

伝統的木造住宅の垂れ壁付き構面振動台実験
その3 拡張個別要素法による解析

正会員 ○中川貴文*¹ 同 和田幸子*²
同 五十田博*³ 同 岡部実*⁴
同 河合直人*⁵ 同 箕輪親宏*⁶

伝統的木造住宅 垂れ壁付き独立柱 振動台実験
応答解析 拡張個別要素法

1. はじめに

本報では伝統的木造住宅の垂れ壁付き構面の振動台実験の結果を、接合部の挙動を含め、解析的に倒壊まで追跡することを目的として実施した拡張個別要素法による数値解析について報告する。

2. 解析モデル

基本理論として用いた拡張個別要素法は非連続体解析法であるため、大変形・倒壊解析に適している¹⁾。解析対象である構面試験体は図1に示したように材端に塑性ヒンジを持った梁要素の組み合わせを基本部材とした平面骨組によりモデル化を行った。

【軸組】軸組(柱・桁・差し鴨居・足固め)は図2に示したような塑性回転バネ(塑性ヒンジ) + 弾性梁要素でモデル化を行った。骨格曲線はスギの文献²⁾における曲げ強度の平均値(甲種構造用I-1級)を元に、断面係数に従い最大曲げモーメントを設定した。曲げヤング係数は事前に実施した部材調査の平均値を設定した。断面係数・断面2次モーメントは仕口部の断面欠損を考慮した。

- ・スギの曲げ強度平均値 43.2 N/mm²
- ・最大曲げモーメント $M_p = 43.2 \times Z$

【接合部】軸組間の接合部(長ほぞ+込栓・鼻栓・車知栓)は図5に示したような回転バネ+弾塑性バネ(せん断に対しては剛)を設定した。回転バネの履歴特性は移動硬化型バイリニアで、骨格曲線は文献³⁾から長ほぞ+込栓 接合部の実験結果より設定した。弾塑性バネの履歴特性は図3に示したようなスリップ型で、骨格曲線はカシのせん断強さの平均値⁴⁾ = 16 N/mm²を元に、仕口の仕様に応じて終局耐力の平均値を最大引張耐力 P_s として設定した。圧縮はほぼ剛と設定した。

【土塗り壁】土塗り壁はトラス要素でブレース置換することでモデル化を行った。履歴特性は図4に示したようなバイリニア+スリップ型履歴則を用い、骨格曲線は厚さ70mmの土塗り壁のせん断試験の結果³⁾から荷重-変位関係を設定した。

【柱脚】「柱脚固定」試験体は足固めを併進固定として、地震動を足固めの要素に直接入力した。「柱脚固定無し」試験体の柱脚は滑り支床として、各計算ステップにおいて各柱の下端部に加わる鉛直荷重 N から摩擦力を算出し、柱脚要素に加わる水平力 P_x との比較から滑りの有無を判定した。礎石-柱脚間の静止摩擦係数 μ_1 は実験結果(柱脚3分力計)から判断し0.6とした。動摩擦係数 μ_2 は静止摩擦係数の70%に設定した。

