminum alloy Damper

研究代表者

新谷 真人 (ARAYA, MASATO)

早稲田大学・理工学術院総合研究所(理工学研究所)・名誉教授

研究者番号：30434319

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、主に、アルミニウム合金材によるエネルギー吸収効率の高い木質耐力壁の開発を中心に進めた。各種のシミュレーション、構造最適化手法等を用いて形状は決定された。接合部試験、実大試験等の結果を基に動的シミュレーションなどを実施し実建物への適用性を検証した。一方で、実物大の耐力壁の性能試験では、想定した性能に届かない傾向が見て取れた。そこで、新たに、組立壁形式であるが、鋼材を用いたエネルギー吸収材を層崩壊被害の特に多い低層木造建築物を対象に層間変形を一様化する機能を有する制振装置への適用を提案し、その有効性を静的載荷実験と2次元フレーム解析により検証することも実施した。

研究成果の概要(英文)：We studied and proposed about wooden shear wall with aluminum alloy dampers. Based on the simulation result, the static cyclic loading test on the connection was conducted to examine the mechanical performance of the connection. And, from the performance test of the bearing wall with the proposed aluminum dampers, assumed performance was not obtained because of the plasticity at the connection point between aluminum dampers and wooden surface. And, we developed the other system with steel dampers. The seismic device which consists of mechanical linkage and steel dampers has been proposed to prevent wooden houses from soft-story mechanisms under severe seismic excitation.

研究分野：建築構造

キーワード：木造 ダンパー アルミ合金 制振

1. 研究開始当初の背景

軽量形鋼・アルミ合金材・木材などの部材は、小断面の規格材が一般的であり安価である。小断面部材はその形状から、曲げ変形が卓越する特徴をもつ。そのため水平抵抗要素として用いた場合、低剛性だが高靱性な挙動を示す。一方、耐震性を高めるために、RC や鋼材により耐震壁を設計で用いた場合、水平剛性が高いが、脆性的な形式となりやすい。このように剛性と靱性はトレードオフの関係にあると言え、RC や鋼材の耐震壁の研究においては、高靱性化に関する研究が多く成されている。

2. 研究の目的

上述の背景を基に、本研究では、小断面部材の部材間の接合材により部材を一体化することで剛性を高め、その接合材の耐力を制御することで小断面部材より先に接合部が降伏し、その後、部材の曲げ変形が卓越することで高靱性を獲得する、安価で高い剛性および優れた履歴・減衰特性をもつ制振壁を新たに提案する。

3. 研究の方法

本研究では、主に、アルミニウム合金材によるエネルギー吸収効率の高い木質耐力壁の開発を中心に進めた。一方で、実物大の耐力壁の性能試験では、アルミエネルギー吸収材と木造部の接合箇所が原因で想定した性能に届かない傾向が見て取れた。そこで、共同研究者らと新たに、組立壁形式であるが、鋼材を用いたエネルギー吸収材を層崩壊被害の特に多い低層木造建築物を対象に層間変形を一様化する機能を有する制振装置への適用を提案し、その有効性を静的載荷実験と2次元フレーム解析により検証することも行った。以下に、アルミニウム合金材によるエネルギー吸収効率の高い木質耐力壁（以降、アルミ組立制振壁）と、鋼材を用いたリンク式制振装置を用いた木造建物への検証結果について各々概要を述べる。

3-1. アルミ組立制振壁

アルミ組立制振壁の概要を図1に示す。壁と梁との接合部が最大耐力の決定要因となる既存の壁に対して、壁を分割し、壁内部にアルミエネルギー吸収材(以後、アルミ EN 吸収材 と称する)を設置し接合部ではなく、アルミ EN 吸収材が先行して降伏する形式とする。アルミ EN 吸収材は、稀地震までは、弾性状態にあり、壁は高剛性となる。極稀地震時にアルミ EN 吸収材が降伏することで履歴によるエネルギー吸収応答を低減させる形式とする。

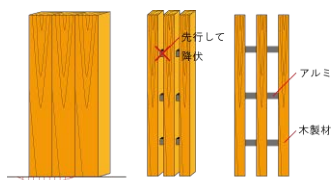


図1 アルミ組立制振壁

3-2. 鋼材を用いたリンク式制振装置

図2に鋼材を用いたリンク式制振装置を設置した2層軸組の模式図を示す。高剛性・高強度の部材(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、各層の層間変形角の差を低減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応答低減を図る。

