

課題情報シート

テーマ	木造耐力壁の水平加力実験		
大学校	沖縄職業能力開発大学校		
ホームページ	www3.jeed.or.jp/okinawa/college/		
電話番号	098-934-6282 (学務課)		
訓練課程	専門課程	訓練科	住居環境科
担当指導員	成底佐一郎		

開発(制作)年度・期間

2017 年度 ・ 10 月

(内訳) 企画 : 1 月、設計 : 2 月、製作 : 6 月、調整 : 1 月

開発(制作)学生数

4 名

習得した技能・技術

- ① 水平加力装置の設計・組み立てを通して、図面の設計、製作、組立等の実践的な技術。
- ② 水平耐力試験の試験体及び実験から木造耐力壁の加工・組立等の技能・技術と実験法及び測定技術
- ③ 実験結果から耐力壁の評価法や復元予定(移築)する古民家の構造耐力の計算法

開発(制作)のポイント

沖縄県の建物は、大半が RC 造ですが、近年は木造住宅も年々増加しています。また、古民家を改築(移築)したりノベーションした木造家屋も行われています。しかし、台風に対する安全性や熊本地震の災害で木造建物の危険性も取り上げられるようになり、木造住宅の耐風・耐震性が見直されています。このことから、沖縄の伝統的な古民家の構法と一般的な在来軸組工法に比較検討を行い木造家屋の耐力評価を目的としました。

本課題の実験では、耐力壁のせん断強度試験を行うため、水平加力装置の設計を行います。その際、試験装置の詳細を検討するため、1/10 スケールで模型製作を行います。同時に、水平加力実験のモニタリングを行い 3D・CG (Vectorworks®) にて耐力壁が破壊される様子を、シミュレーションしています。

次に沖縄の貫木屋および、建築基準法施行令仕様規定を満たす耐力壁をそれぞれ製作します。その供試験体(6 体)の加力実験を行い実験結果のデータから表計算ソフトで作成したデータの解析と応力-変位図や構造設計に必要な壁倍率の計算結果の比較検討を行い、木造在来工法と伝統工法の耐力性能及び諸性状を検証します。

訓練（指導）のポイント

総合制作課題の取り組みで毎週の月、金曜日の早朝に進行状況を確認し、課題に必要な知識や技能を他の教員や学外の技術者の協力も得て習得させました。

- ① 木造耐力試験の基本装置の水平加力装置のフレームの設計を㈱Dと協議しながら設計と組み立てまで技術の習得。その際の施工手順の確認と安全作業に注意しながら施工をさせました。
- ② 実際に業者と打ち合わせ（工程会議）することでコミュニケーション能力を身に付けさせました。
- ③ 試験体（貫木屋）の製作は、沖縄の木造建築で著名な棟梁に指導を受け、木材の性質や先人の知恵など、奥深い話を聞くことで興味が湧くと共に、高い技術を習得させることができました。
- ④ 沖縄の古民家の貫木工法および、建築基準法施行令仕様規定を満たす耐力壁をそれぞれ製作し、その供試験体（6体）の加力実験を行い構造体の加力実験法と測定技術を習得させました。
- ⑤ 実験値の結果のデータから表計算ソフトで作成したデータの解析と応力-変位図や構造設計に必要な壁倍率の計算結果の比較検討を行い、木造在来工法と伝統工法の耐力性能及び諸性状を検証させました。
- ⑥ 水平加力実験を Vectorworks®で CG 製作し、耐力壁が破壊される様子を、シミュレーションさせました。

開発物の仕様

項目	内容
水平加力装置	加力フレーム：H型鋼材（分解可能）組み立て 縦 3.5m × 横 5.2m 油圧ジャッキ：MD2-200 データロガー：TDS-530（東京測器研究所） ロードセル：CLP-100kN 変位計：SDP-300D、CDP-25 他 計測ソフト：TDS-7130 足場：枠組み足場 2 組（一段）
耐力壁評価（壁倍率計算）ソフト	表計算 EXCEL®（関数・グラフ組み込み）
木造仕様規定計算ソフト	表計算 EXCEL®（関数・グラフ組み込み）

