

平成 21年 6月 1日 現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2006～2008

課題番号：18360260

研究課題名（和文） 木質軸組戸建住宅用制振壁の開発とその評価法・設計法の提案

研究課題名（英文） Development of Energy Dissipation Wall for Conventional Post-and-Beam Wooden House and Proposal of Estimation-and-Design Method

研究代表者

坂田 弘安 (SAKATA HIROYASU)

東京工業大学・応用セラミックス研究所・准教授

研究者番号：80205749

研究成果の概要：

木質軸組戸建住宅用制振壁の開発を行い、これを組み込んだ木質制振住宅を構成する要素（柱・横架材接合部、耐力要素、非構造部材）の強制変形実験と木質架構の振動台実験を行い、既存構法との比較を通してそれらの力学的挙動を把握した。実験に基づいて木質制振架構を解析用フレームモデルへと置換する手法を示し、そのフレームモデルを用いて制振壁による地震応答低減効果を示した。木質制振架構をモデル化した1質点系の地震最大応答評価法・制振設計法を提案し、その手法の妥当性を示した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	5,400,000	1,620,000	7,020,000
2007年度	6,900,000	2,070,000	8,970,000
2008年度	2,400,000	720,000	3,120,000
年度			
総計	14,700,000	4,410,000	19,110,000

研究分野：建築構造学（木質構造）

科研費の分科・細目：建築学 ・ 建築構造・材料

キーワード：戸建木造住宅，パッシブ制振，接合部，振動台実験，フレーム解析，等価線形化

## 1. 研究開始当初の背景

これまでの機能性・利便性だけを追及して発展してきた工学分野においても、地球環境問題を意識した取り組みが必要不可欠となっている。地球環境問題を解決していくために、建築物をサステナブルかすることは大変有効であり、現在様々な取り組みが行われている。建築に求められるサステナビリティとは、環境破壊を抑制し地球環境を保全すること、資源の枯渇を防ぐべく省資源や効率の良い資源循環を実現することといった、人類の生存にかかわる地球規模での問題の一役を

担う課題として捕らえなくてはならない。木質材料は環境にやさしい材料の一つであるということは共通認識となっている。この木質材料を用いて、地球に炭素固定源つくることが地球環境問題の解決に対して一つの重要ポイントである。

このような観点から、国民の大多数が生活の基盤としている戸建住宅、特に木質軸組戸建住宅の耐震性・サステナビリティを高めることにより、環境負荷の低減にも貢献することができると思われる。

## 2. 研究の目的

木質軸組戸建住宅を対象として、これに一般の制振技術を展開して耐震性およびサステナビリティを高める。新築・既存住宅に典型的な軸組形式を対象とする。木質戸建住宅のように低層で軽量の構造の地震応答や制振技術に関する未解決の問題を解く。即ち、木質架構の力学特性を加味した接合法の開発、短周期領域での地震応答やその抑制法について、接合部、ダンパー、制振システムそれぞれの詳細な実験と解析により探求し、応答低減・損傷制御に優れた戸建制振住宅の開発を行う。さらにその評価法・設計法も提案し、これらの健全な普及も目的とする。

## 3. 研究の方法

研究は以下の5段階に分けて行った。

### (1) 柱横架材接合部の強制変形実験

軸組木質住宅全体の挙動に大きく影響すると考えられる柱横架材接合部に対して、柱軸方向力・曲げモーメント・柱せん断力を与えたときの挙動を実験(図1)により把握する。一般的な金物や制振壁用金物を用いた柱横架材接合部を試験体とし、計135体の実験を行った。

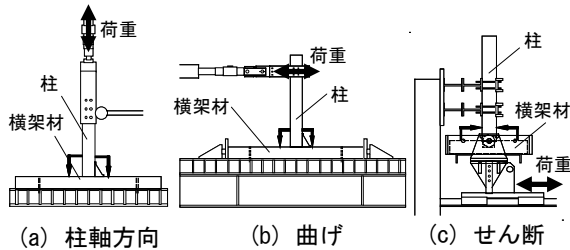


図1 柱横架材接合部の強制変形実験

### (2) 壁要素の強制変形実験

粘弾性ダンパーや摩擦ダンパーによる制振壁、構造用合板による既存耐力壁、石膏ボードによる内壁、窯業系サイディングやモルタル塗りによる外壁(図2)の強制変形実験を行った。試験体はそれぞれ1Pのものと3Pのものがあり、計21体の実験を行った。