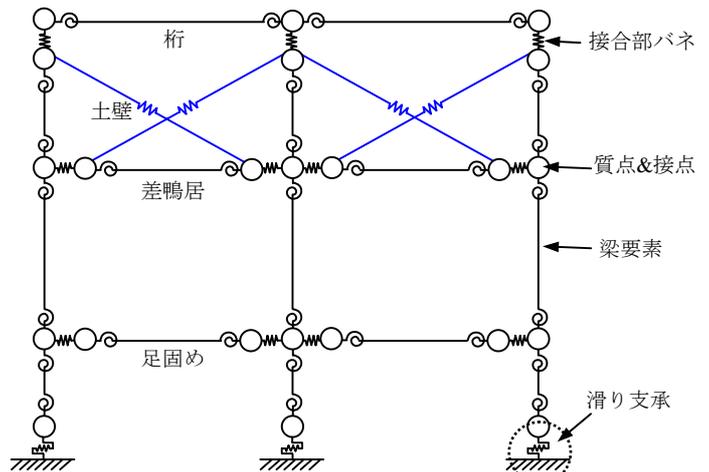


図1 解析モデルの概要

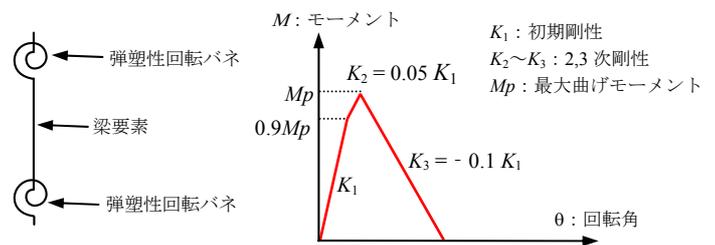


図2 軸組要素の概念図・骨格曲線

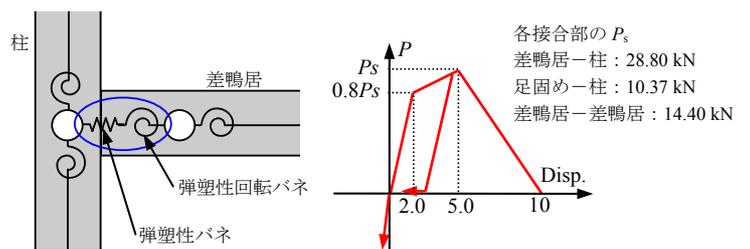


図3 接合部バネの概念図・骨格曲線

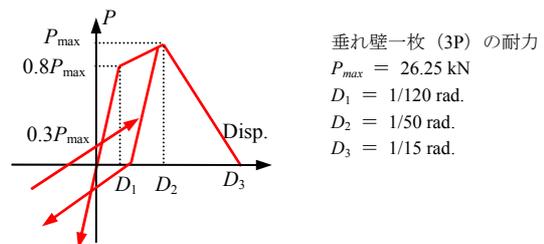


図4 土塗り壁要素の骨格曲線

- ・試験体が滑り出す条件 $\mu_1 \times N < P_x$
(地盤との相対速度の符号が反転した場合に停止)
- ・滑り中に柱脚要素にかかる摩擦力 $\mu_2 \times N$
(符号は水平力と逆方向)

【重量・固有振動数】試験体重量は試験前に計測した各部材の比重の平均値に体積を乗じて各部材の重量を算出し、各質点に配分した。載下重量は 10.54 kN (「柱脚固定」は 3t の場合も計算) を桁の両端要素に配分した。土壁の重量はとし 3.29 kN (910 N/m²より計算) とし、桁、柱の上部、差鴨居の要素に配分した。層せん断力算出用重量は 15.89 kN とした。重量載下後の解析モデルの桁行方向の 1 次固有振動数は 「柱脚固定」: 3.17 Hz、「柱脚固定無し」: 1.76 Hz であった。

【入力地震波・計算条件】解析モデルに入力した地震波は振動台実験と同様に下記の順に入力した。

JMA Kobe NS 25% → JMA Kobe NS 50%
→ BCI Lv.2 100% → (JMA Kobe NS 50% R: 柱脚固定無し)
→ JMA Kobe NS 100% R → (JMA Kobe NS 100% R2: 柱脚固定有り)

各地震波の強制外乱入力終了後の解析モデルの塑性状態を保存し、続けて次の加振波の入力を行った。数値積分は 10⁻⁵ 秒ごとの平均積分法。粘性減衰は瞬間剛性比例型 2% とした。

3. 解析結果

表 1 に各入力波における最大層せん断力・破壊状況を示した。「柱脚固定」の入力波⑤において、解析モデルは柱の折損により崩壊に至ったが、実験では柱 1 本の折損のみであった。その他の入力波の実験の破壊状況は解析モデルと良く一致した。図 5 に最大層間変位、図 6 に「柱脚固定無し」の柱脚最大滑り量、図 7 に荷重変形関係を、解析と実験を比較して示した。解析の最大層間変位は実験と概ね一致しているが、柱脚滑り量は入力波によって相違がみられた。実験に用いた試験体の載下重量の左右不均衡等の影響が考えられるが、一致させるには滑り支承モデルの精緻化が必要であることが分かった。

文献

- 1) Nakagawa, Ohta “Collapsing Process Simulations of Wooden Houses under Dynamic Loading” 9th World Conference on Timber Structures, Portland, p.89 (2006)
- 2) 強度性能研究会「製材品の強度性能に関するデータベース」データ集 (7), p.18-19, 2005 年 3 月
- 3) 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」2004 年 3 月
- 4) 森林総合研究所監修「木材工業ハンドブック」

謝辞

本実験は建築研究所「伝統的木造建築物の保全に資する構造・防火関連の技術開発」(委員長: 坂本功慶 応義塾大学教授) の一環として、防災科学技術研究所との共同開発で行いました。また部材の強度に関しては森林総合研究所 青木謙治氏にご助言いただきました。この場を借りて深くお礼申し上げます。

