

### 3.4.6 木造建物の中規模震動台実験

#### 目 次

##### (1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 5ヵ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）
- (e) 平成15年度業務目的

##### (2) 平成15年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の実施方法
- (c) 業務の成果
  - 1) 伝統的な木造軸組の振動台実験による耐震性能評価
  - 2) 伝統的な柱一貫等接合部の静的実験・解析
  - 3) 宮城県北部の地震による木造建物の被害調査と分析
- (d) 結論ならびに今後の課題
- (e) 引用文献
- (f) 成果の論文発表・口頭発表等
- (g) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

##### (3) 平成16年度業務計画案

## (1) 業務の内容

### (a) 業務題目 木造建物の中規模震動台実験

### (b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
京都大学防災研究所	教授	鈴木祥之	suzuki@zeisei.dpri.kyoto-u.ac.jp
京都大学防災研究所	助教授	林 康裕	hayashi@zeisei.dpri.kyoto-u.ac.jp
金沢工業大学	助教授	後藤正美	gotou@neptune.kanazawa-it.ac.jp
金沢工業大学	講師	西村 督	nishimura@neptune.kanazawa-it.ac.jp
大阪府立工業高等専門学校	講師	岩本いづみ	izumi@ipc.osaka-pct.ac.jp
豊橋技術科学大学工学部	助手	中治弘行	nakaji@tutrp.tut.ac.jp
京都大学防災研究所	COE 研究員	清水秀丸	hidemaru@zeisei.dpri.kyoto-u.ac.jp
広島国際大学	教授	斎藤幸雄	saitou@it.hirokoku-u.ac.jp
京都大学大学院工学研究科	修士課程	森井雄史	morii@zeisei.dpri.kyoto-u.ac.jp
京都大学大学院工学研究科	修士課程	大西功人	
京都大学大学院工学研究科	修士課程	向坊恭介	mukaibou@zeisei.dpri.kyoto-u.ac.jp
金沢工業大学大学院	修士課程	原田規行	
金沢工業大学工学部	学部	小杉早希子	

### (c) 業務の目的

伝統構法を含む軸組構法木造建物の耐震設計や耐震補強によって耐震性向上を図るために、木造建物の地震時挙動を把握するとともに耐震性能を適切に評価した上で、耐震設計法および耐震補強法を開発する必要がある。本研究では、木造建築物の地域特性および木造特有の構造特性を考慮して、木構軸組の種々の耐震要素を組み込んだ単位フレームや連続フレーム試験体を製作し、震動台実験および静的載荷実験を実施して耐震性能を評価する。中規模震動台やE-ディフェンスを利用して実大木造建物の震動台実験により耐震性能評価法や耐震補強法の検証を行う。

### (d) 5ヵ年の年次実施計画

#### 1) 平成14年度：

木造建物の地震時挙動を把握するとともに耐震性能を適切に評価することを目的として、木構軸組の種々の耐震要素を組み込んだ単位フレームや連続フレーム試験体を製作し、震動台実験および静的載荷実験を実施した。

- ① 木造建築の地域特性および木造特有の構造特性を考慮して、木構軸組の種々の耐震要素を組み込んだ単位フレームや連続フレーム木造軸組試験体を製作した。
- ② 単位フレームや連続フレーム木造軸組の試験体を用いて静的載荷実験を実施した。なお、伝統的な軸組構法の静的水平加力実験においては、従来のタイロッド方式やホールダウン金物により接合部先行破壊を拘束するような試験方法では、適切な耐震性能を実験的に明らかにすることは難しくため、試験方法の検討を行っている。

③ 静的載荷実験と同様の単位フレームや連続フレーム木造軸組の試験体を用いて震動台実験を実施し、大変形領域での破壊状況を把握するとともに復元力特性を評価した。

2) 平成15年度：

① 木造軸組の主要な耐震要素を組み込んだ単位フレームあるいは連続フレーム試験体を製作し、振動台実験を実施する。本年は、伝統的差鴨居を有する軸組を対象として振動台実験を実施し、木造軸組の大変形に至る動的挙動と破壊性状を把握するとともに、木造軸組の復元力特性など耐震性能を調べる。

② 伝統的な柱－横架材接合部の実態調査などに基づいて、仕口仕様のプロットタイプを設定し、接合部の要素試験体を製作し静的繰り返し実験を行い、柱－横架材接合部のモーメント抵抗や木造軸組架構の復元力特性など耐震性能の評価を行う。

3) 平成16年度：

① 木造軸組の主要な耐震要素を組み込んだ単位フレームあるいは連続フレーム試験体を製作し、振動台実験を実施する。土塗小壁を有する木造軸組に焦点をあてて、大变形に至る動的挙動と破壊性状を把握する。

② 木造軸組の耐震性能を精度よく評価するために、柱－貫等接合部における木材間の接触問題としてめり込みや摩擦、繊維方向の引張、せん断破壊を考慮した解析モデルを提案するとともに解析モデルの妥当性を検証するための実験を実施する。

③ 伝統構法木造住宅の耐震性能を調べるために、実在の木造住宅を対象に構造詳細調査を実施する。耐震要素などの実験結果に基づいて木造軸組の動力学モデルを構築して、木造軸組の構造力学的なメカニズムを明らかにする。

4) 平成17年度：

① 伝統構法木造軸組の大変形に至る地震時挙動と破壊性状を把握するとともに復元力特性など耐震性能を評価することを目的として、伝統構法木造軸組住宅の実大震動台実験用試験体の設計と製作を行う。

② 大型震動台（E－ディフェンス）を用いて伝統構法木造軸組住宅の実大振動実験を実施する。大変形に至る挙動と破壊性状を明らかにするとともに木造軸組の復元力特性や耐震性能の評価法を検証する。

5) 平成18年度：

① 既存の伝統構法木造軸組の耐震性能を評価することを目的として、京町家など現存する伝統構法木造軸組住宅を対象に解体移築の可能な建物を選定する。また、移築方法や耐震補強方法を検討する。

② 移築された伝統構法木造軸組住宅を用いて大型震動台（E－ディフェンス）により実大振動実験を実施する。既存の伝統構法木造軸組の耐震性能を評価するとともに耐震補強法の検証を行う。

③ 伝統構法を含む軸組構法木造建物の耐震性能について総合的評価を行うとともに全体のまとめを行う。

(e) 平成15年度業務目的

- ① 伝統的な差鴨居を有する木造軸組の耐震性能を評価するため、差鴨居を有する軸組試験体を製作し、振動台実験を京都大学防災研究所強震応答実験室で実施し、木造軸組の大変形に至る動的挙動と破壊性状を把握するとともに、木造軸組の復元力特性などの耐震性能を調べる。また、土台に柱を長柄・込み栓で止めた軸組と柱を礎石に載せただけの軸組の振動台実験により、差鴨居効果と併せて柱脚部の仕様による耐震性能の違いを調べる。
- ② 伝統的な柱－横架材接合部の実態調査などに基づいて、仕口仕様のプロットタイプを設定し、接合部の要素試験体を製作し静的繰り返し実験を行い、柱－横架材接合部のモーメント抵抗や木造軸組架構の復元力特性など耐震性能の評価を行う。ここでは、鴨居を有する軸組を対象として、鴨居の断面寸法と仕口の接合方法を実験パラメータとした静的水平繰り返し加力実験を行い横架材の効果を検討するとともに、木造軸組架構が有する耐震性能を調べる。

(2) 平成15年度の成果

(a) 業務の要約

- ① 木造軸組の主要な耐震要素を組み込んだ単位フレームあるいは連続フレーム試験体を製作し、振動台実験を京都大学防災研究所強震応答実験室で実施している。平成15年度は、伝統的な木造軸組の耐震性能を評価するため、土台に柱を長柄・込み栓で止めた軸組と柱を礎石に載せただけの軸組、これら2体の立体軸組の振動実験を実施し、木造軸組の大変形に至る復元力特性と破壊性状を調べた。
- ② また、伝統的な柱－貫等接合部の要素試験体を製作し静的繰り返し実験を行った。これらの実験により、柱－貫等接合部のモーメント抵抗や木造軸組架構の復元力特性など耐震性能の評価を行った。
- ③ 平成15年7月26日に発生した宮城県北部の地震による木造建物の被害調査を8月8日から12日まで矢本町、河南町、南郷町において実施した。地域内での木造建物の被害状況と地域の構法など構造特性を調べ、木造建物の耐震性能を評価した。この被害調査は、京都大学防災研究所の他に金沢工業大学、広島国際大学、山口大学、大阪市立大学などとの合同で実施した。

## (b)業務の成果

### 1) 伝統的な木造軸組の振動台実験による耐震性能評価

#### a) はじめに

伝統的な軸組構法木造住宅の耐震性能を適切に評価するため、基本となる軸組フレームの実大振動台実験を実施した。特に、伝統構法で多く用いられている差鴨居<sup>1),2)</sup>や土塗小壁などから構成される軸組試験体を用いた。接合部には、ホールダウン金物などを用いる現代的な構法ではなく、長ほぞ込栓接合や二重ホゾ差といった伝統的な仕口を用い、大変形に至る挙動を把握した。また、伝統的な木造建物では、礎石の上に柱を置き、土台の代わりに地覆・足固めが用いられる構法も多く見受けられる。足固めを有する試験体の振動台実験も併せて実施することにより、現在の一般的な土台を有する試験体と比較して、復元力特性にどのような差異が生じるのかを検討した。

#### b) 試験体の概要

##### i) 差鴨居を有する単位軸組試験体

図 1 に示すように柱、桁と土台から構成される単純な単位軸組（高さ 2930mm×幅 1820mm）を基本として<sup>3),4)</sup>、差鴨居の有無、柱スパン、小壁の有無をパラメータにして試験体を設定した。実験では、加振方向に 2 枚の構面を併置し、桁レベルの水平構面に構造用合板 24mm を使用し試験体が一体として挙動するようにした。また、直交方向には倒壊及びねじれを防止するために、ステンレスブレースを配置し、接合部はピンとした。土台の両端にφ18mm のボルト穴を開け、φ16mm のアンカーボルトで振動台上の架台と緊結している。試験体の立面図を図 2 に示す。材種は、柱と土台がヒノキで、桁と差鴨居はベイマツである。柱には背割れはなく、柱太さは 120mm 角である。また差鴨居の断面は 120mm×270mm である。柱と土台及び柱と桁の接合部は、長ほぞ込栓接合とし、柱と差鴨居の接合部は通しほぞ鼻栓打ちとした。接合部の詳細を図 3 に示す。また、試験体設置の状況を写真 1 に示す。柱 1 本あたりにかかる軸力を一定にするため、載荷重量は、すべての試験体において 15kN とした。