使 用 機 器

開発において使用した機器等（機器名・メーカー・型番）

油圧ジャッキ（MD2-200）、データロガー（TDS-530 東京測器研究所）、ロードセル（CLP-100kN 東京測器研究所）、変位計（SDP-300D、CDP-50 東京測器研究所 他）

参 考 文 献

木質構造設計基準同解説（2013年）	著者：日本建築学会
木造軸組工法の許容応力度設計	著者：日本住宅・木材技術センター
沖縄における木工系技術およびその伝承に関する研究	著者：福島俊介 他 建築学会論文
沖縄建築百科事典	著者：沖縄タイムス社

木造耐力壁の水平加力実験

沖縄職業能力開発大学校 住居環境科

1. はじめに

現在、沖縄の住宅の大部分はRC造である。しかし近年、木造住宅の割合が増加している。それに伴い、木造住宅の台風や地震に対する耐力や耐震性が検討されるようになってきた。そこで、本研究では在来工法と沖縄の伝統工法の木造住宅で用いられている耐力壁の耐力に関する実験的研究を行った。特に、貫木屋（ヌチジャー）と呼ばれる沖縄の伝統的な工法は、写真1に示すような「貫＝ヌチ」と呼ばれる水平材を柱に通し、独自の継手・仕口技術により組み合わせていく特殊な工法である。



写真1 沖縄の古民家の軸組み

沖縄では、13世紀の仏教文化伝来に伴って、貫を用いた建築が始まったと考えられる。この工法は寺院建築から殿内(ドゥンチ)へと発展していき、中世以降には士族階級が貫を用いた住宅を建てるようになった。19世紀に入ると庶民の住宅にも浸透し、貫木屋は伝統的民家の代表として広く認知された。

2. 水平加力試験装置の設計・製作

水平加力試験を試験装置の設計から行った。今回使用する試験装置は高さ3.5m、幅5.2mの鉄骨造で、簡易的な構造計算を行い、各部材の安全性を確認した。その後、スチレンボードを使用し写真2に示すような1/10スケールで試験装置の模型を製作した。模型を製作する過程では各部材の取り合わせや組み立ての手順などについても詳細な検討を行うことができた。床上操作式天井クレーンやチェーンブロックを使用しながら組み立てを行い、水平加力試験装置を完成させることができた。実際の水平加力試験装置を写真3に示す。

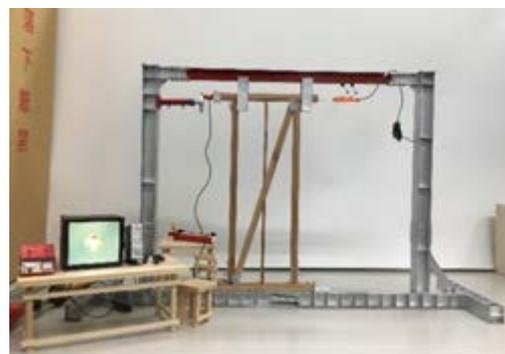


写真2 水平加力試験装置の模型



写真3 水平加力試験装置

3. 耐力壁の製作

今回の実験では、現在の木造住宅で一般的に用いられている、筋交いを用いた耐力壁と、沖縄の古民家で用いられていた伝統工法に使用されている、貫を用いた壁の二種類を製作し、実験を行うこととした。筋交いを用いた耐力壁は、建築基準法施行令第40条～49条に規定されている仕様に沿って製作し、壁倍率1.0を満たすものとした。施工手順を図1に示す。



図1 筋交い・貫壁の施工手順

4. 水平加力試験

4.1 測定項目

水平加力試験について、以下の5つの項目について測定を行い、記録に残すこととする。

- 1)荷重、各測定点の変位量、最大荷重、最大荷重時変位
- 2)荷重—変形曲線または包絡線
- 3)試験中に試験体に生じた破壊の状況
- 4)木材の種類、規格、含水率、密度等
- 5)くぎ等の接合具の規格、寸法等