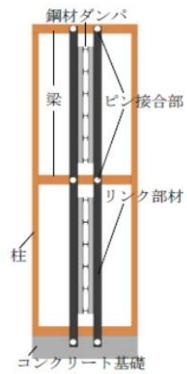


図2 リンク式制振

4. 研究成果

4-1. アルミ合金エネルギー吸収材の性能検証

アルミ EN 吸収材の形状決定法を述べ、決定手法から導き出される形状が、目的性能を満たしているか解析・実験の双方で検証を行った。

はじめに、アルミ組立制振壁をモデル化したものに対して、有限要素法を用いたパラメトリックスタディにより EN 吸収材の目標剛性値と目標降伏変位の決定を行った。次に位相最適化手法であるESOに基づく最適化アルゴリズムにより、設定した設計範囲において均一な応力分布を持つための部材形状を求め、EN吸収材の形状の目的性能値は3次曲線で表される形状として決定した。

最終的な形状は、上記で算出した形状の目的性能値を満たす有限要素モデルを乱数法により複数作成し、剛性と降伏変位の目的性能値を満たすモデルを抽出することによって決定を行った。また、決定に際して有限要素モデルの vonMises 応力の標準偏差を評価することによって、断面中での応力分布の均一さの評価もあわせて行った。解析結果を図3、決定した EN 吸収材形状を図4に示す。

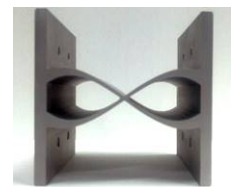
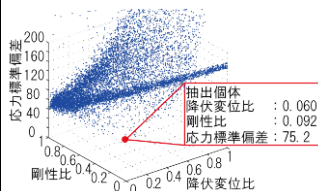


図3 抽出個体位置

図4 EN 吸収材

決定した形状に対して、性能を検証するため実験を行った。実験は木製材を模擬した木材間にアルミ EN 吸収材を設置したもので行った。試験の様子を図5、荷重変形関係を図6に示す。ひずみゲージから得られたひずみ分布から、境界条件は左右対称な形式であることを確認できた。得られた履歴性状から、スリップ性状が出ていないため、アルミ EN 吸収材そのものの挙動が発揮されていると考

えられる。そのためアルミ組立制振壁の検討には、本実験結果をモデル化したものを使用することとした。

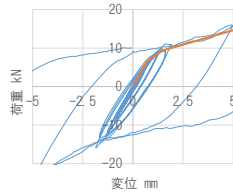
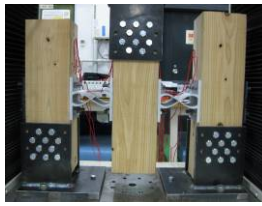


図5 EN 吸収材試験 図6 モデル化結果

4-2. アルミ組立制振壁の静的性能評価
アルミ組立制振壁の性能検証を解析と実験の2つの手法で検討を行った。有限要素法の静的増分解析を行うことで、壁の剛性、骨格曲線の実験前の事前検討を行った。解析においてEN吸収材の性能は第2章で得られた実験結果からの剛性とした有限要素法解析結果を用いて骨格曲線、初期剛性の検討を行った。実験概要を図7、結果を図8に示す。実験においてのパラメータはEN吸収材の位置とした。試験から得られた結果、位置よる剛性の大小関係は解析での想定と等しくなったが、剛性は1/2程度の値をとっており、解析と大きな差異があった。また、履歴性状としては想定していた紡錘形状ではなく、スリップ型の履歴性状を示し、1/20rad程度まではアルミEN吸収材の降伏も確認できなかった。

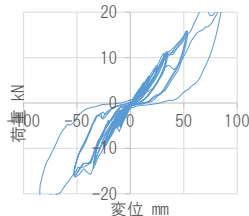


図7 実験概要 図8 荷重変形関係
た。

表1 解析と実験の比較

	解析値 N/mm ²	実験値 N/mm ²	解析値/実験値
端寄せモデル	286.5	281	1.0
中央寄せモデル	281.0	297	0.9
等間隔モデル	308.7	361	0.9
フレームのみ	32.9	38.6 (12.8)	0.9 (2.6)

実験結果と解析結果の剛性が大きく異なる理由が、履歴がスリップ性状であること、および鉛直部材の引き抜け・めり込み量が多いことから、鉛直材-梁材接合部の剛性が想定よりも小さかったと考え検討を行った。鉛直材が下梁に等変位めり込みしていると仮定してめり込み基準式より圧縮剛性を求め、それをもとに解析を行った。その結果を表1に示したが、解析値と実験値がおおむね一致