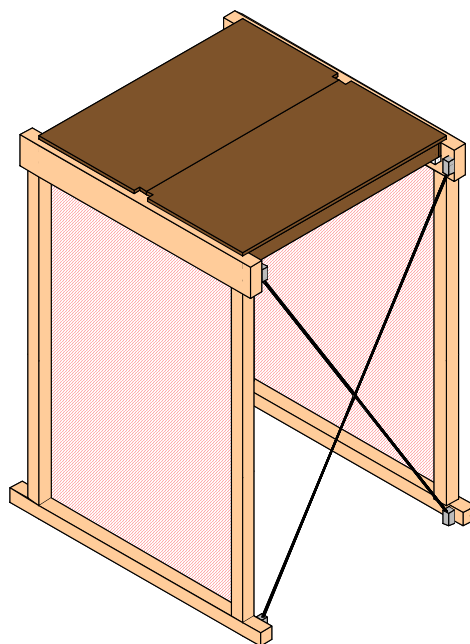


図 1 試験体のイメージ

##### ii) 差鴨居を有する立体軸組試験体

試験体は土台立体試験体と足固立体試験体の 2 種類を実験した。試験体を図 4 に示す。土台立体試験体は、単位軸組の差鴨居 2 間試験体を長手方向に、差鴨居 1 間試験体を短手方向に組み合わせたものである。材種は、第 I 期と同様に、柱と土台にヒノキ、桁と差鴨居にベイマツを用いた。柱には背割れはなく、柱太さは 120mm 角である。また差鴨居の断面は 120mm×270mm である。

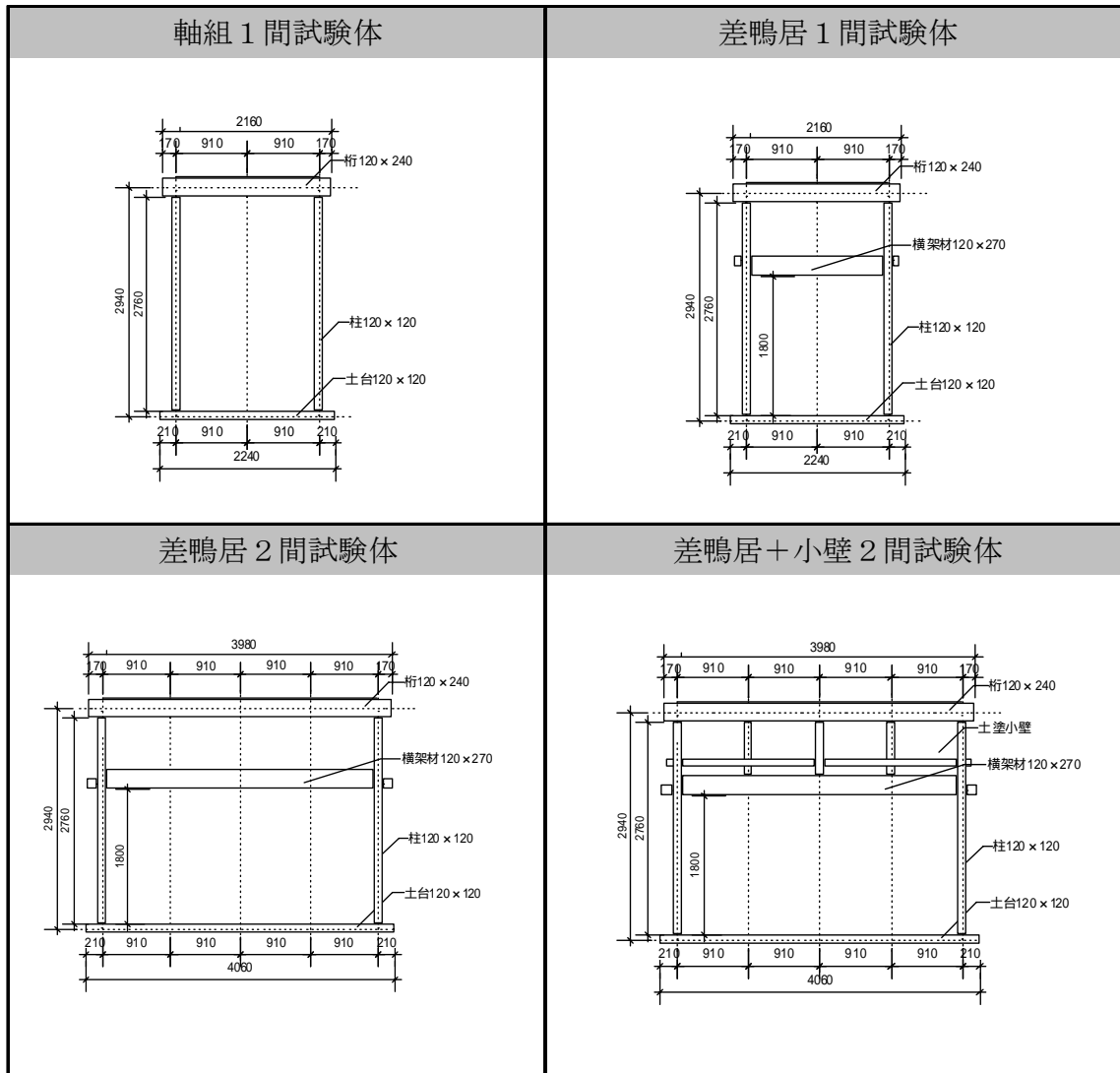


図 2 単位軸組試験体の立面図(単位 mm)



写真 1 実験風景

接合部	図面	3 D
柱-土台		
柱-差鴨居		
柱-桁		

図 3 仕口の詳細(単位 mm)

柱と桁・梁の接合部は、押しハダ付合カキ二重ホゾ差接合とし、柱と差鴨居の接合部は通しほぞ鼻栓打ち接合、土台と柱の接合部は、蟻落とし長ホゾ接合とした。試験体設置の状況を写真 2 に、接合部の詳細を図 5 に示す。

足固立体試験体は、土台立体試験体の土台のかわりに足固めを置いたもので、礎石の上に柱が載っている。足固めの断面は 120mm×200mm とした。柱と桁・梁の接合部、柱と差鴨居の接合部は土台試験体と同様である。足固と柱の接合部は、込栓片ホゾ接合とした。

シリーズ	立体試験体(土台)	立体試験体(足固)
試験体		
立面図		
目的	差鴨居の立体的な効果を検証する。	差鴨居・足固の立体的な効果を検証する。

図 4 立体軸組試験体の立面図(単位 mm)

c) 実験方法

i) 動の実験

入力振動台の最大加速度を加振波の最大振幅に合わせてスケール変更を行い制御した。加振には試験体の固有振動数によって応答に差異が発生することを防止するため構造設計に多用される日本建築センター設計用人工地震波(BCJ-L2 57.4Kine,355.7Gal)の加速度記録を用い、最大加速度を 50Gal~1000Gal まで 100Gal 刻みを基本として振幅調整した波形を入力した。BCJ-L2 の振幅調整していない原波形を図 6 に示す。



写真 2 実験風景

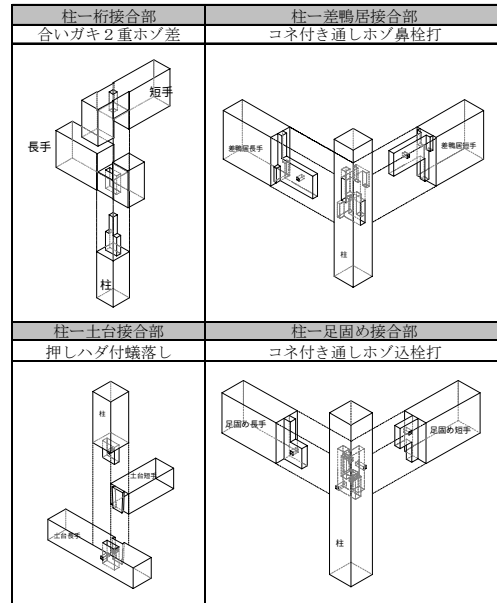


図 5 仕口の詳細(単位 mm)

## ii) 静的実験

立体軸組試験体シリーズでは、静的実験も実施した。加力装置として、容量 10t、ストローク 800mm の電動アクチュエータ(THK 株式会社製 AE80+800L-00145)を用いた。加力方法は、繰り返し加力による損傷と復元力低下の影響を調べるために、1/10rad 変形時以下は正負交番 3 回繰り返し加力とし、1/8rad 以降はアクチュエータのストロークの制限があるため正側のみ 3 回繰り返し加力で行った。加力の概要を図 7 に示す。加力荷重反転点は、見かけのせん断変形角が  $\pm 1/450(6.1\text{mm})$ 、 $\pm 1/300(9.1\text{mm})$ 、 $\pm 1/200(13.65\text{mm})$ 、 $\pm 1/150(18.2\text{mm})$ 、 $\pm 1/100(27.3\text{mm})$ 、 $\pm 1/75(36.4\text{mm})$ 、 $\pm 1/50(54.6\text{mm})$ 、 $\pm 1/40(68.25\text{mm})$ 、 $\pm 1/30(91\text{mm})$ 、 $\pm 1/25(109.2\text{mm})$ 、 $\pm 1/20(136.5\text{mm})$ 、 $\pm 1/17.5(156\text{mm})$ 、 $\pm 1/150(182\text{mm})$ 、 $\pm 1/12.5(218.4\text{mm})$ 、 $\pm 1/10(273\text{mm})$ 、 $+ 1/8(341.25\text{mm})$ 、 $+ 1/7(390\text{mm})\text{rad}$  時である。

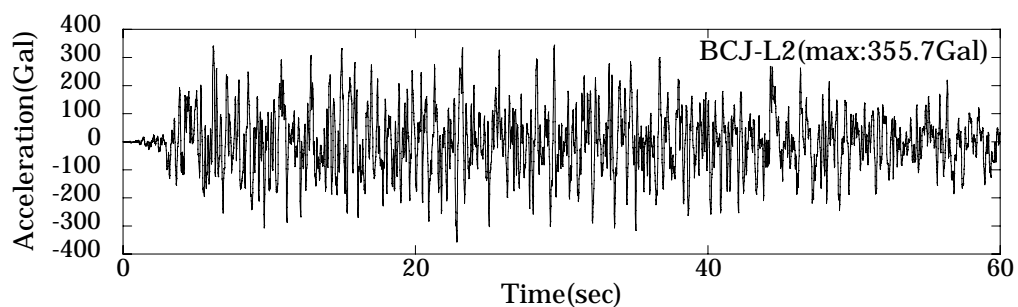


図 6 動的実験に用いた BCJ-L2 の時刻歴波形



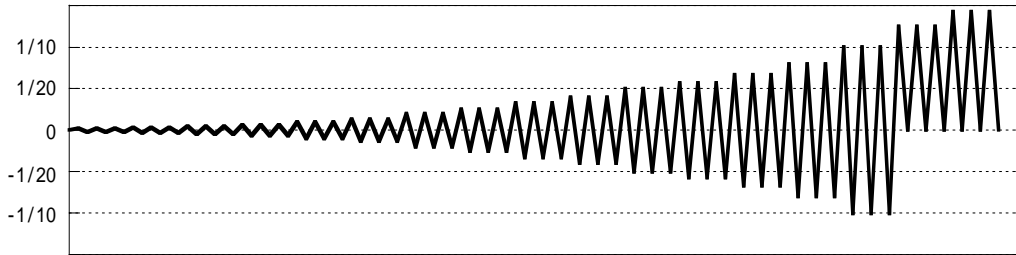


図 7 静的実験の載荷予定

d) 破壊状況

代表的な試験体として、差鴨居 2 間立体足固試験体の静的実験における大変形時の様子を写真 3 に示す。また、代表的な破壊の様子を写真 4～写真 13 に示す。軸組試験体では、加振中に、顕著な破壊を目視で確認することが出来なかった。しかし、実験終了後の解体時に撮影した写真 5 に示すように、仕口内部のほぞが破壊していた。



