

## 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 2012 年 6 月 13 日現在

機関番号：82113

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21780171

研究課題名（和文）伝統構法の構造特性を考慮した地震時の木造住宅の倒壊解析手法の開発

研究課題名（英文）Development of Collapsing Analysis Method for Japanese Traditional Wood Houses during Earthquake

研究代表者

中川 貴文（NAKAGAWA TAKAFUMI）

独立行政法人建築研究所 材料研究グループ 研究員

研究者番号：60414968

研究成果の概要（和文）：

伝統的木造住宅の耐震性能はこれまでに多くの研究によって検討されているが、応力の伝達機構や、大変形域での破壊過程の複雑さがあり、未だ明らかになっていないことが多い。本研究では、研究代表者が開発した倒壊解析プログラムに、伝統的構法特有の耐力発現機構、破壊過程のモデル化を新たに加えることで、伝統的木造住宅の大変形挙動を含めた耐震性評価手法の開発を行うものである。3 カ年を通して、伝統的構法特有の柱脚の滑り挙動、水平構面が柔床として変形する構造体、接合部のモーメント抵抗機構については本解析手法で倒壊まで追跡可能であることが分かった。

研究成果の概要（英文）：

In this report, we developed a numerical analysis method to be able to trace collapsing process of wooden houses made by Japanese traditional construction method during earthquake. We used numerical analysis program developed by ourselves. As a result, it was found that our new analysis method can carry out the collapsing process simulation include the sliding behavior of columns bottom ends and the large deformation of floor diaphragms of Japanese traditional wooden houses by using the element test results of the walls and the joints.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	900,000	270,000	1,170,000
2010 年度	900,000	270,000	1,170,000
2011 年度	700,000	210,000	910,000
総計	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野：木質構造

科研費の分科・細目：森林学→木質科学

キーワード：強度・木質構造、伝統的木造住宅

## 1. 研究開始当初の背景

伝統的木造建築は、伝統構法技術の継承、木材利用促進等の観点から、後世に残して行くことはわが国において重要な使命である。また木造住宅を新築・改修する際に、伝統構法の技術を用いることは木材に対する愛着感から需要が多い。その需要に応えるために、行政的にも伝統的構法の構造性能を評価す

るための技術的検討が行われている。伝統的木造住宅の耐震性能はこれまでに多くの研究によって検討されているが、多数の組物による応力の伝達機構や、大変形域で破壊過程の複雑さがあり、未だ明らかになっていないことが多い。また、地震を耐え抜いて現存する社寺等の歴史的木造建築物を例に、大地震を受け流す「柔構造」であることから

耐震性能が高いとの見解も多いが、近年の地震による被害例が多いのも確かで、その構造性能の工学的評価は十分に検討されていないのが現状である。

伝統的木造住宅の構造性能を適切に評価する為には、地震によって建物が大きく変形した際の、柱の折損、土塗り壁の損傷、等の破壊現象をモデル化することが重要である。しかし既存の構造解析手法では、そのような大変形域での挙動をモデル化できるものは国内外を問わず少ない。特に脚元が地盤に固定されていない場合（玉石に柱を立てただけのものなど）は、柱の木口面と石の「滑り」挙動を検討する必要があり、その詳細なモデル化はより困難となる。

応募者は、科研費課題「地震時の木造住宅の倒壊過程シミュレーション手法の開発（H17～20）」、建築研究所課題「部材・接合部の強度分布を考慮した木造軸組躯体の倒壊シミュレーション法の開発」において、在来軸組構法木造住宅を対象とした大変形・倒壊解析手法を独自に開発し（後述）、木造住宅の振動台による倒壊実験と比較検討することで、その手法が木造住宅の倒壊解析に有効であることを確認した。

本研究課題で開発する解析手法は、土木やコンクリートの分野で主に用いられている個別要素法（以下 DEM）を基本理論としており、木造建築物の地震時応答解析に適用した例は本解析プログラムが初の試みであるため学術的にも独創性の高い研究テーマと言える。

DEM は非連続体動的解析手法であり、全体の応力の釣り合いを解く必要が無いので、連続体解析法（例えば FEM など）に比べ容易に大変形解析、モデルの構築を行うことが出来る。下図に伝統的木造住宅の数値解析モデルのサンプルを示したが、部材一本の曲げ、折損、土塗り壁の非線形挙動等の詳細な破壊過程現象まで追うことを想定してモデル化を行っている。下図のような木造住宅モデルでは自由度が 20,000 を超え、他の解析手法では、この規模で強非線形を考慮した計算は非常に困難であるが、DEM であれば上記理由から容易にモデル構築が可能であり、実用の計算時間内でシミュレーションを実施することが出来る。

