

## 論文の内容の要旨

論文題目 強非線形解析による木造住宅の耐震性能評価法

氏 名 中川 貴文

本研究では、新築・既存の木造住宅を対象として、三次元解析モデルを作成し、木造住宅が完全に倒壊・崩壊するまでの挙動（強非線形挙動）を再現できる耐震性能評価を行うことが出来るシミュレーション手法の確立を目的として下記の①～③の研究目標達成のために、個別要素法を基本理論とした強非線形解析手法を開発し、振動台実験との比較により精度の検証を行った。また地震被害の再現解析への適用例を示した。

### 【本研究の目標】

- ①これまでの研究では困難とされていた木造住宅の倒壊に至る挙動を追跡できる解析手法の開発
- ②開発した解析手法を用いた実大木造住宅の振動台実験と、過去の地震被害の再現解析を行い、現象を再現するための入力パラメータ等の整理
- ③木造住宅の生産システムに本解析手法を組み込むことによる実務で用いることのできる耐震性能評価手法の提案

### （強非線形解析法の開発・木造住宅のモデル化法の整理）

まず初めに、木造住宅の地震時の強非線形挙動を追跡できる構造性能評価のために、非連続体解析手法である個別要素法を基本理論として用いた構造解析法の開発を行った。また、木造住宅を構造解析モデルの視点から分析し、本解析手法におけるモデル化の概要についてまとめた。さらに個別の耐震要素について、木造住宅の耐震性能評価において再現する物理現象と耐震要素のモデル化手法の関係について整理を行った。表 1 に木造住宅の耐震性能評価の際に重要となる主な地震時挙動とモデル化手法について示した。立体骨組では、8通りの地震時挙動をモデル化することが可能であるが、串団子モデルでは、再現できる挙動が限られる。表 2 に各構法において壁量計算の前提条件と起こりうる地震時挙動について示した。地震時挙動は表 1 と共通するものであるが、既存木造住宅や伝統木造住宅では建物全体の変形に影響が大きい地震時挙動をモデル化するためには立体骨組による解析が必要となる場合が多いことがわかった。

以上の検討の結果、木造住宅全体の軸組、接合部、壁・床等を短時間でモデル化する手法を提案し、地震時の強非線形挙動を追跡できる構造解析手法が実現された。よって目標の①が達成されたといえる。

表1 木造住宅の地震時挙動とモデル化手法

地震時挙動	等価線形化 法	串団子	疑似立体	立体骨組	必要となるパラメータ	本論における 検証
層崩壊	○	○	○	○	層の荷重変形関係	4.1
ねじれ(壁の個別 変形)	—	—	○	○	壁の荷重変形関係 床の荷重変形関係	4.1
水平構面の変形・ 破壊	—	—	○	○	壁の荷重変形関係 床の荷重変形関係	4.1
柱脚の滑り挙動	—	—	○	○	柱脚の荷重変形関係	4.3
接合部先行破壊	—	—	—	○	接合部の引張方向の荷重 変形関係	4.1
部材の劣化	—	—	—	○	軸材・接合部が劣化した際 の荷重変形関係の低減率	参考文献
柱のモーメント抵 抗・破壊	—	—	—	○	軸材のモーメント抵抗	4.1 4.2
外壁の連層効果	—	—	—	○	外装材の連層挙動	4.2

表2 木造住宅の構法と地震時挙動

構法	壁量計算の前提条件	起こりうる地震時挙動 (影響大)	起こりうる地震時挙動 (その他)	本論にお ける検証
伝統構法	建築基準法以前	層崩壊 ねじれ 接合部先行破壊 水平構面の変形・破壊 柱脚の滑り・浮き上がり 通し柱・軸組のモーメント抵抗	外壁の連層効果	4.3 5.1 5.2
在来軸組構法 (既存木造)	△耐力壁のみで抵抗 △接合部が先行破壊しない △床が剛床 △立面・平面が整形	層崩壊 ねじれ 接合部先行破壊 水平構面の変形・破壊	柱のモーメント抵抗・破壊 外壁の連層効果	4.1 5.1
現代木造	耐力壁のみで抵抗 接合部が先行破壊しない △床が剛床 △立面・平面が整形	層崩壊 水平構面の変形・破壊	柱のモーメント抵抗・破壊 外壁の連層効果	4.2 5.3

(実大振動台実験における検証)

次に本論文のモデル化手法を、実大の木造住宅の振動台実験 3 例と比較することで検証を行った。

3 階建ての木造軸組構法の木造住宅の振動台実験における検証では、壁・接合部・軸組の 3 つの基本的な耐震要素について提案した強非線形解析手法と、立体骨組によるモデル化手法の妥当性の検証を行った。加えて壁の両端の柱脚・柱頭接合部におけるモーメント抵抗と、接合部の設計が不十分な場合に、接合部が先行破壊する現象についても検討も行った。その結果、壁の両端の柱脚・柱頭接合部におけるモーメント抵抗を精密にモデル化することで、振動台実験の層崩壊、接合部の先行破壊について、地震時挙動を再現可能であることがわかった (図 1)。