写真 3 大変形時の様子(立体足固試験体)

差鴨居試験体では、写真に示すよ

うな破壊の違いを確認することが出来た。まず、鼻栓が破壊する写真 4 のタイプである。鼻栓は破壊した後、V字型に折れ曲がるが、差鴨居が柱から抜けようとする力に対して抵抗した。次に写真 12 に見られるような差鴨居のほぞ端部が破壊するタイプである。ほぞ端が破壊とほぞの根本部分が大きく曲がっていることから、ほぞの根本破壊も同時に発生していると考えられる。最後に写真 8 に見られるような柱が破壊するタイプが見られた。これは、小壁試験体、差鴨居小壁 2 間試験体で見られたことから、小壁を配置した両端の柱に、この破壊パターンが多く発生する可能性が指摘された。これら差鴨居の破壊パターンを図 8 にまとめる。

i) 差鴨居 1 間試験体、軸組 1 間試験体



写真 4 鼻栓の破壊



写真 5 ほぞの破壊

ii) 差鴨居 2 間試験体



写真 6 鼻栓の破壊



写真 7 ほぞの破壊

iii) 差鴨居+小壁 2 間試験体



写真 8 柱の破壊



写真 9 ほぞの破壊

iv) 差鴨居 2 間立体試験体

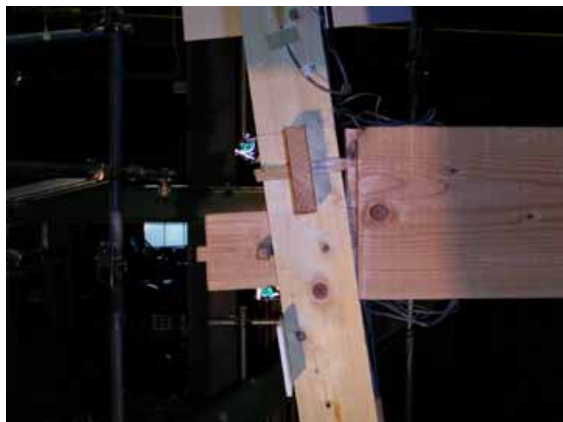


写真 10 差鴨居の変形

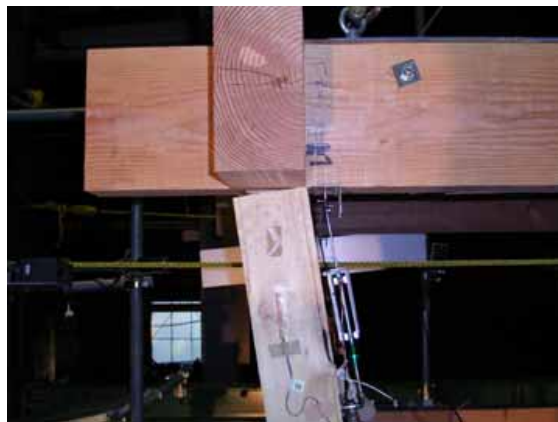


写真 11 仕口の変形

v) 差鴨居 2 間立体足固試験体



写真 12 差鴨居の破壊

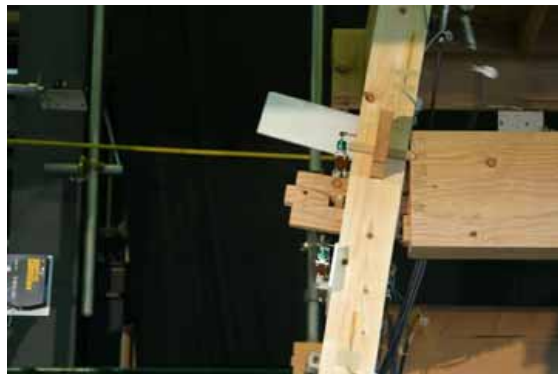


写真 13 差鴨居の変形

差鴨居-柱接合部破壊性状			
柱破壊	鼻栓破壊	ホゾ先破壊	ホゾ根元破壊

図 8 差鴨居-柱接合部の破壊性状

e) 復元力特性

各試験体の最大加速度入力時における復元力特性を図 9～図 14 に示す。また、各加振時の復元力特性の最大値最小値を基本として抽出した復元力包絡線を併せて示す。差鴨居試験体は軸組試験体と比較して、約 2 倍の耐力を有すること、また試験体の復元力が最大となる変形角が軸組試験体に比べて、差鴨居試験体の方が大きいことが確認できた。次に、差鴨居 1 間試験体と 2 間試験体の復元力特性は、ほぼ等しく、差鴨居の仕口部分で耐震性

能が発揮されていることを把握した。この結果より、差鴨居試験体は、差鴨居がない軸組のみの試験体と比較して、差鴨居の仕口部分が破壊した後の大変形領域でも急激な耐力低下が生じることなく安定した復元力特性を有することが分かった。

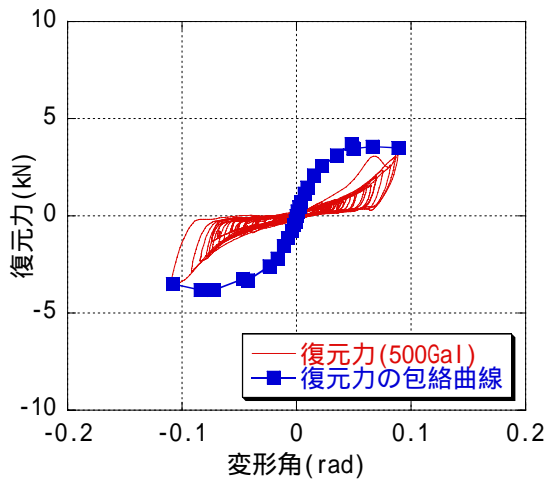


図 9 差鴨居 1 間試験体

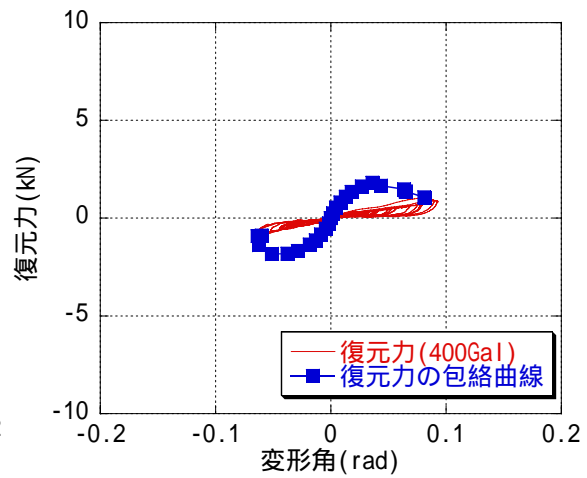


図 10 軸組 1 間試験体

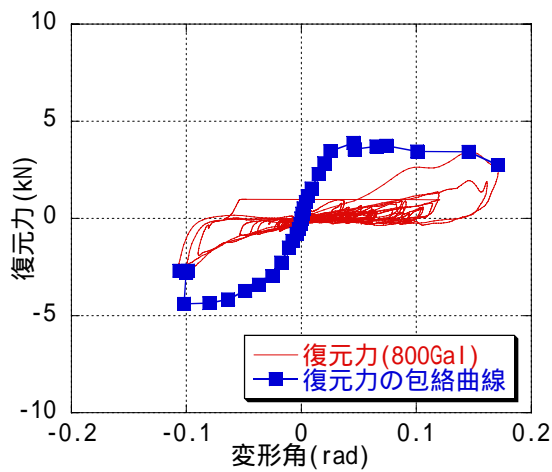


図 11 差鴨居 2 間試験体

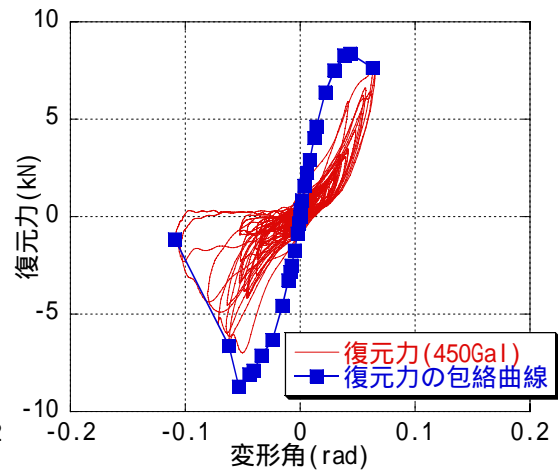


図 12 差鴨居+小壁 2 間試験体

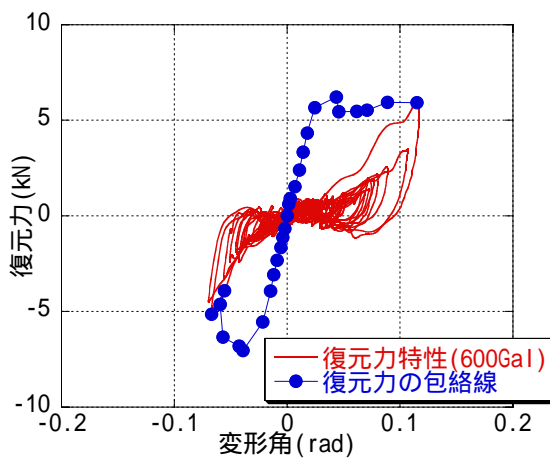


図 13 差鴨居 2 間立体試験体

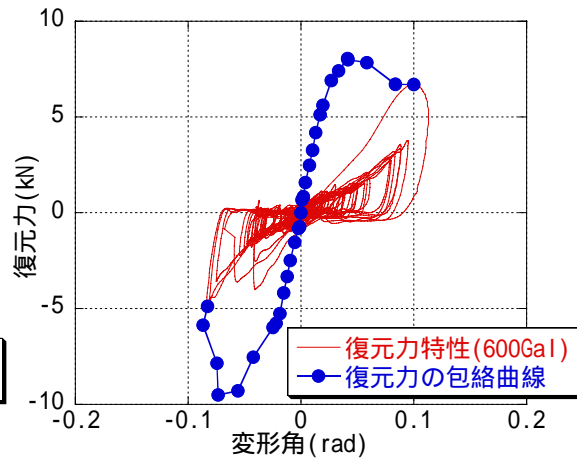


図 14 差鴨居 2 間立体足固試験体



また小壁付試験体では、他の試験体と比較して耐力の上昇は認められるが、柱の折損による耐力低下が発生することも併せて把握した。伝統構法木造で多用されている足固試験体は、土台試験体と同等の耐震性能を発揮することが確認された。

f) まとめ

軸組構法木造住宅の耐震性能を適切に評価するため、基本となる軸組フレームの振動台実験を実施した。差鴨居を有する試験体は、差鴨居を持たない軸組のみの試験体と比較して、差鴨居の仕口部分が破壊した後の大変形領域でも、耐力の急激な低下が起きない安定した復元力特性を有することを把握した。また、耐震要素としての差鴨居は、その仕口部分で耐力が発生するため、差鴨居の長さに耐力が比例しないことが確認された。そして、礎石の上に柱を直接建てたのみの足固試験体は、柱を土台にほぞで接合した、土台試験体と比較して耐力、変形性能で大きな低下が認められなかった。小壁を配置することにより、耐力の向上を見込むことが出来るが、構面の変形性能を損なう恐れがあることも確認できた。これら、振動台実験から、伝統構法木造住宅における耐力壁以外の耐震要素も含めた耐震性能を適切に評価できることを示した。