本研究では、数値計算の解析結果から伝統的木造住宅の損傷や耐力発現機構を解明するという試みであるため、開発された評価手法を用いて、新築された伝統的木造住宅の耐震性評価や、歴史的文化遗产の耐震改修構法の検討等に活用できることが考えられる。また本研究で開発した数値計算プログラムが汎用ツールとして利用されることとなれば、身近に最先端の技術を用いた構造計算（時刻歴応答計算）を行うことが可能となり、伝統

的技術の保全にもつながることが予想される。

## 2. 研究の目的

本研究では、応募者が開発した倒壊解析プログラムに、伝統的構法特有の耐力発現機構（柱の曲げ、架構・組物のめり込みによるラーメンフレーム効果、柱の傾斜復元力）、破壊過程（柱の折損、土塗り壁の損傷、柱脚の滑り）のモデル化を新たに加えることで、伝統的木造住宅の大変形挙動を含めた耐震性評価手法の開発を行うものである。研究の概要を図 1～2 に示した。

## 3. 研究の方法

以下の 3 つのサブテーマに従って研究をすすめる。

- ・伝統的構法特有の耐力発現機構、破壊過程を考慮した解析プログラムの開発
- ・接合部、部材の強度実験データ収集
- ・建物全体の地震時応答シミュレーションの実施、震動台実験との比較

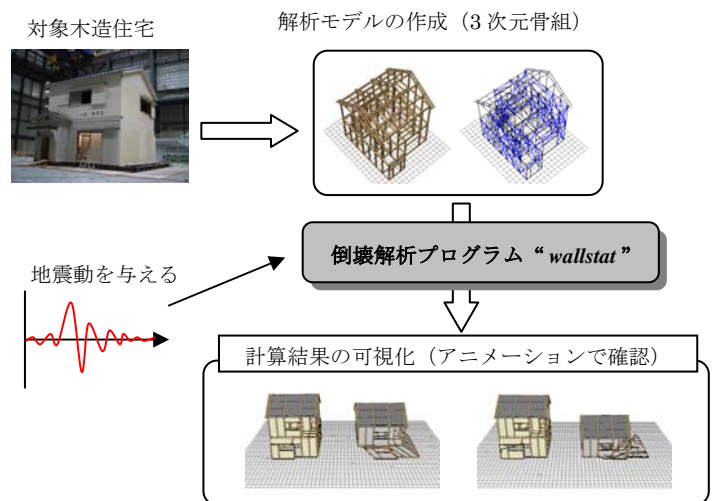


図 1 倒壊解析プログラムの概要

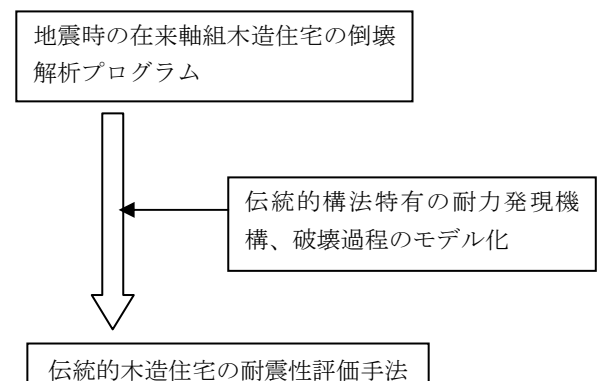


図 2 研究の概要

(1) 伝統的構法特有の耐力発現機構、破壊過程を考慮した解析プログラムの開発

既開発の倒壊解析プログラムを基にして、伝統的構法特有の耐力発現機構、破壊過程を考慮した解析プログラムの開発を行う。架構・組物のめり込みによるフレーム効果にはマルチスプリング、鋼構造の柱でモデル化で用いられている履歴則等を導入する。柱の傾斜復元力、滑り現象のモデル化には、免震建物の計算で用いられている滑り支承等の要素を導入する。

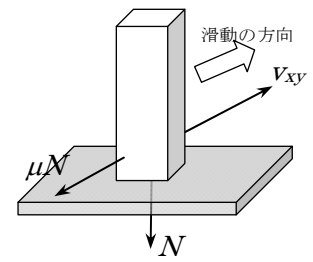


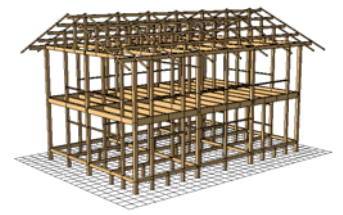
図3 石場建ての柱脚のモデル化

(2) 接合部、部材の強度実験データ収集

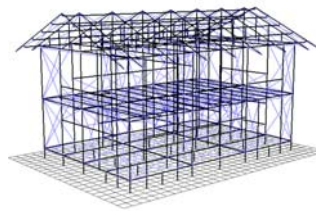
伝統的構法に用いられる代表的な軸組の接合方法や、部材の実験データを収集する。学会、論文等で公表されている試験データを解析で利用できる型に変換する。データ使用に関して、問題が生じる可能性がある場合は、当該実験を実施した研究機関と連絡を取り、データ使用の趣旨を説明した上で調整を行う。モデルを構築する上で上記文献値だけでは不十分なパラメータに関しては建築研究所の試験装置を用いて接合部等の実験を実施する。



