

## 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25年 6月13日現在

機関番号：54501

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010年～2012年

課題番号：22760429

研究課題名（和文） 伝統的木造住宅における開口部を有する軸組の評価方法の確立

研究課題名（英文） Establishment of Seismic Design Method of a Column with Spandrel Wall Used for a Traditional Timber Structures

研究代表者

荘所 直哉（SHOJO NAOYA）

明石工業高等専門学校・建築学科・准教授

研究者番号：50413810

研究成果の概要（和文）：伝統的木造住宅に多く用いられる開口部を有する構面（垂壁付き独立柱）やそれらに含まれる水平抵抗要素である垂壁や柱－差鴨居接合部の実験を行い、その履歴特性や構造性能を把握した。さらに、様々な水平抵抗要素の組み合わせで履歴特性を評価できるモデルを構築した。

研究成果の概要（英文）：We carry out the experiment on a column with spandrel wall used for the traditional timber structures. The experiments of the spandrel wall and the column-sashigamoi joint which are earthquake resisting elements are also carried out. The structural model which can calculate the hysteretic characteristics of load-shear deformation angle relationship is built.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

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：建築構造・構造設計・木質構造・伝統的木造住宅・垂壁付き独立柱

### 1. 研究開始当初の背景

ここ数年の日本国の住宅政策は、長期優良住宅をキーワードに、住宅がスクラップアンドビルドの対象ではなく、そのストック価値を高め、長期間住まい続ける発想に転換しつつある。その一環事業として、国土交通省による「伝統的木造軸組構法住宅の設計法作成及び性能検証事業」が実施されている。日本の伝統的木造住宅の構造は、長期間住まい続けるために歴史を重ねて改良が加えられ、現在の姿に落ち着いている。この構造を力学的に評価し、今の住宅政策を実現することは重要

な研究課題である。

伝統的木造住宅は、一般的な在来軸組構法を用いた木造住宅とは異なり、次のような構造的特徴が挙げられる。

- I：礎石の上に柱が立つ
- II：耐力壁は貫および土塗壁である
- III：垂壁を含む開口部を有する軸組を水平抵抗要素として期待している

一般的な構造計算における水平抵抗要素は無開口壁のみとされていたために、開口部の多い伝統的木造住宅の構造性能の評価は

低く、維持継承していくことが難しかった。しかし、2004年に耐震診断法が改正され、垂壁などの伝統的構法の耐力要素も評価されることになった。これで伝統的木造住宅の評価が大きく前進した。しかしその評価方法には構造力学的に矛盾点があることを見出した。

## 2. 研究の目的

開口部を有する軸組の評価方法は木造住宅の耐震診断法に明記されているが、以下の3つの問題点を含んでいる。

- I：モデル化で垂壁と柱に同じ水平力がかかる仮定だが、構造力学的に矛盾している
- II：水平抵抗要素である接合部の曲げモーメント抵抗が評価に含まれていない
- III：柱の曲げ抵抗で部材の断面欠損を考慮していない

本研究では、上記の問題点をすべて解決し、研究背景で述べた構造力学的な矛盾点をすべて克服した開口部を有する軸組の評価方法を確立することを目的とする。

## 3. 研究の方法

開口部を有する構面の水平抵抗要素は次の3つに分けることができる。

- i：柱の曲げ抵抗
- ii：柱-差鴨居接合部のモーメント抵抗
- iii：垂壁の面内せん断抵抗

iについては、科学研究費補助金（若手研究（スタートアップ））、課題番号：18860085で断面欠損を有する柱部材の曲げ性能を明らかにしている。本研究課題では上記の②および③の水平抵抗要素について実験的に性