2) 伝統的な柱－貫等接合部の静的実験・解析

a) はじめに

過去の地震被害では、柱と横架材による骨組架構を基本とする伝統的な木造軸組構法の建物の被害が小さい事例が報告されている<sup>5)</sup>。伝統的な木造軸組の耐震性能を評価するには、架構の保有水平耐力やエネルギー吸収能力を実験的かつ理論的に解明し、なぜ建物被害が小さかったかを論証できる理論的枠組みを構築する必要がある、現行の壁量規定や許

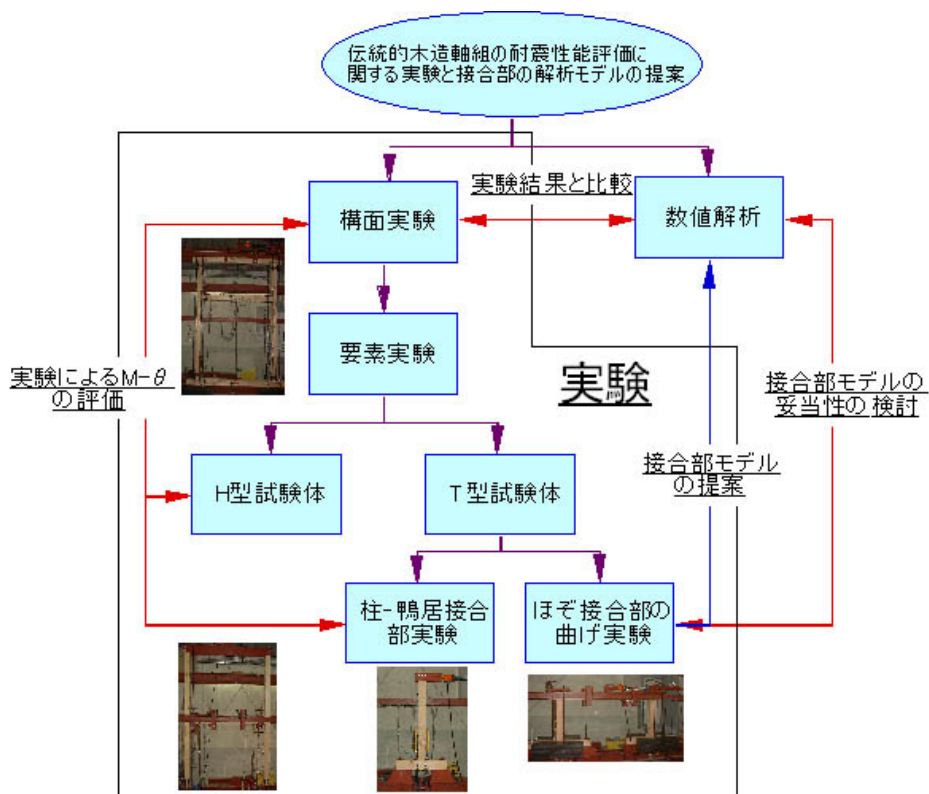


図 15 伝統的な柱－貫等接合部の静的実験・解析の全体フロー

容応力度設計法のみでは、耐震性能を正當に評価することはできない。柱・横架材から構成される軸組構法は、材種、材料の力学的性質、部材の断面寸法、仕口構法やスパンなどその地域に合った特徴を持ち、多種多様である。本課題では、実態調査などに基づいて、仕口の仕様のプロットタイプを設定し、鴨居を有する軸組を対象として、鴨居の断面寸法と仕口の接合方法を実験パラメータとした静的水平繰り返し加力実験を行い横架材（ここでは鴨居）の効果を検討するとともに、木造軸組架構が有する耐震性能について考察する。また、仕口内部のメカニズムの解明の追求の必要性を指摘するとともに解析手法として接合部の解析モデルを提案し、単位構面試験体を対称として有限要素法解析を行い、実験結果との比較を行い、そのモデルの妥當性を検討した。

本課題を遂行するにあたって図 15 に示すように、① 単位構面実験、② 要素実験、③ ほぞ接合部の曲げ実験、④ ほぞ接合部の解析モデルと数値解析の 4 項目に分類して実施した。

#### b) 単位構面実験

伝統軸組構法による柱、桁、鴨居で構成される平面骨組の静的繰り返し水平加力実験（以下、構面実験と呼ぶ）を行い、鴨居の断面寸法と仕口の接合部仕様をパラメータとして、復元力特性への影響を調べた。載荷方法は、一定鉛直荷重を与えつつ、桁に強制水平変位を与えている。また、水平加力を受けると左右の柱の曲げ変形が非対称となることが実験で確認された。この非対称となる曲げ変形と鴨居一柱の仕口での挙動との関係を考察した。

##### i) 断面寸法による影響

鴨居の断面寸法による影響を調べるために、込み栓接合の鴨居せい 120mm、240mm、360mm の試験体を用いて実験を行った結果を図 16 に示す。鴨居断面が大きくなることによって最大耐力が上昇する傾向が見られた。また、復元力特性は、断面が小さなものでは荷重反転後の復元力に多少の減少が見られ、若干傾斜復元力の影響が見られる。しかし断面が大きなものには復元力に減少は見られない。

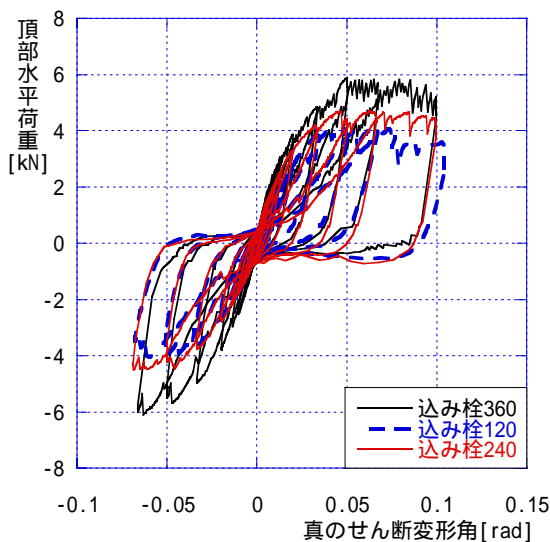


図 16 断面寸法による影響

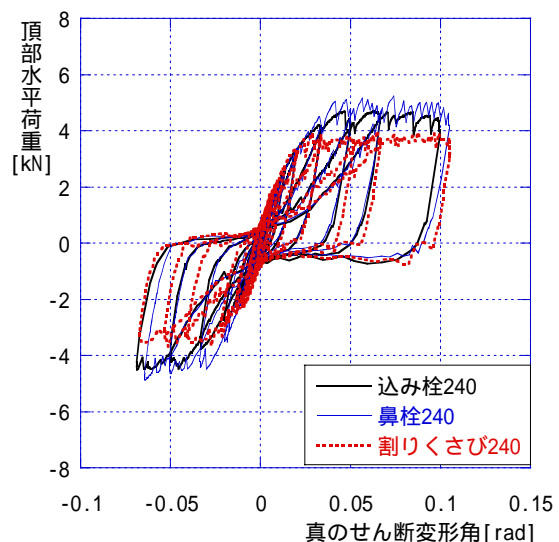


図 17 接合方法による影響

##### ii) 仕口の接合方法による影響

同様に、仕口接合方法については、込み栓、鼻栓、割りくさびの 3 種類について調べた。

図 17 に示すように、込み栓 240、鼻栓、割りくさびの最大耐力を比較すると、鼻栓が高く 1/150rad 時耐力では割りくさびが高い。これは、初期の変形時はくさびの効果により高い耐力が得られるが、変形量が進むにつれ鴨居ほぞの引き抜けにより抵抗しなくなったため耐力が落ちてしまい、逆に鼻栓では、変形量が進んでも鼻栓の効果により鴨居ほぞが引き抜けにくくなるために高い耐力が得られると推測される。

### iii) 柱の非対称な曲げ変形

柱脚に引き抜け力を受ける柱より圧縮側の柱において変形量が大きく、その傾向は  $1/20\text{rad}$  時において顕著であった。柱脚に引き抜け力を受ける柱では、試験体の変形に伴い鴨居接合部が引き抜け力を受ける際、鴨居端部の割裂等による接合部の引き抜け抵抗力の低下によって柱の曲げ変形が解消されるのに対し、圧縮側の柱では、同様の破壊によって引き抜け抵抗力の低下を生じて鴨居が柱を加力方向に圧縮するような挙動を示すため柱の曲げ変形は解消されず、非対称な柱の曲げ変形に影響を及ぼすものと考えられる。

### c) 要素実験

桁と除き、柱と鴨居で構成した H 型形状の平面骨組（以下、H 型試験体と呼ぶ）と、横架材を柱下に置き、柱と横架材とを接合した逆 T 型形状の骨組（以下、T 型試験体と呼ぶ）の二種類の骨組に対して静的繰り返し水平加力実験を行い、接合部での曲げモーメント  $M$  - 回転角  $\theta$  関係を調べた。H 型試験体、T 型試験体の  $M - \theta$  関係と、構面試験体のそれとを比較し対応関係について考察した。

一般的な接合部実験法である T 型試験体を用いる曲げ実験と今回新たに実施した H 型試験体を用い水平加力実験における接合部でのモーメント - 回転角関係の結果を図 18 に示す。これらを比較すると、H 型試験体を用いた実験結果の方が、単位構面で得られた結果に近いことがわかった。この理由は、H 型試験体を用いる実験方法では、柱の曲げ変形が考慮されるためと考えられる。