した。

4-3. アルミ組立制振壁の動的性能評価
建物モデルへ適用し時刻歴応答解析を行うことで組立壁の動的性能検証を行った。適用する建物モデルは、小規模木造の例として延床面積132.5m²の2階建て在来軸組住宅、中規模木造の例として延床面積972.0m²の4階建て事務所ビルの2つを設定した。使用する地震波は、極まれな地震動を想定するため標準3波の最大速度を50kineになるように拡幅したものを設定した。また、壁はブレース置換によりモデル化を行い、比較対象として、既往研究で得られたスリップ状の履歴を示す壁部材も合わせてモデル化を行っている。解析では剛性比例として減衰を与え、平均化速度法を用いて行った。解析結果の例として中規模木造へ適応した際の応答結果を図9に示す。中規模木造においては、高い応答低減効果があることが確認された。小規模木造に対しては、応答はあまり低減されなかったものの、壁によるエネルギー吸収量は、最大で7倍となっており、組立壁によるエネルギー吸収効果を確認することができた。

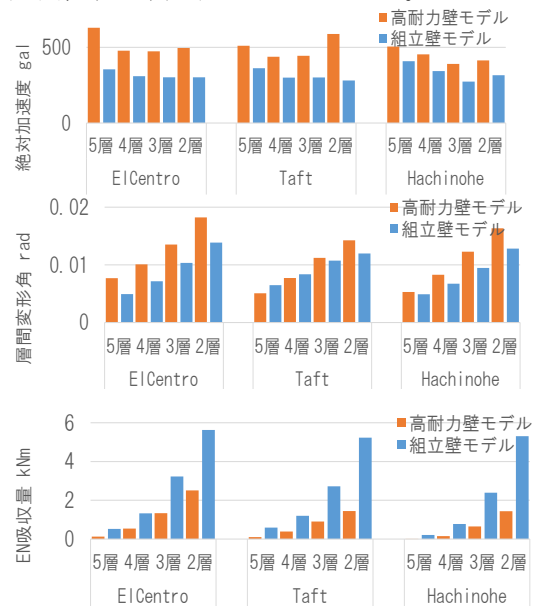


図9 中規模木造 応答結果

4-4. 鋼材を用いたリンク式制振装置の動的性能評価

3次元フレームモデルを用いた時刻歴応答解析を行い、鋼材を用いたリンク式制振装置を2層戸建て木造住宅に適用した場合の地震応答性状について検討する。用いた建物モデルは、図11に示す過去に実大の振動台実験が実施された2層木造建築物をモデル化したものである。各階の質量は2階が9.1t、屋根が9.2tである。主な耐震要素は、断面寸法が45×105(mm)の片筋交いおよび両筋交いであり、それらの復元力特性は拡張NCLモデル3)により模擬した。本解析では、図11に示す位置に合計4基の鋼材を用

いたリンク式制振装置を設置している。リンク部材の断面は C-150×75× 9×12.5(mm) とし、ダンパは、H-100×100×6×8 をカットして製作した鋼材ダンパを 1 層部分および 2 層部分にそれぞれ 6 個設置した。リンク式制振装置と主構造とのピン接合部は、3 節の実験結果の荷重変形履歴を模擬した 3 本のばね要素として図 10 のようにモデル化した。復元力特性は、面内繊維方向および面内繊維直交方向においては拡張 NCL モデルを使用し、面外方向においては解析により非線形に至らないことを確認したため、線形ばね要素を使用した。時刻歴応答解析の数値積分には Newmark β 法 ($\beta = 0.25$) を用い、刻み時間は 0.001s として OpenSees により解析を行った。入力地震動には、リンク式制振装置を設置しない状態で層崩壊に至る入力として、1995 年兵庫県南部地震での JR 鷹取駅観測波 NS 成分を 50% に規準化した加速度波形を用い、図 8 に示す X 方向、Y 方向のそれぞれに入力した。解析結果は以下のようなものであった。①主構造のみの場合、②リンク部材を設置した場合、③ダンパを併用した場合について、各層の最大層間変形角および③の場合のピン接合部ばねの最大抵抗力を図 12 に示す。いずれの方向からの地震動入力に対しても、装置による層間変形角の一樣化効果を確認できる。また、ピン接合部ばねの最大抵抗力は実験で得られた最大荷重を下回っており、提案する接合部は十分な耐力を有していると判断できる。