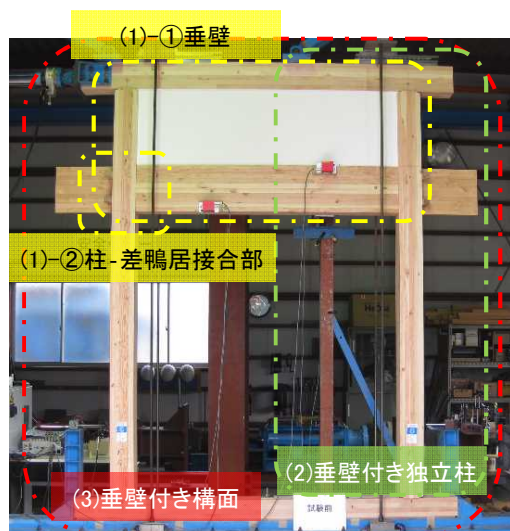


図1 開口部を有する軸組と水平抵抗要素の分類

能を把握する。その後、それらを組み合わせた垂壁付き独立柱の面内せん断実験および垂壁付き構面の面内せん断実験を実施した（図1参照）実験の詳細は次の通りである。

### (1) 各種抵抗要素の性能について

#### (1)-① 柱-差鴨居接合部のモーメント抵抗性能

試験体は接合形式を込栓1本および込栓2本の2種類を用意し、試験体は各3体用意した。込栓の2種類の場合は柱にはヒノキ集成材を差鴨居にはベイマツ集成材を、栓にはカシを使用した。

柱と差鴨居を通常、柱が鉛直方向で差鴨居が水平方向に組むが、実験装置の関係で90°回転させて実験装置に設置して差鴨居を加力する逆T字型のモーメント抵抗実験を行った。加力は、差鴨居位置に油圧ジャッキを取り付け、変位制御の正負交番加力とした。

得られた実験データより、接合部に加えられたモーメントと柱と差鴨居の相対回転角の関係を算出して評価した。

#### (1)-② 垂壁の面内せん断性能

垂壁試験体は土壁の場合とラスボード+漆喰の場合の2種類とし、試験体は各3体用意した。土壁試験体の仕様は、間渡竹（割30mm）、小舞竹（割20mm）、荒壁塗（厚さ40mm）、中塗（厚さ30mm（片面15mm））とした。ラスボード+漆喰試験体の仕様は、受木にラスボード（厚さ9.5mm）を釘止めし、その上に漆喰（厚さ13.5mm）を施工した。いずれの試験体も柱は120mm角、土台は120mm×120mm、梁は180mm×120mmとした。また、垂壁の内々長さは360mm×1700mmである。実験は無荷重のタイロッド式とし、タイロッドは試験体と一緒に移動しない方式とした。加力方法は、正負交番繰り返し加力とした。

得られた実験データより、垂壁に加えられた荷重とせん断変形角の関係を算出して評価した。

#### (2) 垂壁付き独立柱の面内せん断性能

前述(1)の各種水平抵抗要素で実施した試験体のディテールを組み合わせることで試験体を作成した。試験体の一覧を表1に示す。各部材の断面は柱150mm×150mm、差鴨居120mm×300mm、梁および束120mm×120mmとした。試験体の柱と束の芯々間寸法は1820mmとし、垂壁の内々間寸法は360mm×1700mm（込栓の場合）、360mm×1245mm（鼻栓の場合）とした。

実験は、試験体を倒立させ、柱脚を加力する方法とした。加力は、柱脚部位置に油圧ジャッキ取り付け、正負交番加力とした。載荷フレームの土台上端から加力点までは2800mmとした。実験で得られたデータより荷重とせん断変形角の関係を算出して評価した。

表 1 垂壁付き独立柱の試験体一覧

垂壁	柱-差鴨居 接合部	試験体数
土壁	込栓 1 本	3 体
	込栓 2 本	3 体
ラスボード+ 漆喰	込栓 1 本	3 体
	込栓 2 本	3 体
	鼻栓 2 本	3 体
構成要素なし (軸組のみ)	込栓 1 本	3 体
	込栓 2 本	3 体
	鼻栓 2 本	3 体
試験体数合計		24 体

(3) 垂壁付き構面の面内せん断性能

前述(1)の各種水平抵抗要素で実施した試験体のディテールを組み合わせて試験体を作成した。試験体の一覧を表 2 に示す。各部材の断面は前述(2)と同様である。試験体の柱間の芯々間寸法は 1820mm とし、垂壁の内々間寸法は 360mm×1700mm とした。

実験は、土台を固定して梁に加力する方法とし、変位制御の正負交番加力とした。柱と梁・土台を固定している高さを 2715mm とした。実験により得られたデータより荷重とせん断変形角の関係を算出して評価した。