2階建ての補強・無補強の既存木造住宅の振動台実験における検証では、これまでに提案した耐震要素に加え、外壁のラスモルタルが塗り面積に応じて建物全体の変形を拘束する効果についてモデル化手法の検討を行った。その結果、変形拘束効果を考慮した場合は、個別にモルタル壁をブレース置換によりモデル化した場合に比べ、プッシュオーバー解析において20~60%程度、時刻歴応答解析において15%~55%程度1層の最大層せん断力が大きくなり、モルタル壁のモデル化手法の違いにより、応答変形が大きく異なる結果となり、モルタル壁の変形拘束効果が建物全体の挙動に与える影響は大きいことが分かった。

2階建ての伝統的構法による振動台実験における検証(写真1)では、柱脚が石場建て仕様となっている場合に、柱脚に滑り、浮き上がりが生じる挙動のモデル化手法について検討を行った。その結果、土塗り壁の耐力が「80%」、動摩擦係数が「0.4」の解析モデルでは、2Fの層間変形は実験に比べ小さかったが、滑り挙動と1F、2Fの層間変形は、どの加振においても、ほぼ適合する結果であった。伝統構法住宅をモデル化する場合には、柱脚の滑り挙動に関する情報を正確に把握する必要があることがわかった。

以上の検討結果から、目標の②が達成されたといえる。

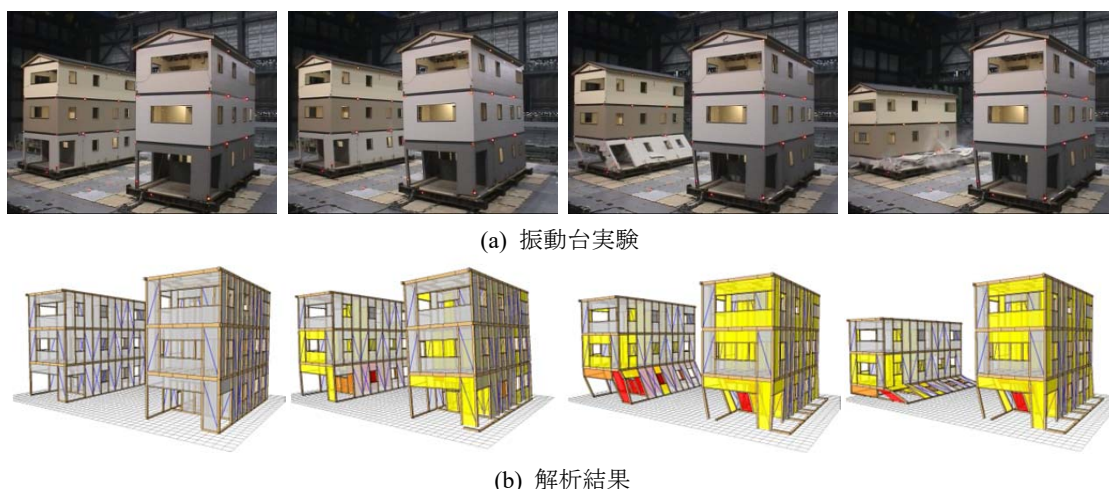


図1 振動台実験と解析の倒壊過程



写真1 検討対象の試験体の外観

写真2 振動台実験試験体の概要

### (地震被害の再現解析)

次に木造住宅の耐震性能と、地震被害状況の関連を精緻に分析する手法の提案を目的として、過去に発生した大地震時に被害を受けた木造住宅を対象として、近隣で観測された地震波と地盤条件から推定した入力波と、詳細な数値解析モデルを用いた時刻歴応答解析を行い、地震被害の再現を試みた。対象とした木造住宅は、旧耐震～新耐震基準の軸組構法による木造住宅、伝統構法による社寺建築物、現行の建築基準法（2000年基準）による木造住宅である。

それぞれ、対象の木造住宅の近隣で観測された地震波と、提案した解析モデルによって地震被害を再現できることが分かった。今後、サイト波を用いた個別建物の時刻歴応答解析による耐震性能評価法に適用できる可能性が示された。



(a) A 邸の外観



(b) B 邸の外観

写真3 検討対象の建物の既存木造住宅

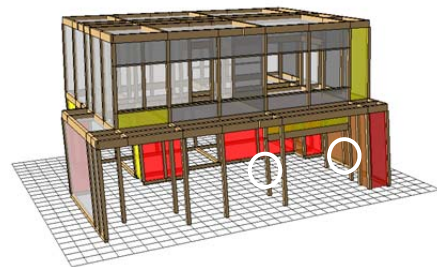


図2 B 邸の変形状況



(a) 竣工時



(b) 被災直後

写真4 検討対象の社寺建築物

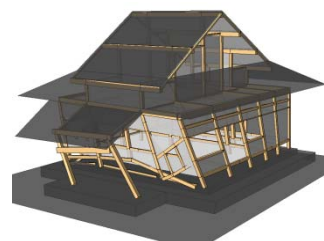


図3 倒壊直前の変形状態

### (耐震性能評価法の提案)

さらに、提案した強非線形解析手法の木造住宅の設計の実務レベルにおける普及を目的として、現代の木造住宅の生産の際に作成される CAD データを用いて、耐震性能評価のためのモデル化の入力を自動化の検討を行った。その結果、木造住宅全体の軸組、接合部、壁・床等を短時間でモデル化することが可能となった。今後、新築住宅等で本解析手法を活用する場合の解析モデルの省力化が期待される。また、本解析手法を耐震性能評価に用いる場合の活用方法、留意事項、適用範囲等について整理を行った。以上の検討結果から、目標③が達成されたといえる。今後、実用化に向けて本手法の普及が望まれる。