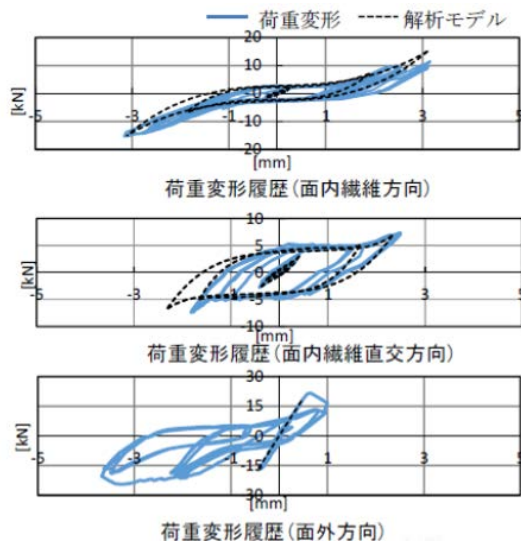
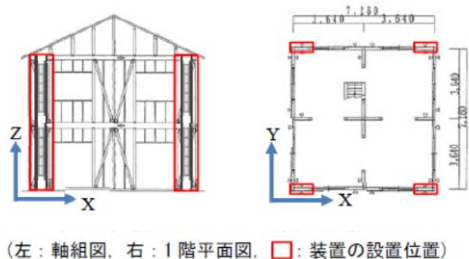


図 10 リンク式制振装置の荷重変形履歴



(左：軸組図、右：1階平面図、□：装置の設置位置)

図 11 解析に用いた建物モデル

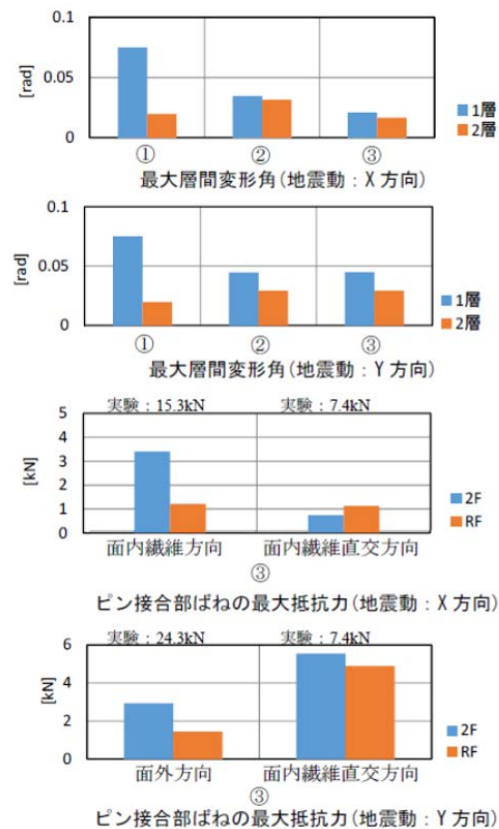


図 12 応答解析結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 7 件)

1. 森川翔平, 宮津裕次, 中村尚弘, 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, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2017.、査読無
2. Shohei Morikawa, Yuji Miyazu, Naohiro Nakamura, Three-dimensional seismic response of two-story wooden buildings with seismic devices using mechanical linkage, proceedings of X International Conference on Structural Dynamics, 2017、査読有
3. Y. Miyazu, T. Hasegawa, S. Morikawa, Seismic response control of wooden buildings using mechanical linkages with steel dampers, Proceedings of the 6th Asia Conference on Earthquake Engineering, Cebu City, Philippines, Paper No. B3-16, 2016、査読有
4. 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, C-1, pp. 421 - 422, 2016.、査読無
5. 森川翔平, 宮津裕次, 層間変形を一樣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発表会, pp. 129 - 132, 2016.、査読無
6. 夏目大彰, 前田寿朗, 山田俊亮, 新谷眞

人, 江尻憲泰, 松野浩一, アルミニウム合金製エネルギー吸収材を用いた木質組立壁に関する研究, 学術講演梗概集, 337-338, 2015、査読無

7. 田村純太郎, 山田俊亮, 新谷真人, 松野浩一, 上梁を有する木質厚板耐力壁の水平荷重時の性能評価手法に関する研究, 日本建築学会学術講演梗概集, 567-568, 2014、査読無

6. 研究組織

(1) 研究代表者

早稲田大学・理工学術院総合研究所・
名誉教授
新谷真人 (ARAYA, Masato)
研究者番号 : 30434319

(2) 研究分担者

安田女子大学・家政学部・助教
山田俊亮 (YAMADA, Shunsuke)
研究者番号 : 80580076

広島大学・工学研究科・助教
宮津裕次 (MIYAZU, Yuji)
研究者番号 : 70547091