表 2 垂壁付き構面の試験体一覧

垂壁	柱-差鴨居 接合部	試験体数
ラスボード+ 漆喰	鼻栓 2 本	3 体
構成要素なし (軸組のみ)	鼻栓 2 本	3 体
試験体数合計		6 体

(4) 垂壁付き独立柱の評価方法の導出と比較

前述(1)~(3)のように構造実験を行い、その性能を把握するだけでなく、その履歴特性を求められる評価式を提案した。評価式には各抵抗要素の性能(剛性、耐力等)を反映させることができるモデルを構築した。垂壁付き独立柱の抵抗要素のうち、柱-差鴨居接合部のモーメント抵抗を考慮しないモデルによる評価方法とすべての抵抗要素をバネでモデル化した評価方法を提案した。提案した評価方法と実験結果の比較により、その評価方法の有用性を考察した。

4. 研究成果

(1) 各種抵抗要素の性能について

(1)-① 柱-差鴨居接合部のモーメント抵抗性能

柱-差鴨居接合部の曲げモーメント抵抗実験によりそれらの性能を把握した。得られた実験データより、接合部に加えられたモー

メントと柱と差鴨居の相対回転角の関係を算出して評価した。得られた結果を表 3 に示す。表中の  $M_{max}$  は最大モーメント、 $M_y$  は降伏モーメント、 $K$  は剛性である。各試験体で 3 体あるが、その平均値を示している。

表 3 モーメント抵抗実験の結果

試験体	$M_{max}$ (kNm)	$M_y$ (kNm)	$K$ (kNm/rad)
込栓 1 本	5.83	4.10	267
込栓 2 本	6.66	3.56	445

また、破壊状況を写真 1 に示す。込栓 1 本の場合、差鴨居のほぞ部分が込栓によってせん断破壊するものが多くあった。また、ほぞがせん断破壊するまでは込栓が差鴨居のほぞ部分に引っ張られるために込栓が曲がった。一方、込栓 2 本の場合すべての試験体でほぞがせん断破壊した。

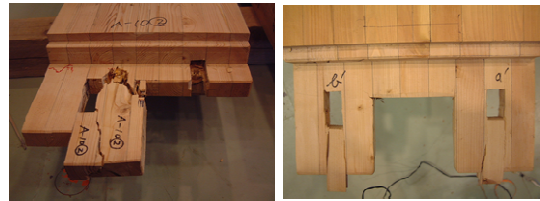


写真 1 破壊状況  
(左: 込栓 1 本, 右: 込栓 2 本)

実験を実施し評価した結果で得られた考察は以下の通りである。

- ・モーメント-相対回転角関係において、ほぞにせん断破壊が生じると急激なモーメント低下が発生する。ほぞのせん断破壊は相対回転角が 1/30rad 程度で発生した。
- ・込栓 2 本の方が込栓 1 本より最大モーメントや剛性が高い傾向にある。
- ・破壊性状は多くの場合でほぞのせん断破壊であった。

(1)-② 垂壁の面内せん断性能

垂壁の面内せん断実験によりそれらの性能を把握した。得られた実験データより、垂壁に加えられた荷重とせん断変形角の関係を算出して評価した。得られた結果を表 4 に示す。表中の  $P_{max}$  は最大荷重、 $P_y$  は降伏荷重、 $K$  は剛性である。各試験体で 3 体あるが、その平均値を示している。

土壁の破壊状況を写真 2 に示す。



表 4 面内せん断実験の結果

試験体	$P_{max}$ (kN)	$P_y$ (kN)	$K$ (kN/rad)
土壁	12.0	7.60	426
ラスボード +漆喰	32.3	15.6	1200



写真 2 土壁の破壊状況

実験を実施し評価した結果で得られた考察は以下の通りである。

- ・破壊が隅角部のみで発生したため、大きな荷重低下は確認できなかった。
- ・変形角が 1/10rad 以上でも荷重低下が確認できなかったため、ねばりのある壁の構成であると考えられる。

(2) 垂壁付き独立柱の面内せん断性能

垂壁付き独立柱の面内せん断実験によりそれらの性能を把握した。得られた実験データより、加えられた荷重とせん断変形角の関係を算出して評価した。得られた結果を表 5 に示す。表中の  $P_{max}$  は最大荷重、 $P_y$  は降伏荷重、 $K$  は剛性である。各試験体で 3 体あるが、その平均値を示している。

垂壁が土壁の場合の破壊状況を写真 3 に示す。試験体種類によって破壊状況が異なった。垂壁が土壁の場合は柱-差鴨居接合部のほぞのせん断破壊で、ラスボード+漆喰の場合は差鴨居位置で柱が曲げ破壊した。