### (3) 軸組木質制振架構の振動台実験

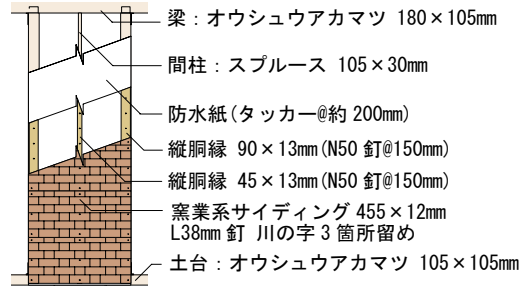
軸組木質住宅における雑壁等の非構造部材の影響を排除して耐力要素のみの挙動に着目した2層木質架構(図3)と、それに非構造部材として内外装材を付加した2層木質架構の2種類の試験体に対して振動台実験を行った。試験体数は計13体である。

### (4) フレームモデルによる地震応答解析

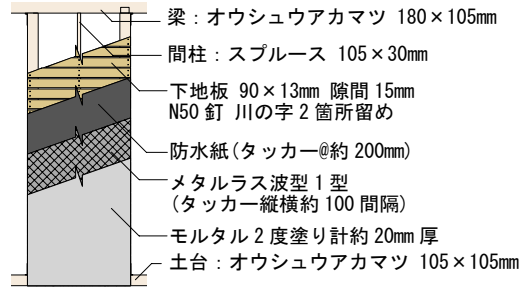
上述した柱横架材接合部の強制変形実験に基づきフレームモデルを作成した。フレームモデルの精度確認後、そのモデルの条件を様々に変化させた地震応答解析を行った。

### (5) 等価線形化手法を用いた最大応答評価

等価線形化と線形応答スペクトル低減化



(a) 窯業系サイディング外壁



(b) モルタル塗り外壁

図2 外壁の詳細(接合部には内使いL型金物1つ配置)

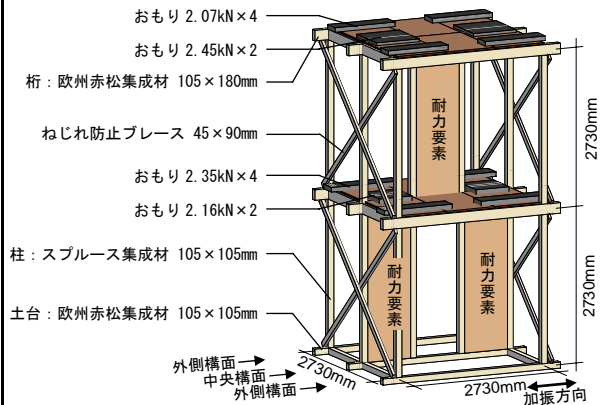


図3 3P壁の変形状態

に基づき、木質架構特有のスリップ型復元力特性を有する構造の地震応答予測法および制振設計法を提案した。12960ケースの検討で予測精度を検証した。

## 4. 研究成果

研究の方法に合わせ、以下の5つに分けて成果を述べる。

### (1) 柱横架材接合部の強制変形実験

①柱横架材接合部の柱軸方向力・曲げモーメント・柱せん断力に対する各外力と変形の間関係を整理・把握し、制振設計を行う際に適した金物を選定するための基礎資料を作成した。また、後述するフレームモデル作成のための基礎資料を得た。

②柱横架材接合部に短ほぞ(30mm×85mm×52mm)を用いることで、柱のせん断力を概ね

伝達できることがわかった。

③本研究で対象としている制振壁の接合部は、柱の引張力に対する剛性・耐力が高く、制振壁に適したものであることを示した。

### (2) 壁要素の強制変形実験

①粘弾性ダンパー制振壁では、連梁状態となることにより単体の場合よりもダンパー変位が全サイクルの平均で 18%程度増加し、それに伴って層せん断力も 14%程度増加した(図 4)。

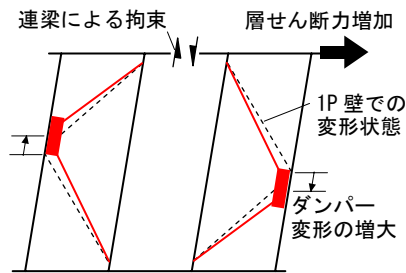


図 4 3P 壁の変形状態

②摩擦ダンパー制振壁では連梁状態となることで初期剛性が上昇し、摩擦ダンパーが塑性化する層間変形角が単体の場合より小さくなった。層せん断力はダンパーのすべり荷重に依存するが、ダンパー変位は全サイクルの平均で 10%程度増加した。