4.2 試験装置

変位計の取り付け位置を図2のとおりとし、その他使用した機器を以下に示す。

- ・データロガーTDS-530
- ・静的計測ソフトウェア TDS-7130

- ・ロードセル CLP-100KNB
- ・油圧ジャッキ
- ・手動油圧ポンプ P-4D
- ・高感度変位計
 - ①CDP-100…柱頂部の上下方向
 - ②CDP-50…柱脚部の上下方向
 - ③CDP-25…柱脚部の水平方向
 - ④一般用変位 SDP-D…柱頂部の水平方向

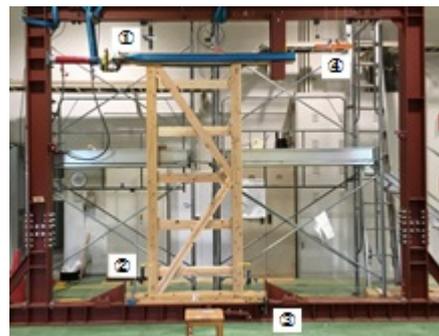


図2 変位計取り付け位置

4.3 実験方法

製作した耐力壁の性能を検証するため、柱脚固定式面内せん断試験法に基づいて、耐力試験を行う。梁端部にロードセル、所定の位置に油圧ジャッキを取り付け、手動油圧ポンプと連結し、荷重を加える。ロードセルはデータロガーと接続し荷重を計測する。

通常は、正負繰り返し加力として試験を行うが、今回は押し方向の加力で試験を行うこととした。加力は見かけのせん断変形角が1/450rad (6.07 mm)、1/300rad (9.10 mm)、1/200rad (13.65 mm)、1/150rad (18.20 mm)、1/100rad (27.30 mm)、1/75rad (36.40 mm)、1/50rad (54.60 mm)、の段階に分けて行うものとし、同一段階で3回の繰り返し加力を行った。また、最大荷重に達したのち、最大荷重の80%の荷重に低下するまで加力するか、試験体の変形角が1/15rad (182 mm)以上に達するまで加力した。さらに、加力中にひび割れやずれが生じ

た場合は、変形個所にマークを打ち、変形長さや時点でのせん断変計角等を簡易的に記録し写真に収めた。記録の一部を写真4に示す。



写真4 変形の簡易記録

4.4 実験結果

データを整理するためのツールとして、エクセル®に測定値を入力することで各数値を算出できるシートを作成した。

最大耐力は圧縮筋交い耐力壁が最も高く3.43kN(335kgf)であり、最も低かったのは貫壁で、2.331kN(237.9kgf)であった。初期剛性は圧縮筋交い耐力壁が最も高く261N/mm(26.6kgf/mm)であり、最も低いのは貫壁で33.3N/mm(3.4kgf/mm)であった。

各供試体の完全弾塑性モデルを図3、図4に示す。

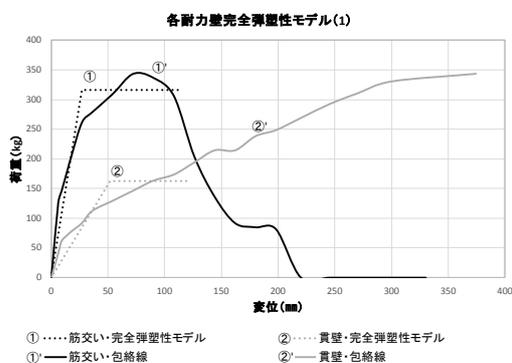


図3 引張筋交い・貫壁

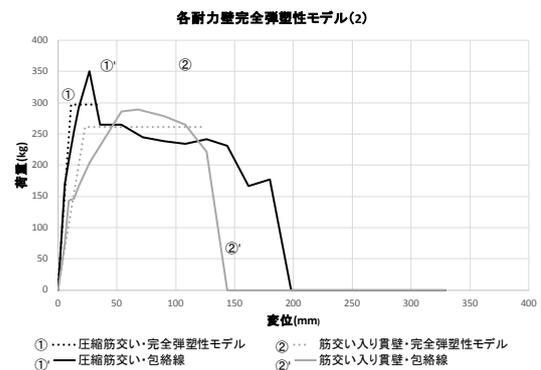


図4 圧縮筋交い・筋交い入り貫壁

4.5 考察

耐力壁別にまとめた考察を以下に示す。

1)引張・圧縮筋交い

図3及び図4に示すように、筋交い耐力壁は引張、圧縮共に初期剛性が高く変形角が小さいことが読み取れる。このことから耐力が大きく変形しづらい建物となることが予想される。一方、最大耐力後急激に耐力低下していることより、一定の荷重を超えると、変形量が急激に大きくなるのがわかる。