表 5 面内せん断実験の結果

試験体	$P_{max}$ (kN)	$P_y$ (kN)	$K$ (kN/rad)
土壁-込 1	5.56	4.30	93.7
土壁-込 2	4.78	3.25	123
漆喰-込 1	9.79	5.28	258
漆喰-込 2	6.60	10.7	264
漆喰-鼻 2	8.69	4.84	346
軸組-込 1	3.47	2.20	120
軸組-込 2	3.36	2.15	156
軸組-鼻 2	6.98	4.23	148

実験を実施し評価した結果で得られた考察は以下の通りである。

○柱-差鴨居接合部の違いによる影響

- ・込栓 1 本と込栓 2 本の場合で比較すると込栓 2 本の方が剛性は高い傾向にあるが、



写真 3 垂壁付き独立柱の破壊状況

最大荷重は込栓 1 本の方が高い傾向にあった。接合部のディテールにおいて差鴨居の端部から込栓までの位置が異なるためにその影響が大きいことがわかった。込栓 1 本の方が端部より距離があるため、破壊に至る変形角が大きく延性的であるため、最大荷重が高くなり、込栓 2 本は端部からの距離が大きいため、接合部のモーメント抵抗が大きく、その影響により剛性が高くなっている。

- ・垂壁の剛性が低い土壁試験体の剛性で柱-差鴨居接合部の違いによる影響が確認できる。接合部の性能は垂壁の性能と合わせて検討する必要があることがわかった。

○垂壁の仕様の違いによる影響

- ・ラスボード+漆喰の方が土壁の場合に比べて、最大荷重と剛性ともに高い傾向がある。垂壁要素だけの面内せん断実験の結果でも同様の結果であるため、垂壁の性能が垂壁付き独立柱に与える影響は大きいと考えられる。

(3) 垂壁付き構面の面内せん断性能

垂壁付き構面の面内せん断実験によりそれらの性能を把握した。得られた実験データより、加えられた荷重とせん断変形角の関係を算出して評価した。得られた結果を表 6 に示す。表中の  $P_{max}$  は最大荷重、 $P_y$  は降伏荷重、 $K$  は剛性である。各試験体で 3 体あるが、その平均値を示している。

垂壁が漆喰の場合の破壊状況を写真 3 に示す。多くの場合で鼻栓の曲りや折れが確認できた。また、漆喰の亀裂なども確認できた。軸組のみの場合は鼻栓の曲りや折れが確認できた。

表 6 面内せん断実験の結果

試験体	$P_{max}$ (kN)	$P_y$ (kN)	$K$ (kN/rad)
ラスボード +漆喰	19.4	10.7	583
構成要素なし (軸組のみ)	13.5	7.82	350



写真 4 垂壁付き独立柱の破壊状況

(4) 垂壁付き独立柱の評価方法の導出と比較

前述(1)~(3)のように構造実験を行い、その性能を把握するだけでなく、その履歴特性を求められる評価式を提案した。垂壁付き独立柱の抵抗要素のうち、柱-差鴨居接合部のモーメント抵抗を考慮しないモデルによる評価方法とすべての抵抗要素をバネでモデル化した評価方法を提案した。

○柱-差鴨居接合部を考慮しないモデル

柱-差鴨居接合部のモーメント抵抗を考慮しないモデル化とするため、柱-差鴨居接合部はピン節点とモデル化する。このモデルは垂壁付き独立柱にかかる荷重を先に決定し、そこから垂壁にかかる荷重を算出してせん断変形量を求める。また、差鴨居よりも先の柱を片持ち柱としてモデル化し、柱にかかる荷重から曲げ変形量を求める。これらの変形を加算することで垂壁付き独立柱の荷重と変形の関係を求める方法である。