③石膏ボード内壁・モルタル塗り外壁は 1/60rad. 時に最大耐力となったのに対し、窯業系サイディング外壁は 1/15rad. 加力においても耐力が上昇し続けた。一方、耐力はモルタル塗り外壁が最も高く、1P の壁の実験から求めた壁倍率は石膏ボード内壁で 1.1、窯業系サイディング外壁で 1.0、モルタル塗り外壁で 1.9 となった。

④実在する住宅 4 棟の調査を行うことで戸建木造住宅の 1m<sup>2</sup> あたりの内外装材の量を把握した。それを用いて戸建木造住宅における内外装材の存在壁量を算出し、内外装材が戸建木造住宅の剛性・耐力に及ぼす影響を把握した。

### (3) 軸組木質制振架構の振動台実験

①耐力要素として構造用合板を用いた場合、変形の増大とともに釘が緩むことでスリップ型の履歴を示し、その後は最大加速度を 0.2g に基準化した地震動の入力でも変形が増大しやすくなる。

②制振壁を 2 層に配置する場合、1 層に配置する場合よりもロッキング変形の寄与分が大きくなり、ダンパーのエネルギー吸収効率が低下する。

③摩擦ダンパーを有する層は、その他に剛性を有する要素が存在しない場合、地震後に残留変形を生じる可能性が高い。

④限界耐力計算法で求まる評価値は実験値に対してばらつきが大きく、観測地震動のスペクトルを用いて得た評価値はそれを平滑化したスペクトルを用いた場合の約 2 倍の値となった。また、1 層のみに制振壁を挿入した場合は変形モードの評価に誤差を生じる可能性が高い。

⑤非構造部材の影響を除いた試験体の場合、変形モードは 1, 2 層の剛性比に対して敏感だったが、各層に内外装材が取り付けることにより 1 層と 2 層の剛性比が変化し、1 層に損傷が集中する変形モードとなった。

⑥非構造材の影響は外装材より内装材による影響の方が強く、内装材を有する試験体は加振前の 1 次固有振動数が 6Hz 以上であった。実在する戸建木造住宅の微小変形時の 1 次固有振動数は 5~7Hz 程度であることから、本実験の試験体は実際の戸建木造住宅の挙動を概ね模擬できていると考えられる。

### (4) フレームモデルによる地震応答解析

①柱横架材接合部を軸・曲げ・せん断の 3 つのバネでモデル化した(図 5)。その接合部要素には復元力特性としてスリップ型の履歴を考慮することができるバネ要素を用いて包絡線にフィッティングさせた。接合部要素を用いて K 型ブレースによる制振壁および制振壁を解析用フレームモデル(図 6)に置換する手法を示した。そのフレームモデルは上述した壁要素の強制変形実験や軸組木質制

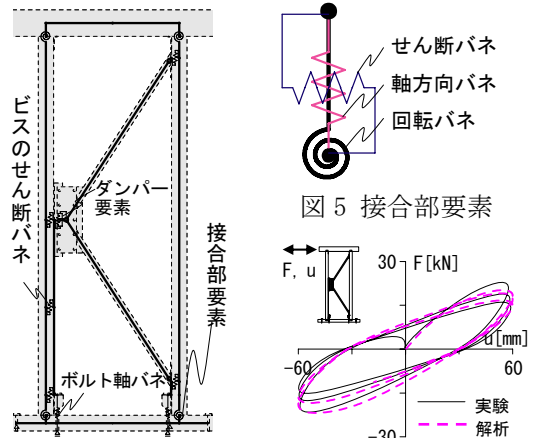


図 5 接合部要素

図 6 フレームモデル 図 7 実験と解析の比較 1

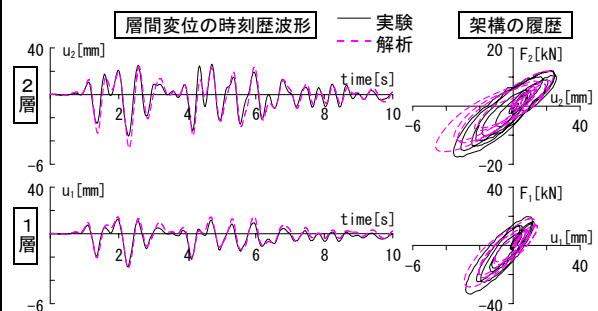


図 8 実験と解析の比較 2

振架構の振動台実験を精度良く再現できることを確認した(図7,8)。

②軸組木質架構に対して制振壁を付加する場合、構造用合板による耐力壁を付加する場合よりも最大応答変位を低減させることがわかった。過剰に制振壁を付加した場合は制振壁1枚あたりの応答低減効果が薄れるものの、付加枚数が少なくても大きな応答低減効果を得られることを確認した。