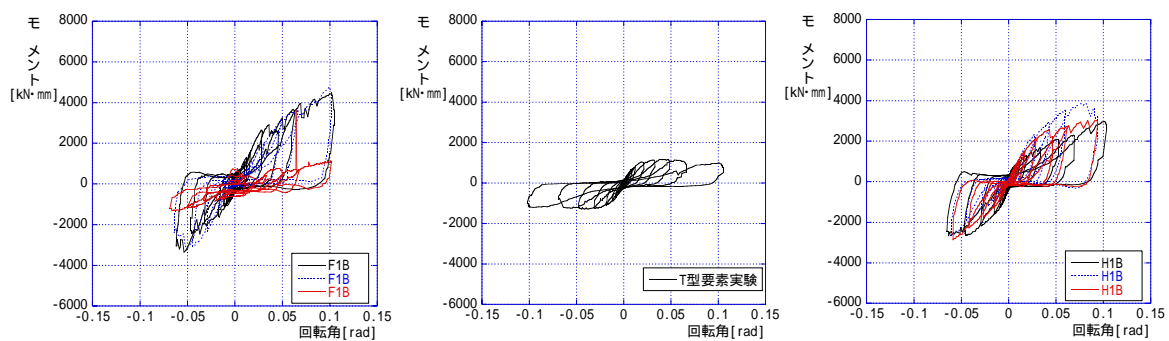


図 18 異なる試験法での接合部のモーメント - 回転角評価

### d) ほぞ接合部の曲げ実験

込み栓接合の T 型試験体を図 19 のように二体並べ、一定鉛直荷重を与えて静的繰り返し水平加力実験を実施し、鉛直荷重の大きさが接合部の復元力特性にどう影響するかを調べた。また、仕口内部のほぞの変形が目視できるように、土台の一部を欠いた試験体を作成し、仕口部全体の変形性状を観察した。さらに、ほぞの各部に歪ゲージを貼付し、繊維方向と繊維直交方向とで、応力がどのように伝達されているか詳細に調べた。

i) ほぞ接合部の復元力特性  
 ほぞ接合部の復元力特性を図20に示す。鉛直荷重が無い場合は安定なスリップ型の復元力特性を示すが、鉛直荷重が増加するにつれて荷重-変位曲線に負勾配が現れ、劣化型の復元力特性となる。

ii) 仕口部の変形  
 繰り返し載荷時の仕口部の挙動として、土台上面-柱間、仕口内部のほぞの端部-土台間で接触、非接触の様子が目視で観察された。また、その木材間の接触が見られた箇所の土台上面、ほぞ端部で、繊維直交方向にめり込む残留変形が見つかった。

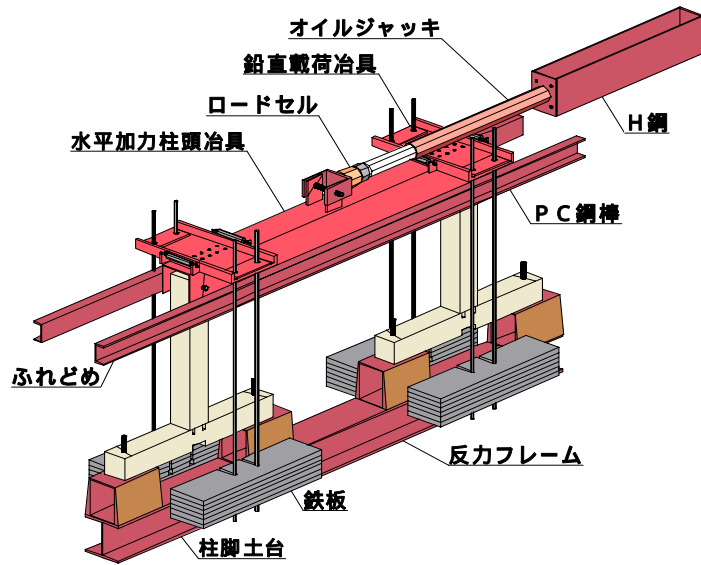


図19 ほぞ接合部の載荷システム

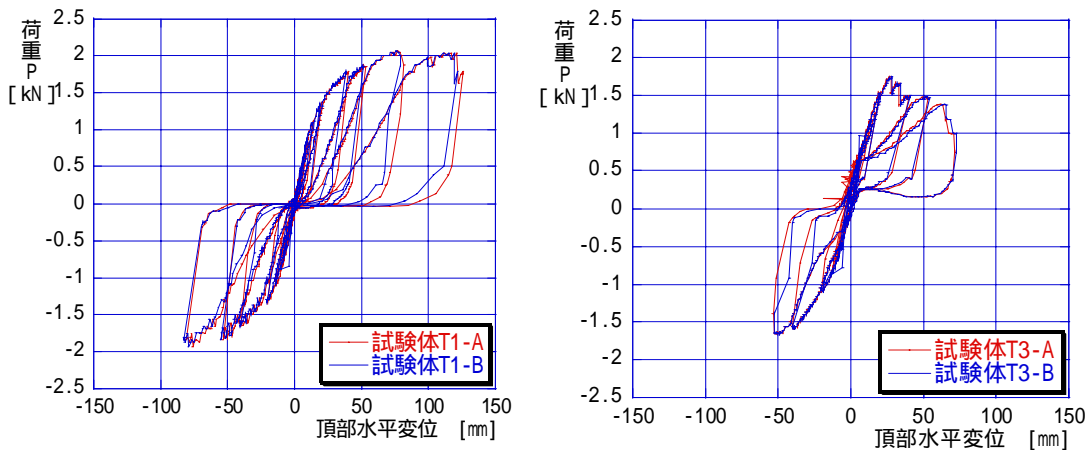


図20 ほぞ接合部の鉛直荷重による影響

iii) ほぞ各部の歪

ほぞの上部、下部に貼付した歪を計測したところ、接合部が正負繰り返し載荷されているにも関わらず、繊維方向では主として引張歪が発生しており、繊維直交方向では主として圧縮歪が生じていることが分かった。この実験結果は、接合部を構成している構造要素ごとに、伝達する応力が異なることを示しており、解析モデルを作成する際には、この点に注意を要する。

e) ほぞ接合部の解析モデルと数値解析

接合部の曲げ実験で得られた知見を元に、ほぞ接合部の骨組解析用モデルを提示する。提示した解析モデルを組み込んだ骨組解析プログラムを用いて、接合部の曲げ実験および構面実験に対する数値解析を行い、解析モデルの適用範囲を検討する。



i) 込み栓仕様によるほぞ接合部の解析モデルの提案

d)の実験結果に適合したほぞ接合部の解析モデルを作成するために着目した点は、①柱一土台間、および仕口内部のほぞ一土台間の接触・非接触挙動、②土台及びほぞの繊維直交方向のめり込みである。接合部に軸力と曲げモーメントが生じている状態では、柱の曲げ圧縮縁が土台と接触することで圧縮抵抗し、曲げ引張側では込み栓で引き抜きが拘束されているほぞが主として引張抵抗すると考えられる。また、土台のほぞ穴とほぞとの接触・非接触挙動に対しては、ほぞの繊維直交方向の接触領域が圧縮力を伝達し、引張力はほぞを回りに位置する土台が抵抗し、ほぞは非接触状態となるため、ほぞの繊維直交方向には引張力を伝達できないと考えられる。以上からほぞ接合部の力学モデルとして、土台の繊維直交方向は圧縮のみ抵抗し、ほぞの繊維方向は引張にのみ抵抗、ほぞの繊維直交方向は圧縮のみに抵抗するモデルを用いる。この応力伝達に適合した単軸構成則に従う集中材料線素の集合体を基本要素とする梁一柱有限要素モデルを接合部の解析モデルとする。

ii) ほぞ接合部の解析モデルを組み込んだ骨組解析プログラムによる数値解析

使用している骨組解析法は、3次元の有限回転の影響を考慮した大たわみ解析法を増分摂動法で定式化した一次元複合非線形解析法である<sup>6)</sup>。この解析法に接合部の解析モデルを組み込んだ骨組解析プログラムを用いて、接合部の曲げ実験と構面実験のシミュレーションを行った。接合部の曲げ実験に対する解析結果は、荷重一変位曲線の初期勾配、包絡線とも、鉛直荷重が無い場合の実験結果とよく対応した。しかし、鉛直荷重を受ける実験結果に対しては、最大荷重および最大荷重点以後の荷重一変位曲線を予測するには至っていない。この理由は、組み立て時の初期応力を無視し、木材のめり込みとは異なる損傷、例えば繊維方向の引張、せん断破壊を考慮していないためと考えられる。構面実験に対する解析結果は、最大荷重まで実験結果とよい対応を示す。しかし、実験で得られた最大荷重付近で解析曲線の勾配が緩やかになるが、実験曲線の包絡線には負の勾配が見られ、鉛直荷重を受ける曲げ実験の場合同様、最大耐力を予測できていない。そこで、試験体組み立て時に発生すると考えられるほぞの繊維直交方向の初期圧縮応力を与えて解析を行った。その結果、初期応力に繊維直交方向にめり込む応力の半分の応力を与えた場合、実験で得られた最大荷重値と解析曲線の勾配が変化する荷重値とが近づくことが確認できた。試験体のほぞ穴の寸法は、ほぞの寸法より1mm程小さめに作成されるという部材の加工方法から判断しても、初期応力を与えた解析が必要である。最大荷重点の予測結果から、現状の解析モデルの適用範囲は、木材の非破壊域までと考えられる。

f) まとめ

伝統的な柱一貫等接合部の静的実験から得られた内容を以下に示す。

i) 構面実験での荷重一変形角関係より断面寸法による影響では、鴨居の断面が大きくなると最大耐力の上昇が見られた。また、仕口の接合方法が異なると損傷・破壊のメカニズムが異なり、鴨居の損傷が左右の柱の非対称な曲げ変形を発生させることが分かった。

ii) ほぞ接合部の曲げ実験から、仕口部の接触・非接触挙動、および木材間の接触が見られた土台とほぞのある領域で繊維直交方向のめり込み変形を確認した。ほぞ各部の歪を計測したところ、ほぞが片側応力状態であり、繊維方向と繊維直交方向とで伝達する応力が異なることが確認された。

iii) 一方、曲げ実験結果に適合する接合部の骨組解析用モデルを作成し、実験との照合を

行った結果、破壊が確認されない載荷領域までは、実験結果とよく対応する。しかし、劣化型の復元力特性が現れる実験に対しては、最大荷重値の予測には至っておらず、提示した接合部の解析モデルの適用範囲は、木材の非破壊域までと考えられる。

### 3) 宮城県北部の地震による木造建物の被害調査と分析

#### a) はじめに

2003年宮城県北部の地震<sup>7),8)</sup>で多くの建物が被災した桃生郡矢本町、桃生郡河南町、遠田郡南郷町などにおいて被害調査を実施した。特に、木造建物の被害に焦点をあて、地域の木造建物の構造的特徴と被害との関連などを調べるとともに、木造建物の耐震性能を限界耐力計算法などによって評価した。

#### b) 被害調査の概要

被害調査は、日本建築学会近畿支部木造部会（主査：鈴木祥之）を中心に構成された合計20名で調査を行った。表1に被害調査参加者を示す。

表1 2003年宮城県北部の地震による被害調査メンバー

所属機関	役職	氏名
京都大学防災研究所	教授	鈴木祥之
広島国際大学	教授	斉藤幸雄
京都大学防災研究所	助教授	林 康裕
山口大学	助教授	村上ひとみ
金沢工業大学	助教授	後藤正美
大阪府立工業高等専門学校	講師	岩本いづみ
大阪市立大学	助手	中村 仁
京都大学防災研究所	COE 研究員	清水秀丸
日本リスクマネジメント株式会社	技術開発部長	長能正武
損害保険料率算出機構	主任研究員	小嶋伸仁
木四郎建築設計室	主宰	奥田辰雄
木四郎建築設計室	室員	須田 達
京都大学大学院	博士課程	森井雄史
京都大学大学院	博士課程	前野将輝
京都大学大学院	修士課程	大西功人
京都大学大学院	修士課程	向坊恭介
京都大学大学院	修士課程	細入夏加
大阪市立大学大学院	修士課程	阪井健仁
金沢工業大学大学院	修士課程	原田規行
金沢工業大学	学部生	岡村雅克