この方法で求めた結果と実験結果の比較を図 2 に示す。比較を行った結果、以下の考察を得た。

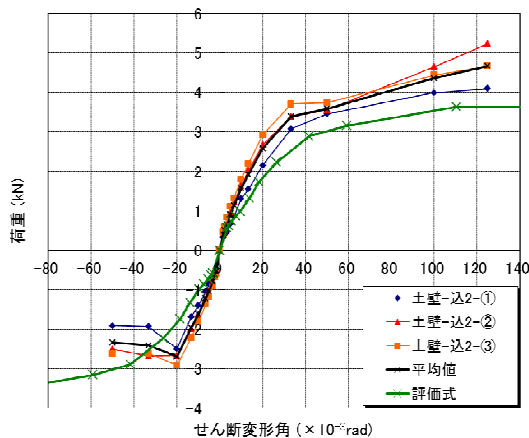
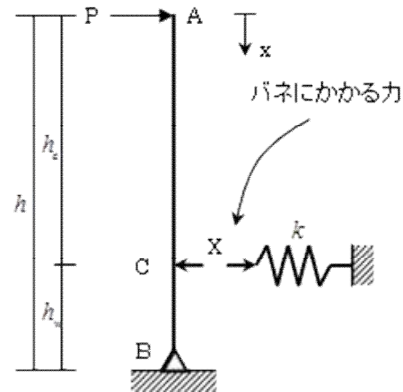


図 2 実験結果と評価式による結果の比較 (土壁-込 2 試験体の場合)

- ・履歴特性は全体的に実験結果よりも荷重が低い結果となった。
- ・土壁-込 2 試験体は評価結果の剛性や最大荷重は実験結果の 7 割程度である。

○すべての抵抗要素を考慮したモデル

垂壁付き独立柱の抵抗要素のすべての抵抗要素をバネでモデル化した模式図を図 ○ に示す。垂壁の面内せん断抵抗要素と柱-差鴨居接合部のモーメント抵抗要素をバネに置換したモデルである。



- $h$  : 梁から加力点までの距離
- $h_c$  : 差鴨居芯から加力点までの距離
- $h_w$  : 梁芯から差鴨居芯までの距離
- $k$  : バネ剛性 (接合部および垂壁の剛性)

図 ○ モデル化の模式図

モデルより幾何学的な関係や仮想仕事の原理より、加力点の変位を求めると以下の評価式が得られる。

$$\delta_A = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3}{12EI(3EI + h_w^3 \cdot k)^2} P$$

$$\alpha_1 = 36E^2 I^2 (h_c + h_w)^3$$

$$\alpha_2 = 6EI \cdot h_c^2 \cdot h_w^3 (4h_c + 3h_w) k$$

$$\alpha_3 = h_c^2 \cdot h_w^6 (4h_c + 3h_w) k^2$$

この評価式で求めた結果と実験結果の比較を図 3 に示す。比較を行った結果、以下の考察を得た。

- ・履歴特性において、評価結果は初期剛性が高く、最大荷重は低い結果となった。
- ・土壁-込 2 試験体は 1/120rad 付近までは良い対応であったが、その後は実験結果と評価結果の剛性の差が大きくなった。
- ・最大荷重は評価結果が実験結果の 6 割程度であった。

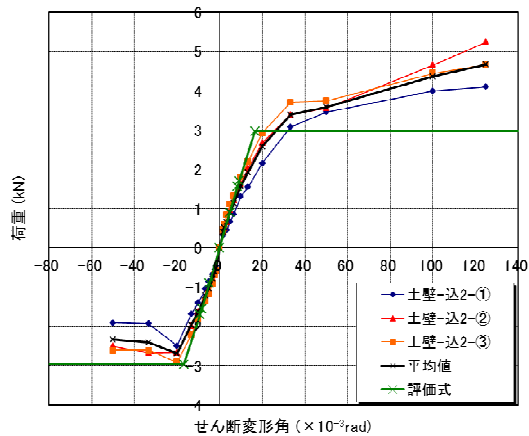


図 3 実験結果と評価式による結果の比較  
(土壁-込2 試験体の場合)

実験結果と評価法との比較により、おおむね安全側に評価できており、実用上、実務設計においても問題となることはない評価法であると言える。今後も継続して評価法の改良を重ね、精度を上げることが必要である。

#### 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)

[学会発表] (計 2 件)

- ① 荘所直哉，早崎洋一，三芳紀美子，大橋好光；差鴨居構法の強度性能に関する研究 その 13 垂壁付き独立柱の評価方法の提案，日本建築学会学術講演梗概集(東海)，構造Ⅲ，pp.453-454，2012 年 9 月
- ② 荘所直哉，早崎洋一，三芳紀美子，大橋好光；差鴨居構法の強度性能に関する研究 その 12 垂壁付き独立柱における柱－差鴨居接合部の影響，日本建築学会学術講演梗概集(関東)，構造Ⅱ，pp.437-438，2011 年 9 月

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

荘所 直哉 (SHOJO NAOYA)

明石工業高等専門学校・建築学科・准教授  
研究者番号：50413810