③大小さまざまな14種の入力地震動を用いて、制振壁や耐力壁の枚数をパラメトリックに変化させたモデルの地震応答解析を行い、目標性能に対する制振壁の必要枚数を示した(図9)。

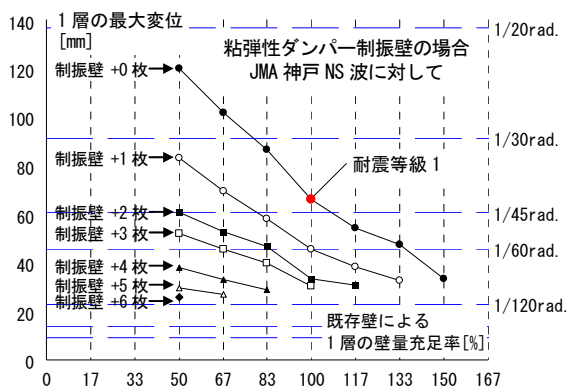


図9 制振壁付加による応答低減(100m<sup>2</sup>あたり)

④粘弾性ダンパーを有する架構では耐力壁による架構とほぼ等しい応答加速度が生じる可能性が高いことがわかった。一方、摩擦ダンパーを有する架構では応答加速度を若干低減させるものの、他の構造部材や非構造部材といった他の耐力要素が負担する層せん断力の影響が大きく、加速度の低減効果は僅かといえる。

#### (5)等価線形化手法を用いた最大応答評価

①スリップ型主架構と粘弾性要素からなる一質点構造を、スリップ要素と粘性要素の並列する一質点系(図10)とみなし、応答のランダム性やスリップ型復元力の複雑な履歴特性を考慮し、塑性化によるシステムの固有周期や減衰定数の変化を定式化した。

②地震最大応答予測法を提案した。システム諸元のパラメータ値と地震波を様々に変えて時刻歴応答解析を行い、本予測手法と他手法の予測精度の検証を行った。結果、本手法はシステムの各諸元値や入力地震波の特性によらず良好な精度を示すことがわかった。

③等価線形化理論をもとに、各スペクトル一定領域での、簡易応答予測法を導出した。これにより、スリップ要素と粘弾性要素を持つシステムの応答低減傾向を包括的に表し、

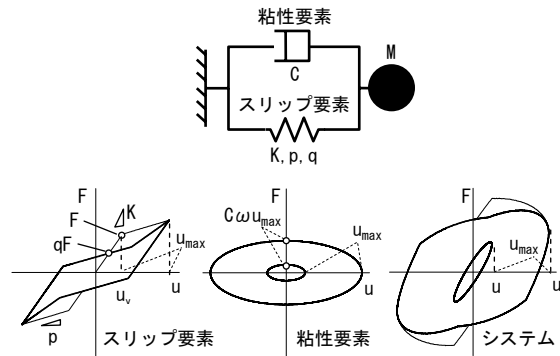


図10 スリップ型履歴の1質点系モデル

また減衰増加が応答に与える効果や設計への応用について論じた。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計7件)

①野口昌宏, 坂田弘安, 和田章, 宮澤健二: 『材端に設置する繊維直角方向負荷を受ける単体木質ボルト接合の強度算定法の提案』, 日本建築学会構造系論文集, 査読有, 第640号, pp.1099-1105, 2009年6月

②野口昌宏, 坂田弘安, 和田章, 宮澤健二: 『木質鋼板単体ボルト接合の繊維方向荷重に対する強度算定法の提案』, 日本建築学会構造系論文集, 査読有, 第638号, pp.681-690, 2009年4月

③松田和浩, 陶山高資, 坂田弘安, 笠井和彦, 大木洋司: 『接合部実験に基づく履歴モデルを用いた木質制振壁のフレーム解析』, 構造工学論文集, 査読有, Vol.55B, pp.93-100, 2009年3月

④坂田弘安, 笠井和彦, 大木洋司, 松田和浩: 『在来軸組戸建木造住宅を対象とした2層木質制振架構の振動台実験』, 日本建築学会構造系論文集, 査読有, 第631号, pp.1607-1615, 2008年9月

⑤坂田弘安, 堀井健史, 竹内徹, 中村博志, 松田和浩: 『シアリング接合部の木材繊維方向せん断性能に関する実験研究』, 日本建築学会構造系論文集, 査読有, 第627号, pp.773-779, 2008年5月

⑥松田和浩, 坂田弘安, 笠井和彦, 大木洋司: 『木質制振壁の動的強制変形応答に関する実験研究』, 構造工学論文集, 査読有, Vol.54B, pp.149-156, 2008年3月

⑦坂田弘安, 笠井和彦, 和田 章, 緑川光正, 大木洋司, 中川 徹, 松田和浩:『速度依存ダンパーをもつ木質架構の振動台実験』, 日本建築学会構造系論文集, 査読有, 第 615 号, pp.161-168, 2007 年 5 月

[学会発表] (計 14 件)

国際学会

①K. MATSUDA, H. SAKATA, K. KASAI and Y. OOKI : 『Frame Analysis of Passively Controlled Wooden Frame Using Hysteresis Model Based on Experiment of Joint』, 6th International Conference on Urban Earthquake Engineering, Tokyo, Japan, 2009. 3rd. Mar.