第1次調査(7月28日～29日)では初動調査を兼ねて断層近傍での最大地動速度評価のための墓石転倒率調査、第2次調査(8月9～12日)では、軸組構法木造建物の地震被害と構

造特性の詳細調査、詳細調査建物周辺の被害傾向把握のための簡易被害調査を実施した。また、詳細調査を行った建物と地盤の常時微動計測なども行い、矢本町小松地区、河南町北村地区と前谷地地区、南郷町二郷地区で、計 21 棟の常時微動計測と構造詳細調査を实

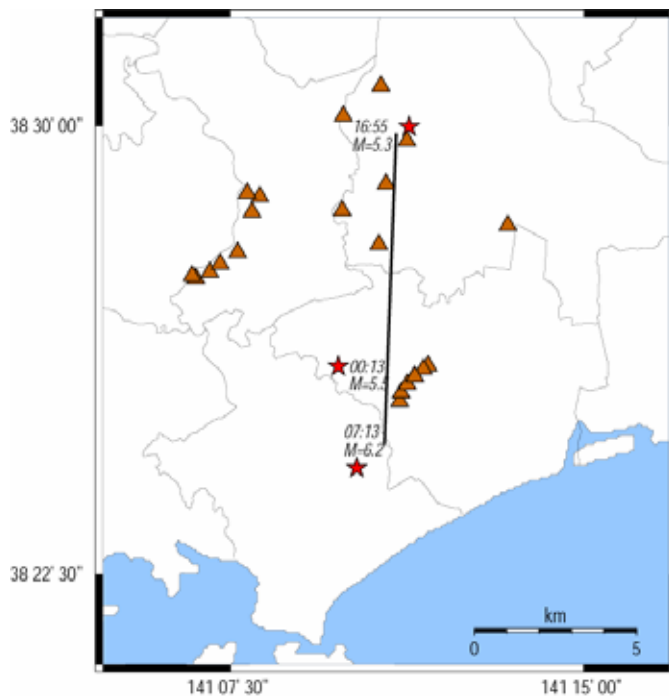


図 21 2003 年 7 月 26 日の強震動の震源と構造詳細調査建物の位置関係



写真 14 特徴的な平屋住宅



写真 15 特徴的な 2 階建住宅

施した。構造詳細調査を実施した建物と震源との位置関係を図 21 に示す。

#### i) 木造建物の簡易被害調査

簡易被害調査では、主に外観目視によって、建物の概要、被害程度、調査時点での修理状況等の項目について調査した。その結果に基づき、木造建物の被害傾向について述べる。

#### ii) 木造建物の常時微動計測

常時微動計測には、水平 2 方向と上下 1 方向が同時に計測できる過減衰型加速時計のアカシ製 GPL-6A3P を用いた。対象建物近傍の自由地盤と建物の小屋裏に加速度計を配置し、サンプリング周波数 100Hz で 5 分間の同時計測を行った。木造建物の常時微動計測では玄関土間と、小屋裏もしくは 2 階床レベルに計測器を設置し、同時計測を行った。

#### iii) 木造建物の構造詳細調査

各建物の耐震性能評価を行うため、平面図を採取し、壁の種類や配置、階高を記録した。次に建物重量の算出のため、屋根材や屋根裏の状況を確認した。また、住民へのヒアリングによる建築年代、増改築の有無や過去の地震被害を確認した。構造詳細調査を実施した建物から、宮城県北部地域の代表的な外観を持つ平屋建物と 2 階建建物の写真を写真 14、写真 15 に示す。

#### c) 調査結果

##### i) 木造建物の簡易被害調査

各町の木造建物の被害は、矢本町、河南町、南郷町の順に大きくなっていった。矢本町で

は、地盤の卓越振動数が高いにも関わらず被害が大きくなっている<sup>9)</sup>。従って、矢本町では震源に近いこともあり、入力地震動が大きかったと推測される。一方、南郷町では地盤の卓越振動数が概ね 1Hz と低く、地盤の増幅効果が木造建物の被害を増大させた可能性がある。建物階数別で被害を比較すると、図 22 に見られるように 2 階建よりも平屋の被害が大きかった。

### ii) 木造建物の微動計測

木造建物の固有振動数は、各町での違いや梁間方向と桁行方向での大きな偏りは見られず、概ね 2~5Hz の間に分布している(図 22)。常時微動計測結果の周期と  $C_y$  との関係を図 23 に示す。

図には、木造建物の降伏震度と固有周期の関係式を参考として示した<sup>10)</sup>。建物の固有周期が短くなるに従い、 $C_y$  が大きくなるの関係式<sup>10)</sup>と同様の傾向が見られ、地震被害の差異による、明確な分類は見られなかった。

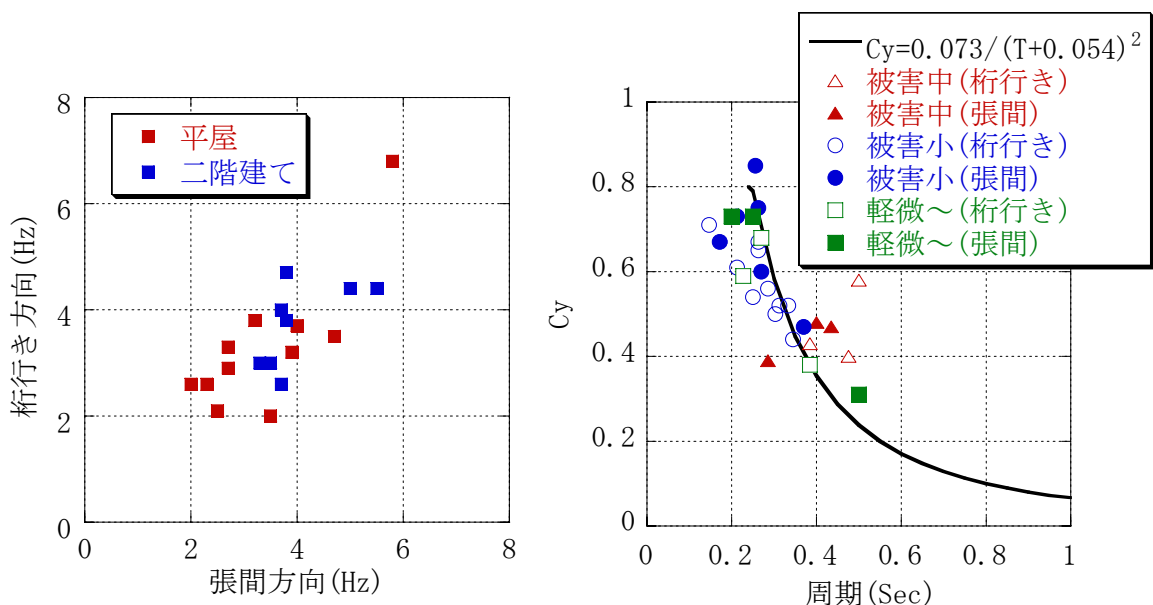


図 22 常時微動計測と建物形態の関係

図 23 常時微動計測の周期と降伏せん断力係数の関係

### iii) 木造建物の構造詳細調査

各建物の復元力特性を、限界耐力計算手法に基づく手法<sup>11)</sup>で算出した。文献 12)の手法では隣接する全面壁が無い場合、小壁は 1/30rad で柱の鴨居部分に生じる曲げにより柱の折損を主体とした破壊モードによって耐震性能を失うと仮定されているが、調査建物では柱の折損を確認することが出来なかったため、小壁は 1/15rad までの耐力と変形性能を有するものと仮定した<sup>13)</sup>。建物重量は建築基準法から算出し、茅葺き屋根の重量は文献 12)から 650N/m<sup>2</sup>とした。

各建物の層間変形角 1/30rad 時のベースシア係数を降伏せん断力係数  $C_y$  として求めた。各耐震要素が  $C_y$  に占める負担率と併せて図 24 に示す。図 24 は左側より、建物全体被災度