- *1 建築研究所 材料研究グループ 研究員・農博
- *2 信州大学大学院 修士課程
- *3 信州大学工学部 准教授・工博
- *4 ベターリビング つくば建築研究試験センター
主席試験研究員・農博
- *5 建築研究所 構造研究グループ 上席研究員・工博
- *6 防災科学技術研究所 シニアエキスパート 研究参事・工博

- *1 Research Engineer, Dept. of Building Materials and Components, Building Research Institute, Dr. Agr.
- *2 Graduate Student, Graduate School of Engineering, Shinshu Univ.
- *3 Associate Professor, Shinshu Univ., Dr. Eng.
- *4 Chief, Tsukuba Building Research and Testing Laboratory, Center for Better Living, Ms. Agr.
- *5 Chief Research Engineer, Dept. of Structural Engineering, Building Research Institute, Dr. Eng.
- *6 Senior Expert, Research Counselor, NIED, Dr. Eng.

表 1 最大層せん断力・破壊状況の比較

入力波		柱脚固定		柱脚固定無し	
		最大層せん断力(kN)	破壊状況	最大層せん断力(kN)	破壊状況
①	実験	8.26	無	8.19	無
	解析	5.46	無	8.02	無
②	実験	16.86	無	12.04	無
	解析	12.11	無	9.29	無
③	実験	20.30	無	15.20	無
	解析	12.92	無	9.41	無
④	実験	29.32	土壁・接合部	12.57	無
	解析	17.44	土壁・接合部	9.28	無
⑤	実験	22.97	土壁・接合部・柱	16.31	無
	解析	-	柱折損による崩壊	9.48	無

入力波: ①JMA Kobe NS 25% → ②JMA Kobe NS 50% → ③BCI Lv.2 100%
柱脚固定 → ④JMA Kobe NS 100% R → ⑤JMA Kobe NS 100% R2
柱脚固定無し → ④JMA Kobe NS 50% R → ⑤JMA Kobe NS 100% R

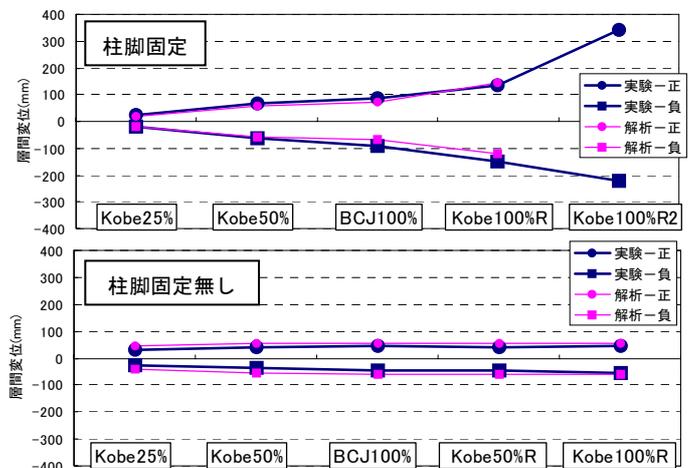


図 5 最大層間変位の比較

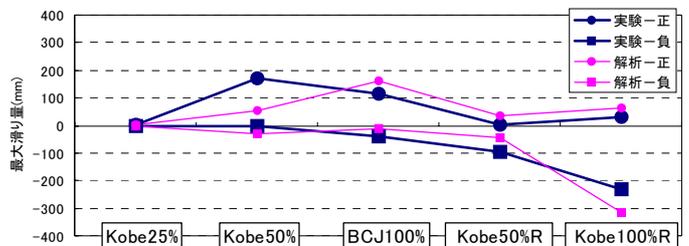


図 6 「柱脚固定無し」の最大柱脚滑り量の比較

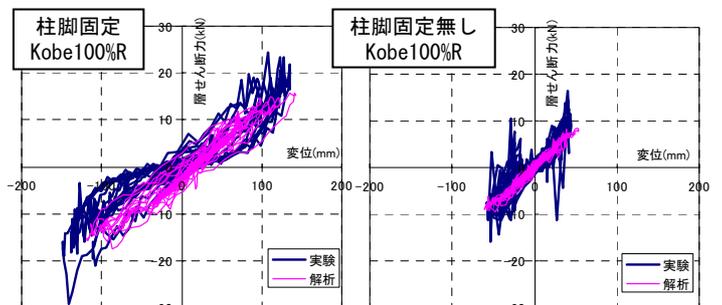


図 7 荷重変形関係の比較