2)貫壁

図3に示す貫壁からは初期剛性が低く、変形角が大きいことが読み取れる。さらに、耐力が低い、変形が進むにつれて耐力が向上していることより、粘り強い性質を持っていることが予想される。

3)筋交い入り貫壁

図4から、筋交い入り貫壁は、初期剛性が高く、最大耐力記録後は緩やかに耐力低下し、柱脚部が破壊されたのち、急激な耐力低下が起こった。写真5、写真6からわかるように、せん断変形はなく、引張側の柱脚部のほぞに差し込んだ込栓の破壊である。このことから、力が柱脚部一点にかかる構造だと考えられる。込栓の材料の選定によって耐力向上が期

待できる。



写真5 試験終了時の様子



写真6 込栓の破壊の様子

5. 塩屋古民家の壁量計算による評価

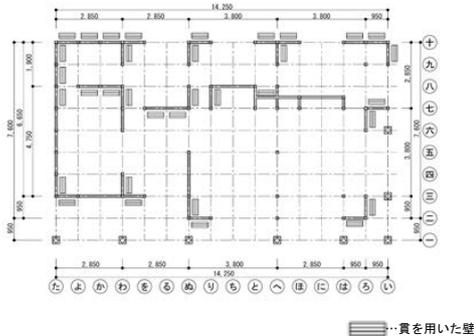


図5 柱・壁・配置図

評価の対象となる塩屋古民家の配置図を図5に示す。なお、壁倍率は1.0と仮定する。

※床面積 98.38 m²・地震力用係数 15 cm/m²

地震用必要壁量=1476 cm

5.1. 地震力に対する必要壁量の算定

存在壁量 = (壁倍率 × 壁長さ) の合計

X 方向: 1805 cm Y 方向: 1425 cm ≥ 1476 cm

判定: NG

5.2. 四分割法 側端部の面積算定

●側端部床面積

X 方向	北 1/4	27.08 m ²	南 1/4	19.86 m ²
Y 方向	西 1/4	23.7 m ²	東 1/4	22.57 m ²

- ・必要壁量=側端部の床面積×地震力用係数
- ・存在壁量=壁倍率×スパン数×単位長さ
- ・充足率=存在壁量÷必要壁量>1.0
- ・壁率比 0.5 ≥ 0.45 判定: NG

水平加力試験の結果からは貫を用いた壁の壁倍率は0.3であったため、本研究で再現した耐力壁では現在の基準に適合しないことが分かった。古民家を復元する際に、現在の基準に適合する解決案として、壁倍率を上げることが提案する。上記と同様の手順で壁量計算を行ったところ、壁倍率 2.0 を得ることができれば、基準を十分に満足できるとわかった。そのために次の4つの方法を挙げる。

- ①筋交いの取り付け、
- ②貫の幅を厚くする、
- ③金物による補強、
- ④材料の変更。

これらを検討、工夫することで貫工法を基準法に適合させる。

6. おわりに

水平加力試験装置の設計・製作にあたっては株式会社D・S様に協力して頂きました。感謝申し上げます。また、貫壁の作成は、県内屈指の沖縄大工として著名な棟梁にご指導して頂きました。感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 沖縄タイムス社「沖縄大百科事典」
- 2) 日本建築学会「木質構造設計基準・同解説」
- 3) 写真1: <https://ameblo.jp/keyaki-sekkei>
- 4) 藤岡通夫「建築史」
- 5) 知念良之「沖縄における住宅構造材の歴史の変遷に関する考察」