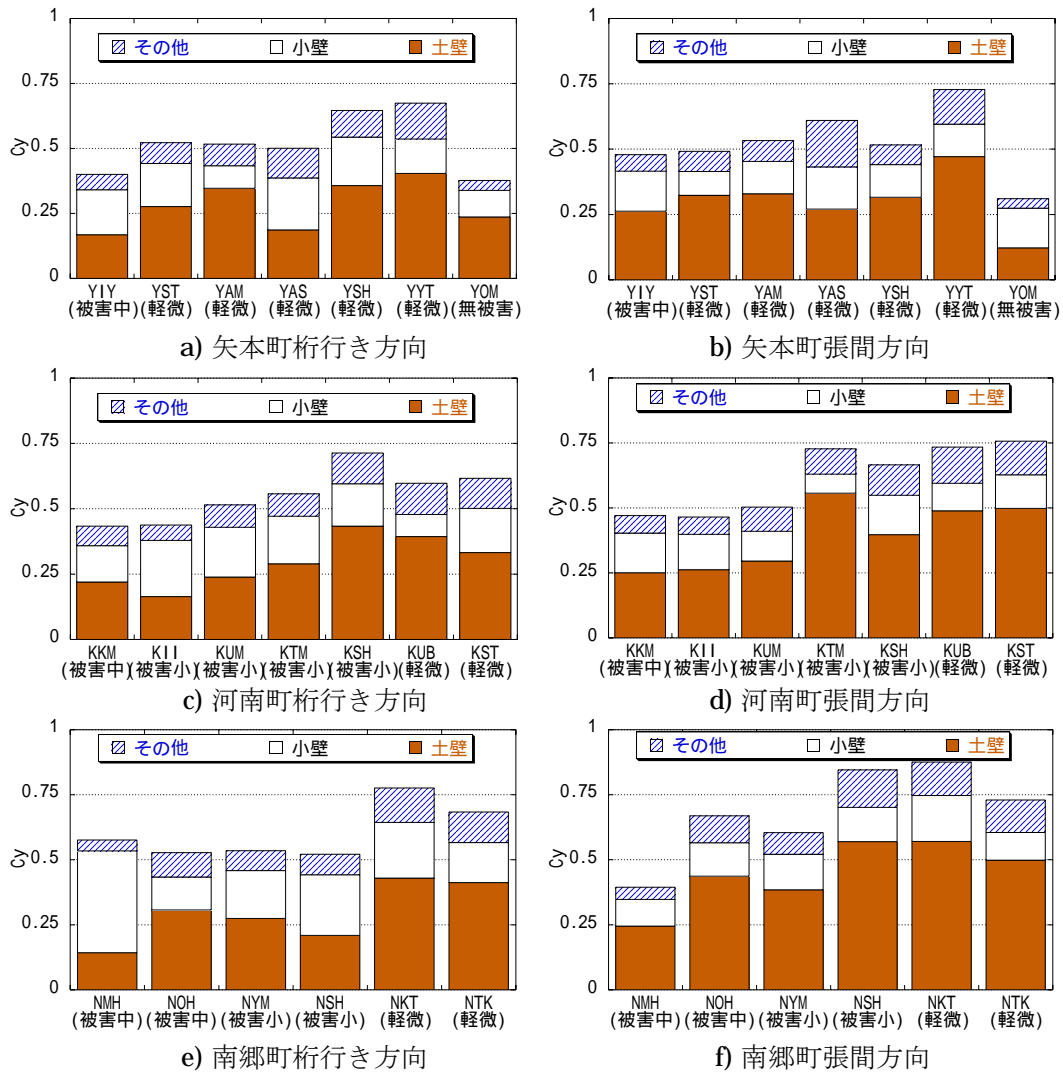


図 24 構造詳細調査から得られた各建物の降伏せん断力係数と各耐震要素の負担割合

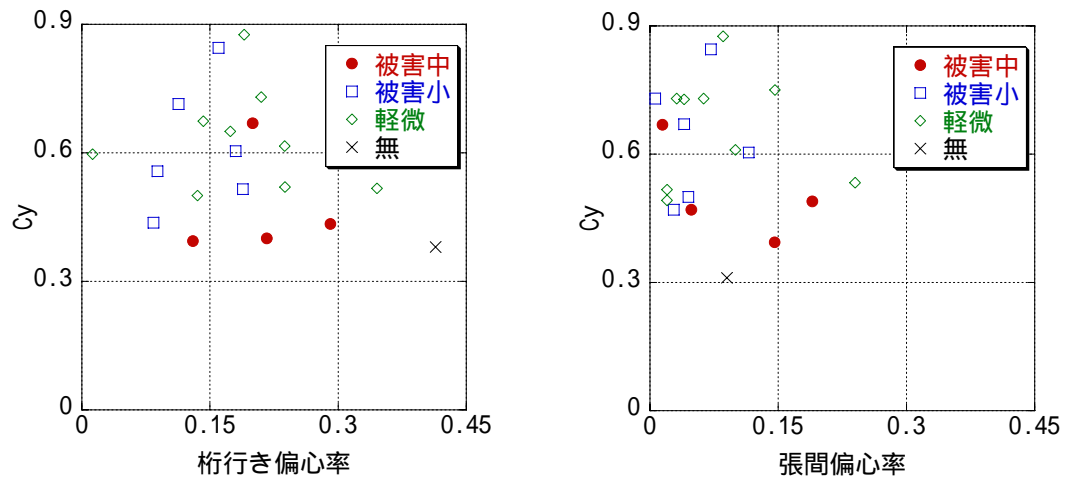


図 25 降伏せん断力係数と偏心率の関係

の程度が大きい建物から並べた。すべての町において桁行き、張間方向ともに  $C_y$  が約 0.3 ~ 0.9 であった。また、土壁小壁が  $C_y$  に占める割合は約 2 割から 7 割と、この地域における重要な耐震要素であることが確認された。この地域の建物は開放的な間取りが多く、偏

心率が高いと考えられる。そこで、被害の程度と偏心率との関係性を求めた。重心位置は、部分2階などの重心位置の偏在も考慮に入れて偏心率を算出した。各建物の  $C_y$  と偏心率を被害程度に分けて図 25 に示す。桁行き、張間によらず、 $C_y$  が比較的低く、偏心率の高い建物で被害が大きい傾向が見られた。

矢本町の YIY 邸、南郷町の NMH 邸は、土壁の脱落なども見られるが、軸組の損傷が被害程度の決定要因であった。

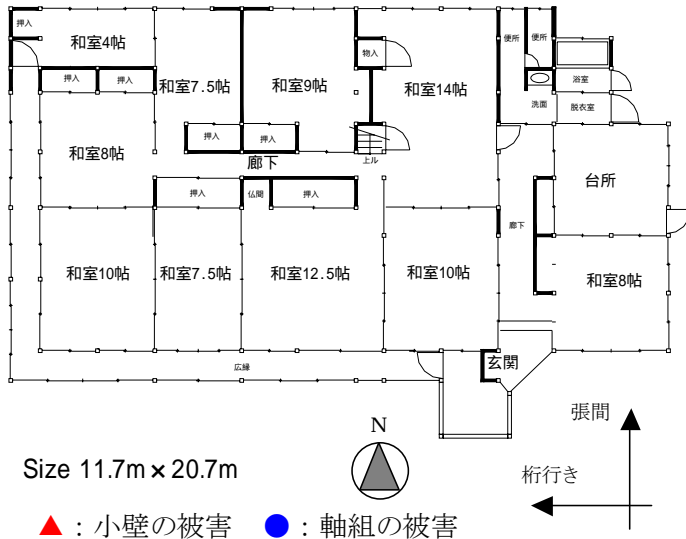


写真16 YIY邸の軸組被害 (長押の抜け)

図26 建物平面図と地震被害の概要(矢本町YIY邸)

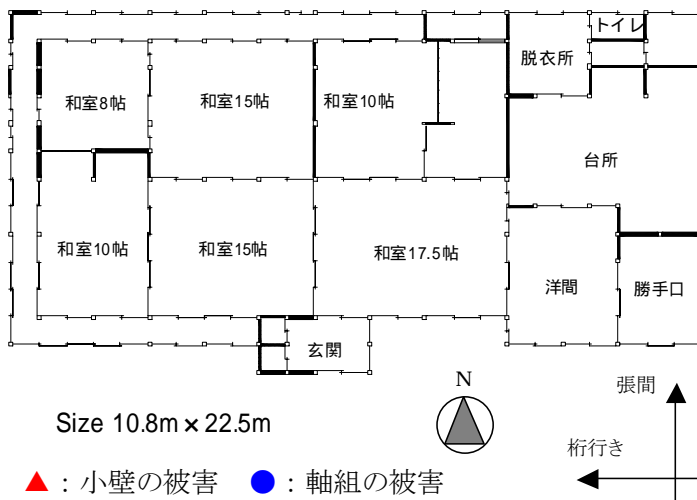


写真17 NMH邸の軸組被害 (柱の折損)

図27 建物平面図と地震被害の概要(南郷町NMH邸)

矢本町 YIY 邸の建物の平面図を図 26 に、軸組の被害箇所を写真 16 に示す。被害ヶ所は建物の南西部分に集中して見られ、桁行き方向の小壁にせん断によると思われる、斜めのひび割れが多く見られた。小壁の被害ヶ所を図 26 に▲で示す。軸組被害は、横架材である長押が、図 26 に●で示す部分において、張間方向に抜けが見られた。 $C_y$  は桁行き方向 0.40、(負担割合、土壁:4割、小壁:4割、その他:2割)で、張間方向 0.48(負担割合、土壁:6割、小壁:3割、その他:1割)、偏心率は桁行き方向 0.22、張間方向 0.19であった。



南郷町 NMH 邸の建物の平面図を図 27 に、軸組被害を写真 17 に示す。被害ヶ所は建物の北東以外の部分で見られ、小壁の被害ヶ所は、図 27 に▲で示すように、小壁の脱落が多かった。軸組被害は、柱が、図 27 に●で示す部分において、張間方向にひび割れが見られた。Cy は桁行き方向 0.58、(負担割合、土壁:2 割、小壁:7 割、その他:1 割)で、張間方向 0.39(負担割合、土壁:6 割、小壁:3 割、その他:1 割)、偏心率は桁行き方向 0.13、張間方向 0.15 であった。

#### d) まとめ

2003 年 7 月 26 日宮城県北部の地震による被災木造建物を対象とした、構造詳細現地調査を実施し、被災建物の耐震性能評価を行った。常時微動計測による被災建物の振動特性の分析や、構造詳細調査から、降伏せん断力係数、各耐震要素が降伏せん断耐力に占める割合、偏心率などを求め、建物全体被害との整合性を検討した。

- 1) 宮城県北部地域の木造建物は平屋建てが多く、階高が高い傾向が見られた。このような建物では、背の高い小壁が重要な構造的特徴として指摘され、耐力の約 2 割～7 割を占めていた。
- 2) 各建物の降伏せん断力係数は、桁行き、張間を問わず、約 0.3～約 0.9 と比較的高い値を示し、この地域の木造建物の耐震性能は比較的、高い可能性が指摘された。
- 3) 被災木造住宅の地震被害の程度は、降伏せん断力係数が比較的低く、偏心率が高い建物ほど、被害が大きくなる傾向が見られた。

#### (d) 結論ならびに今後の課題

木構軸組の実大および要素試験体を用いた振動台実験静的載荷実験を実施して、伝統構法を含む軸組構法木造建物の地震時挙動の把握と耐震性能の評価を行うことを目的として、1) 伝統的な木造軸組の振動台実験による耐震性能評価、2) 伝統的な柱一貫等接合部の静的実験・解析に関する研究を行った。また 3) 2003 年 7 月 26 日に発生した宮城県北部の地震による木造建物の被害調査と分析も併せて実施した。

#### 1) 伝統的な木造軸組の振動台実験による耐震性能評価

木造軸組の主要な耐震要素を組み込んだ単位軸組あるいは立体軸組試験体を製作し、振動台実験を京都大学防災研究所強震応答実験室で実施した。平成 15 年度は、伝統的な木造住宅に多く用いられている差鴨居の耐震性能を評価するため、先ず差鴨居の効果を検証するために、差鴨居を有する軸組試験体と差鴨居のない軸組のみの試験体について実験を行った。その結果、差鴨居を有する試験体は、差鴨居を持たない軸組のみの試験体と比較して、差鴨居の仕口部分が破壊した後の大変形領域でも、耐力の急激な低下が起きない安定した復元力特性を有することを把握した。また耐震要素としての差鴨居は、その仕口部分で耐力が発生するため、差鴨居の長さに耐力が比例しないことが確認された。

次いで、伝統構法木造住宅で差鴨居を用いる場合、土台が無く、柱の足元を足固めで留めつけ、礎石上の載せただけ構法が多く用いられる。土台有りと土台無し差異を調べるために、土台に柱を長柄・込み栓で止めた軸組と柱を礎石に載せただけの軸組、これら 2 種類の立体軸組試験体を製作して振動実験を実施し、木造軸組の大変形に至る復元力特性と破壊性状を調べた。

振動台実験から、礎石の上に柱を直接建てたのみの足固試験体は、柱を土台にほぞで接

合した土台試験体と比較して耐力、変形性能はほぼ同様であることが分かった。

また、伝統構法木造住宅では、鴨居の上に土塗小壁を設けることも多いので小壁の効果についても振動台実験により検証した。小壁を配置することにより、耐力の向上を見込むことができるが、柱の折損を引き起こし構面の変形性能を損なう恐れがあることも確認できた。

伝統構法木造建物では、差鴨居と同様に小壁は耐震性能を向上させる有効な構法であるが、小壁の高さや幅などとともに柱の曲げ耐力との関連について詳細な検討が必要である。従って、次年度は、土塗小壁を有する木造軸組に焦点をあてて、小壁の高さや幅などによって耐力や変形性能に及ぼす影響を調べることによって小壁を有する軸組の構造力学的なメカニズムを明らかにする。

## 2) 伝統的な柱一貫等接合部の静的実験・解析

伝統的な柱一貫等接合部の仕口仕様のプロットタイプを設定し、鴨居を有する軸組を対象として、鴨居の断面寸法と仕口の接合方法を実験パラメータとした静的水平繰り返し加力実験を行い、鴨居の効果を検討するとともに、木造軸組架構が有する耐震性能について考察した。その結果、構面実験での荷重一変形角関係より断面寸法による影響では、鴨居の断面が大きくなると最大耐力が上昇すること、また仕口の接合方法が異なると損傷・破壊のメカニズムが異なるとともに鴨居の損傷が左右の柱の非対称な曲げ変形を発生させることが分かった。

また、仕口内部のメカニズムの解明の追求の必要性を指摘するとともに解析手法として接合部の解析モデルを提案し、単位構面試験体を対称として有限要素法解析を行い、実験結果との比較を行った。ほぞ接合部の曲げ実験から、仕口部の接触・非接触挙動および木材間の接触が見られた土台とほぞのある領域で繊維直交方向のめり込み変形を確認した。ほぞ各部の歪を計測したところ、ほぞが片側応力状態であり、繊維方向と繊維直交方向とで伝達する応力が異なることが確認された。次に、曲げ実験結果に適合する接合部の骨組解析用モデルを作成し、実験との照合を行った結果、破壊が確認されない载荷領域までは、実験結果とよく対応した。しかし、劣化型の復元力特性が現れる実験に対しては、提示した接合部の解析モデルが不十分であることが分かった。

なお、構面実験で得られた柱脚でのモーメント一回転角関係を実験的に評価するには、T型試験体より、柱の曲げ変形が大きく現れるH型試験体を用いて要素実験をする方が現状に近いことが分かった。

以上から、次年度は、伝統的な柱一貫等接合部を有する木造軸組を構造力学的に明らかにするために、仕口部でのめり込み、摩擦などの接触効果と繊維方向の引張、せん断破壊を考慮した解析モデルを提案し、その妥当性を検証するための実験も実施する。

## 3) 2003年7月26日に発生した宮城県北部の地震による木造建物の被害調査と分析

平成15年7月26日に発生した宮城県北部の地震による木造建物の被害調査を矢本町、河南町、南郷町などにおいて実施した。地域内での被害状況を調べるとともに地域の構法など構造特性を調べ、被災建物の耐震性能評価を行った。常時微動計測による被災建物の振動特性の分析や構造詳細調査から、降伏せん断力係数、各耐震要素が降伏せん断耐力に占める割合、偏心率などを求め、建物全体被害との整合性を検討した。その結果、宮城県北部地域の木造建物は平屋建てが多く、階高が高く、背の高い小壁が多く用いられていた。



これらの建物では、特徴的な背の高い小壁が耐力の約 2 割～7 割を占めており、小壁が重要な耐震要素として指摘される。今後、小壁を対象とした、動的・静的実験を実施し、耐震性能評価を行う必要がある。

次に、地震被害状況は、降伏せん断力係数が比較的 low、偏心率が高い建物ほど被害が大きくなる傾向が見られた。今後、伝統構法木造建物を同様な手法を用いた構造詳細調査を行って、降伏せん断力係数や偏心率などのデータ蓄積を行い耐震性能に及ぼす影響を検討する必要がある。

(e) 引用文献

- 1) 大西功人、武田憲明、鈴木祥之：地域の特色ある伝統構法木造住宅の構造調査 広島県東広島市・黒瀬町地域、日本建築学会学術講演梗概集、pp403-404、2002.08
- 2) 武田憲明、大西功人、鈴木祥之：地域の特色ある伝統構法木造住宅の構造調査 鳥取県日野町地域、日本建築学会学術講演梗概集、pp405-406、2002.08
- 3) 鈴木祥之、後藤正美、山田真澄：単位木造フレームを用いた振動台実験による木造軸組の耐震性能評価、第 11 回日本地震工学シンポジウム論文集、pp.1511-1516、2002.11.
- 4) 後藤正美、山田真澄、鈴木祥之：木造軸組の動的・静的実験による耐震性能評価、第 11 回日本地震工学シンポジウム論文集、pp.1517-1522、2002.11.
- 5) 伊藤和明：日本災害史録「阪神・淡路大震災」、官公庁文献研究会、pp.38-51、1996.
- 6) 西村督・森迫清貴・石田修三・上谷宏二：増分摂動法による立体骨組の大たわみ解析、日本建築学会、構造工学論文集、Vol.38B、pp.73-86、1993.
- 7) 日本建築学会：2003 年 5 月 26 日宮城県沖の地震災害調査報告 2003 年 7 月 26 日宮城県北部の地震災害調査報告、pp253-262、2004.3
- 8) 宮城県：宮城県北部連続地震による被害について(確定報),2004.3
- 9) 林康裕、森井雄史、中村仁、村上ひとみ、後藤正美、鈴木祥之：2003 年 7 月 26 日宮城県北部地震の木造建物被害調査、その 1、日本地震工学会大会-2003 梗概集、pp 特 140-特 141,2003.11
- 10) 損害保険料率算定会：地震被害想定資料集、地震保険調査報告 28、PP3-46、1998.9
- 11) 木造軸組構法建物の耐震設計マニュアル編集委員会：伝統構法を生かす木造耐震設計マニュアルー限界耐力計算による耐震設計・耐震補強設計法、学芸出版社、2004.3.
- 12) 文化庁文化財部：重要文化財(建造物)耐震診断指針、PP41-46、pp69-70、2001.3
- 13) 鈴木祥之、後藤正美、山田真澄：単位木造フレームを用いた振動台実験による木造軸組の耐震性能評価、第 11 回日本地震工学シンポジウム、pp1517-1522、2002.11

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
林康裕・清水秀丸・鈴木祥之	Damage of Wooden House in Northern Miyagi, Japan, Earthquakes of July 26, 2003	Seminar on Earthquake Engineering for Building Structures 2003	平成 15 年 10 月 18 日

林康裕・森井雄史・中村仁・村上ひとみ・後藤正美・鈴木祥之	2003年7月26日宮城県北部地震の木造建物被害調査その1地震動特性と被害	日本地震工学会大会-2003 梗概集	平成15年11月11日～11月13日
向坊恭介・森井雄史・須田達・長能正武・林康裕・鈴木祥之	2003年7月26日宮城県北部地震の木造建物被害調査その2木造建物及び地盤の振動特性	日本地震工学会大会-2003 梗概集	平成15年11月11日～11月13日
清水秀丸・奥田辰雄・小嶋伸仁・岩本いづみ・斉藤幸雄・鈴木祥之	2003年7月26日宮城県北部地震の木造建物被害調査その3被災木造建物の耐震性能評価	日本地震工学会大会-2003 梗概集	平成15年11月11日～11月13日
清水秀丸・林康裕・鈴木祥之・森井雄史・向坊恭介	Evaluation of Seismic Performance of Wooden Houses during the Northern Miyagi Earthquakes of July 26, 2003	京都大学防災研究所年報第47号	平成16年3月20日
原田規行・西村督・後藤正美・鈴木祥之	ほぞ接合部の力学性能の実験的検討	日本地震工学会大会-2003 梗概集, pp. 20-21	平成15年11月
西村督・原田規行・後藤正美・鈴木祥之	ほぞ接合部の力学モデルの提案	日本地震工学会大会-2003 梗概集, pp. 22-23	平成15年11月
小杉早希子・原田規行・西村督・後藤正美・鈴木祥之	木造軸組接合部の解析モデルの提案	日本建築学会北陸支部研究報告集, 第47号	平成16年7月
小杉早希子・佐久間譲・原田規行・西村督・後藤正美・鈴木祥之	梁-柱有限要素によるほぞ差接合部の木造軸組解析用モデルの検討(その1)ほぞ接合部の曲げ実験	日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), 構造Ⅲ	平成16年8月
佐久間譲・小杉早希子・原田規行・西村督・後藤正美・鈴木祥之	梁-柱有限要素によるほぞ差接合部の木造軸組解析用モデルの検討(その2)実験と解析との比較	日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), 構造Ⅲ	平成16年8月

清水秀丸・林 康裕・森井雄史・向坊恭介・鈴木祥之	2003年7月26日宮城県北部の地震における被災木造住宅の耐震性能評価	日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道），構造Ⅲ	平成16年8月
中治弘行・伊藤淳・角 徹三・鈴木祥之	壁幅の異なる土塗り壁の損傷過程－その1 実験概要－	日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道），構造Ⅲ	平成16年8月
中治弘行・伊藤淳・角 徹三・鈴木祥之	壁幅の異なる土塗り壁の損傷過程－その2 変形の増大にともなう損傷状態の変化－	日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道），構造Ⅲ	平成16年8月
林康裕・森井雄史・清水秀丸・鈴木祥之	2003年7月26日宮城県北部の震源域における地震動強さと木造建物被害の分析	平成15年度京都大学防災研究所研究発表講演会、京都大学防災研究所、京都テレサ	平成16年2月19日～2月20日
清水秀丸・鈴木祥之・林康裕	2003年7月26日宮城県北部の地震における被災木造建物の耐震性能評価	平成15年度京都大学防災研究所研究発表講演会、京都大学防災研究所、京都テレサ	平成16年2月19日～2月20日

(g) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

### (3) 平成16年度業務計画案

本研究では、木構軸組の実大および要素試験体を用いた振動台実験を実施して、木造特有の特性と木造建築の地域性を考慮して伝統構法を含む軸組構法木造建物の地震時挙動の把握と耐震性能の評価を行い、耐震設計法および耐震補強法の開発と併せて木造建物の耐震性向上を図ることを目的として、以下のように実施する。

#### i) 土塗小壁を有する木造軸組の振動台実験による耐震性能評価

木造軸組の主要な耐震要素を組み込んだ単位軸組あるいは立体軸組試験体を製作し、振動台実験を実施する。平成16年度は、土塗小壁を有する木造軸組に焦点をあてて、小壁の高さや幅などによって耐力や変形性能に及ぼす影響を調べるとともに、大変形に至る動的挙動と破壊性状を把握する。振動台実験に併せて、単位軸組構面試験体による静的載荷実験を実施する。一方、小壁を有する軸組の解析モデルを構築し、実験との比較検証を行う。

#### ii) 伝統的な柱一貫等接合部の解析と検証

木造軸組の耐震性能を精度よく評価するために、柱一貫等接合部における木材間の接触問題としてめり込みや摩擦、繊維方向の引張、せん断破壊を考慮した解析モデルを提案するとともに解析モデルの妥当性を検証するための実大軸組実験および接合部要素実験を実施する。要素実験では、実大軸組の挙動を再現し得る実験方法についても検討する。

#### iii) 伝統構法木造住宅の耐震性能の検証

伝統構法木造建物の耐震性能を検証するために、実在の木造住宅の構造詳細調査を実施する。調査結果から用いられている耐震要素を抽出し、これらの耐震要素の実験結果に基づいて木造軸組の構造力学モデルを構築して構造力学的なメカニズムを明らかにする。解体廃棄される木造住宅を対象に、微動計測、振動計測、破壊実験を実施して耐震性能の検証を行う。

これらの振動台実験や構造詳細調査によって、伝統構法を含む軸組構法木造建物の地震時挙動を把握し得るとともに耐震性能を適切に評価することが可能となる。また、耐震性向上のための耐震設計法および耐震補強法の開発が進展する。