②K. MATSUDA, H. SAKATA, K. KASAI and Y. OOKI : 『Experimental Study on Dynamic Behavior of Wooden Frames with Passive Control System and Inner-and-Outer Walls using Shaking Table』, 14th World Conference on Earthquake Engineering (14th WCEE), Beijing, China, 2008. 15<sup>th</sup>. Oct.

③K. MATSUDA, H. SAKATA, K. KASAI and Y. OOKI : 『Shaking Table Tests of Two-Story Passively-Controlled Wood Frames with Inner and Outer Walls』, 10th World Conference on Timber Engineering (WCTE2008), Japan, 2008. 2nd. Jun.

④K. MATSUDA, H. SAKATA, K. KASAI and Y. OOKI : 『Dynamic Behavior of Wood Frames with Passive Control Mechanism and Nonstructural Walls Using Shaking Table』, 5th International Conference on Urban Earthquake Engineering, Tokyo, Japan, 2008. 4<sup>th</sup>. Mar.

⑤K. MATSUDA, K. KASAI, H. SAKATA, Y. OOKI and A. WADA : 『Shaking Table Tests of Two-Story Wood Frames with Passive Control System』, 4th International Conference on Urban Earthquake Engineering, Tokyo, Japan, 2007. 6<sup>th</sup>. Mar.

国内学会

①松田和浩, 坂田弘安, 笠井和彦, 大木洋司:『財産保持に優れた制振住宅に関する開発の経過報告 その22』, 日本建築学会大会学術講演, C-1 分冊, 中国, 2008 年 9 月 19 日

②松田和浩, 坂田弘安, 笠井和彦, 大木洋司:『内外装材に着目した 2 層木質制振架構の振動台実験』, 日本地震工学会大会学術講演, 関東, 2007 年 11 月 13 日

③坂田弘安, 笠井和彦, 大木洋司, 松田和浩:『財産保持に優れた制振住宅に関する開発の経過報告 その19』, 日本建築学会大会学術講演, B-2 分冊, 九州, 2007 年 8 月 30 日

④大木洋司, 笠井和彦, 坂田弘安, 松田和浩:『財産保持に優れた制振住宅に関する開発の経過報告 その20』, 日本建築学会大会学術講演, B-2 分冊, 九州, 2007 年 8 月 30 日

⑤松田和浩, 笠井和彦, 坂田弘安, 大木洋司:『財産保持に優れた制振住宅に関する開発の経過報告 その20』, 日本建築学会大会学術講演, B-2 分冊, 九州, 2007 年 8 月 30 日

⑥金井健二, 笠井和彦, 大木洋司, 坂田弘安, 西原耕作:『既存戸建住宅の耐震改修への制振技術適用に関する研究 その1』, 日本建築学会大会学術講演, C-1 分冊, 九州, 2007 年 8 月 30 日

⑦西原耕作, 笠井和彦, 大木洋司, 坂田弘安, 金井健二:『既存戸建住宅の耐震改修への制振技術適用に関する研究 その2』, 日本建築学会大会学術講演, C-1 分冊, 九州, 2007 年 8 月 30 日

⑧松田和浩, 笠井和彦, 坂田弘安, 大木洋司, 和田 章, 中山一孝:『財産保持に優れた制振住宅に関する開発の経過報告 その17』, 日本建築学会大会学術講演, B-2 分冊, 関東, 2006 年 9 月 9 日

⑨西原耕作, 笠井和彦, 坂田弘安, 大木洋司, 松田和浩, 和田 章, 中山一孝:『財産保持に優れた制振住宅に関する開発の経過報告 その18』, 日本建築学会大会学術講演, B-2 分冊, 関東, 2006 年 9 月 9 日

[産業財産権]

○取得状況 (計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

坂田 弘安 (SAKATA HIROYASU)

東京工業大学・応用セラミックス研究所・准教授

研究者番号: 1 8 3 6 0 2 6 0

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし