

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 4 月 19 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21360265

研究課題名（和文）木質偏心住宅の捩れ応答と制振壁による捩れ応答制御に関する研究

研究課題名（英文）Study on Torsional Response of Timber Houses and Torsional Response Control by Supplemental Stiffness and Damping

## 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・教授

研究者番号：80205749

研究成果の概要（和文）：住宅に不可欠な開口部が地震で変形し易いために生じる建物の捩れ振動は、我が国の過去の大地震において多くの木造住宅が倒壊した一因であり、その回避のためにパッシブ制振技術を適用することを提案した。効果的な制振構造を実現するためには、建物全体としてダンパーや耐震要素の適確な配置により剛性と粘性のバランスを保つことが肝要である。本研究では、制振壁単体の性能評価法から、建物全体の設計法に至るまで、実大実験と数値解析を通して網羅的に行い、従来の耐震構造よりも地震応答の抑制に優れた構造物の設計を可能とした。

研究成果の概要（英文）：In the past earthquakes, a lot of timber houses with large stiffness eccentricity were collapsed or heavily damaged owing to torsional vibration. The objective of this research is to propose application of viscoelastic dampers to timber houses. In order to mitigate torsion and seismic damage, stiffness and viscousness should be properly distributed in horizontal direction. Performance evaluation method of shear wall with dampers is also studied through full-scale tests and numerical analyses.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	5,500,000	1,650,000	7,150,000
2010年度	6,500,000	1,950,000	8,450,000
2011年度	2,200,000	660,000	2,860,000
総計	14,200,000	4,260,000	18,460,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：木質構造・捩れ応答・剛性偏心・制振構造・粘弾性ダンパー・剛床

## 1. 研究開始当初の背景

国民の大多数が生活の基盤としている木造戸建軸組住宅の中には、壁量の偏りによる捩れが生じやすい住宅（以下、偏心住宅と称す）が多くあり、これが原因となって大きな被害を受ける可能性が高い。それまでの地震被害の中にもこのような偏心が原因となって倒壊したと考えられる多くの例があった。都市部の住宅密集地では、狭小敷地に建てられている木造戸建軸組住宅（以下、狭小住宅

と称す）が多くあり、平面計画上どうしてもこのような偏心住宅となり易い状況であった。

## 2. 研究の目的

本研究は、偏心住宅の損傷集中を防ぐ制振構造の開発ならびにその応答の評価法・設計法の提案を目的とする。しかし制振構造の目標性能を満足させるために必要なダンパー量を決定する従来の制振設計は、住宅の様



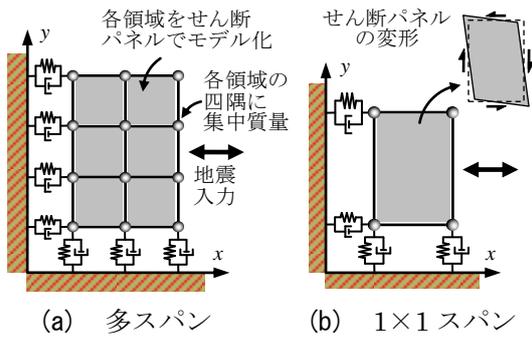


図5 建物の揺れと水平構面のせん断変形を考慮した振動解析モデル

#### 4. 研究成果

3. 研究の方法で挙げた三つの課題に対する成果を、それぞれ以下にまとめる。

(1) 方杖型制振壁の動的载荷実験 (図1, 2)  
 既往の研究では、制振壁の動的挙動を表すのに最小限の自由度を用いた水平バネ系 (図6) を、ダンパーが無い2状態 (ダンパー無しとダンパー剛) の架構の特性から求める手法が提案されている。しかしこれは線形構造を対象としており、本研究ではこれを木質架構のような非線形構造にも理論を拡張した (発表論文⑦)。図7に示すように、線形に近似した水平バネ系により、実験結果を高精度で予測できた。さらに本理論を応用することで様々なダンパー量に対する性能の可視化法を示し、これによって適度な剛性・粘性の確保や、力の上昇を極力抑えて柱折損など

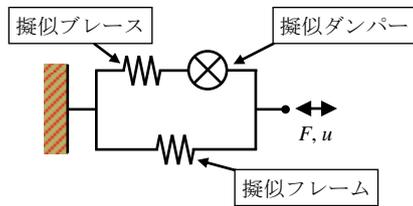


図6 制振壁を表す水平バネ系

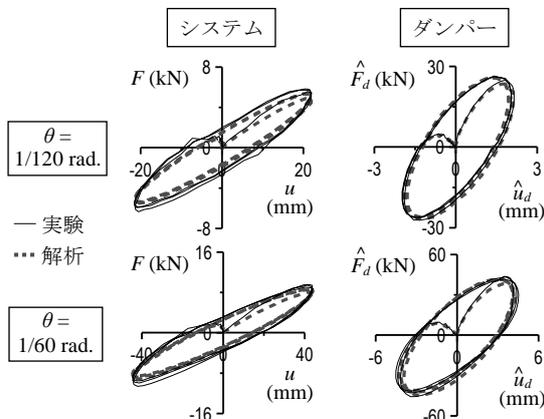


図7 線形に近似した水平バネ系による実験結果のシミュレーション

の損傷を避ける設計が容易になり、制振壁の開発に要する労力を大幅に削減することが期待できる。

(2) 制振壁を様々に配置した木質立体架構の振動台実験 (図3, 4)

図8は上から順に、全て耐力壁の「耐震」、柔側に方杖型制振壁を付与した「柔側制振」、剛側にK型制振壁を付与した「剛側制振」それぞれの試験体に、JMA神戸NS波を入力して得られた各壁のせん断力-変形関係である。柔側制振は、剛性と粘性を柔側に付与することで、揺れの抑制と同時に並進変位も低減できた。一方剛側制振は、付加減衰により並進変位を低減できたが、柔側制振ほど大きな効果は得られなかった。

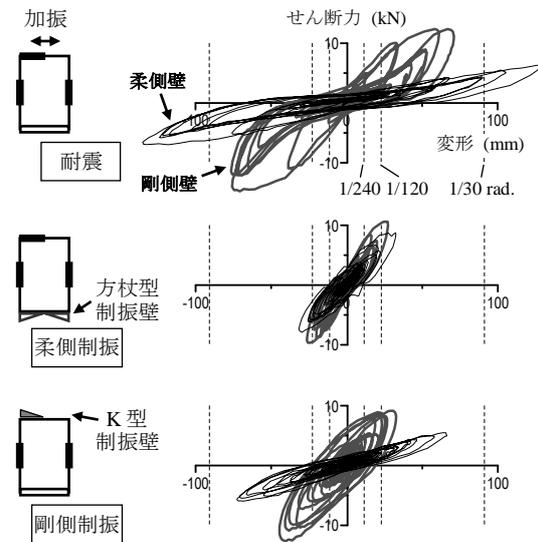


図8 各壁のせん断力-変形関係 (JMA神戸NS波入力)

また、実験結果に基づき各壁の等価剛性と等価粘性を計算し、実数モード解析とモード歪エネルギー法によりシステムの動的特性を評価する手法を適用した。これにより、付加剛性は局所応答の制御、付加減衰は全体応答の制御に効果的であるという、揺れない多層構造物の制振設計における傾向が、偏心住宅においても見られることが分かった。

(3) 水平構面の剛性が低い構造物の性能評価

発表論文⑥に示した数理モデルにより、建物の揺れと水平構面のせん断変形を考慮した複雑な振動現象を数学的に表すことが可能となった。本モデルを用い、水平構面の剛性が低い構造物の性能評価を行った。

1x1 スパンの場合 (図5(b))、水平構面がせん断変形すると直交壁の変形が低下するが、これを直交壁の剛性が低下することに置き換え、「有効直交壁剛性比」ならびに「等価偏心率」という既往手法にはない新たな性

能評価指標を提案した。これらは水平構面の低い剛性が、建物の全体挙動におよぼす影響を端的に表すものである。図9に示すように、水平構面の剛性を表す無次元特性値 ( $\omega_y/\omega_\theta$ ) が低下するほど有効直交壁剛性比が低下し、従来の剛床仮定に基づく偏心率よりも等価偏心率が上昇することを示し、さらにその影響を定量的に求めることが可能となった。

また、本評価法に基づき、水平構面を概ね剛床とみなして十分なクライテリアも提案した。これらから、制振構造においてダンパー効率を低下させかねない水平構面のせん断変形を抑制し、効果的な制振設計を実現するための基礎を築くことができた。

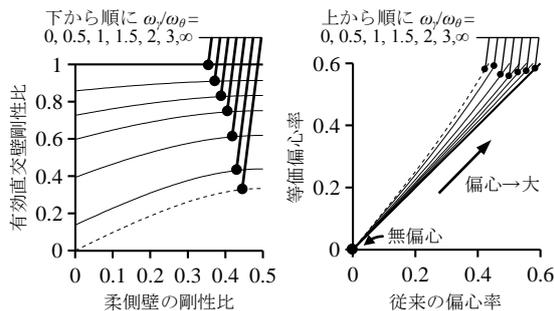


図9 有効直交壁剛性比と等価偏心率の評価例 ( $\omega_y/\omega_\theta = 0$ (破線), 0.5, 1, 1.5, 2, 3,  $\infty$ (太線),  $c = 1$ )

## 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9件)

- ① 坂田弘安, 中野翔太, 鈴木賢人, 伊東洋路, 藤代東, 大口仁: 厚物構造用合板を用いた有開口水平構面のせん断挙動に関する実験研究, 日本建築学会構造系論文集, 査読有り, 第77巻, 2012, 231-238
- ② 笠井和彦, 山崎義弘, 坂田弘安, 大木洋司: 方杖型ダンパーを持つ木質架構の動的挙動と簡易評価法, 日本建築学会構造系論文集, 査読有り, 第76巻, 2011, 1109-1118
- ③ 山崎義弘, 笠井和彦, 坂田弘安: 一軸偏心した非剛床木質構造の動的特性および地震応答に関する基礎的研究, 日本建築学会構造系論文集, 査読有り, 第76巻, 2011, 959-968
- ④ 松田和浩, 笠井和彦, 坂田弘安: フレームモデルによる木質制振架構の地震応答解析, 日本建築学会構造系論文集, 査読有り, 第76巻, 2011, 609-618  
<http://ci.nii.ac.jp/naid/40018752889>

[学会発表] (計16件)

- ① 西島正人, 山崎義弘, 笠井和彦, 坂田弘

安: 一軸偏心した非剛床木質構造の動的特性および地震応答に関する基礎的研究 (その1 運動方程式の導出), 日本建築学会大会学術講演, 2011. 8. 25, 早稲田大学

- ② 山崎義弘, 笠井和彦, 坂田弘安: 一軸偏心した非剛床木質構造の動的特性および地震応答に関する基礎的研究 (その2 動的特性および地震応答のパラメトリックスタディ), 日本建築学会大会学術講演, 2011. 8. 25, 早稲田大学
- ③ 赤塚希美, 松田和浩, 笠井和彦, 坂田弘安: 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31 繰り返し挙動に着目した制振壁・合板壁のフレームモデル), 日本建築学会大会学術講演, 2011. 8. 25, 早稲田大学
- ④ 松田和浩, 笠井和彦, 坂田弘安: 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32 フレームモデルによる1層木質制振架構の地震応答解析), 日本建築学会大会学術講演, 2011. 8. 25, 早稲田大学
- ⑤ 山崎義弘, 笠井和彦, 坂田弘安, 松田和浩: 木質制振架構の水平バネ系への変換と制振効果の理論的考察, 第13回日本地震工学シンポジウム, 2010. 11. 18, つくば国際会議場 (エポカルつくば)
- ⑥ 吉永剛大, 山崎義弘, 坂田弘安, 伊東洋路, 藤代東: 耐力壁を併用した木質ラーメン構造の力学的挙動に関する実験研究, 第13回日本地震工学シンポジウム, 2010. 11. 18, つくば国際会議場 (エポカルつくば)
- ⑦ 宮木志伸, 坂田弘安, 伊東洋路, 藤代東: ラグスクリーボルトと鋼板挿入式ドリフトピン接合を用いた木質接合部の曲げ挙動に関する研究, 第13回日本地震工学シンポジウム, 2010. 11. 18, つくば国際会議場 (エポカルつくば)
- ⑧ 大原和之, 笠井和彦, 坂田弘安, 山崎義弘: 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27 剛性偏心した木質立体架構の等価線形化による地震応答予測), 日本建築学会大会学術講演, 2010. 9. 11, 富山大学
- ⑨ 松田頼征, 笠井和彦, 坂田弘安, 大木洋司, 山崎義弘: 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28 方杖型制振壁の動的載荷実験), 日本建築学会大会学術講演, 2010. 9. 11, 富山大学
- ⑩ 山崎義弘, 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29 状態NR実験に基づく木質制振架構の水平バネ系への変換と制振効果の理論的考察), 日本建

築学会大会学術講演, 2010. 9. 11, 富山大学

研究者番号:

- ⑪ 山崎義弘, 笠井和彦, 坂田弘安: 在来軸組構法住宅を対象とした 1 層木質制振架構の揺れ応答実験, 日本地震工学会年次大会 2009, 2009. 11. 13, 国立オリンピック記念青少年総合センター
- ⑫ 松田和浩, 坂田弘安, 笠井和彦: フレーム解析による木質制振壁の応答低減効果, 日本地震工学会年次大会 2009, 2009. 11. 13, 国立オリンピック記念青少年総合センター
- ⑬ 坂田弘安, 松田和浩, 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 23 制振壁・面材壁のフレームモデル), 日本建築学会大会学術講演, 2009. 8. 28, 東北学院大学
- ⑭ 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 24 制振化による応答変位低減効果), 日本建築学会大会学術講演, 2009. 8. 28, 東北学院大学
- ⑮ 宮木志伸, 陶山高資, 坂田弘安: 在来軸組住宅におけるビス・引寄せボルトを用いた接合部の履歴モデルに関する研究 (その 1 柱横架材接合部実験と接合部構成要素の復元力特性), 日本建築学会大会学術講演, 2009. 8. 28, 東北学院大学
- ⑯ 陶山高資, 宮木志伸, 坂田弘安: 在来軸組住宅におけるビス・引寄せボルトを用いた接合部の履歴モデルに関する研究 (その 2 接合部の断面解析と接合部履歴モデルの提案), 日本建築学会大会学術講演, 2009. 8. 28, 東北学院大学

[図書] (計 2 件)

- ① 坂田弘安: 木質構造基礎理論, 日本建築学会, 2010, 340
- ② 坂田弘安, 山崎義弘: 長ほぞ差込栓打ち(3)回転, 建築技術, 建築技術, No. 729, 2010, 166-167

## 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・教授

研究者番号: 8 0 2 0 5 7 4 9

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号:

### (3) 連携研究者

( )