(a) 試験体外観



(b) 解析モデル軸組



(c) 土塗り壁のモデル化



(d) 解析モデル外観

(3) 建物全体の地震時応答シミュレーションの実施、震動台実験との比較

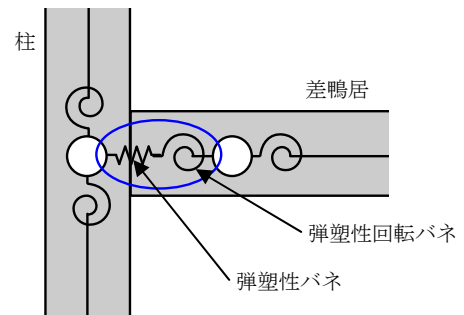
(1)でモデル化された要素を加え、(2)のパラメータを用いることにより、建物全体の時刻歴応答計算応答シミュレーションを行う。また3次元大型震動台（E-ディフェンス）で行われた実大の伝統的木造住宅の震動台実験結果（平成23年1月に実施）と、本研究で開発した応答計算プログラムの同条件解析結果との比較によって精度の検証を行う。

図4 解析モデルの概要

4. 研究成果

(1) 伝統的構法特有の耐力発現機構、破壊過程を考慮した解析プログラムの開発

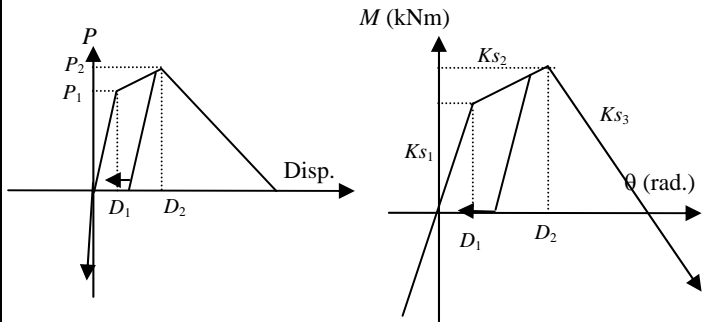
渡頭接合部をモデル化した新たなばねのモデル化、柱脚の2次元的な滑りを考慮したクーロン摩擦をモデル化した滑り支承ばね要素の導入を行い（図3）、解析プログラムの改良を行った。解析結果を動画によって確認できるようにインターフェースの改良を行った。



(a) 接合部の概念図

(2) 接合部、部材の強度実験データ収集

伝統構法で用いられている鼻栓、込み栓接合部の実験データを入手した。鉛直荷重を作用させた土塗り壁のせん断試験の荷重変形データを入手した。



(b) 弾塑性バネの復元力特性

(c) 回転バネの復元力特性

図5 接合部のモデル化概要



(3) 建物全体の地震時応答シミュレーションの実施、震動台実験との比較

平成 23 年 1 月に実施された伝統的木造住宅の震動台実験(防災科学技術研究所 E-ディフェンスにて実施)と、本研究で開発した応答計算プログラムの同条件解析結果との比較によって精度の検証を行った。

解析モデルの概要を図 4 に示した。構造上主要な軸材は材端の剛塑性回転バネ+弾性梁要素の組み合わせで、曲げ破壊の判定をもった非線形梁要素でモデル化しているため、軸材の曲げ・折損、各部材の軸力の変動等は解析で再現される。接合部は図 5 に示した通り、弾塑性の圧縮・引張バネ+回転バネでモデル化しているため、接合部の変形に伴う、柱脚・柱頭の浮き上がり、破断、軸材同士の接合部のモーメント抵抗(ラーメンフレーム効果)は解析で再現される。軸組の架構、壁の位置等は、試験体案と同一とした。

2 階建ての土塗り壁の試験体では土塗り壁の耐力を要素実験の「60%、80%、100%、120%、150%」の 5 種類、動摩擦係数が「0.5、0.4、0.3」の 3 種類の水準で計算を行った。図 6~8 に土塗り壁の耐力が「80%」、動摩擦係数が「0.4」の耐力の解析結果を実験結果と比較して示した。2F の耐力が実験に比べ過大評価であったが、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。

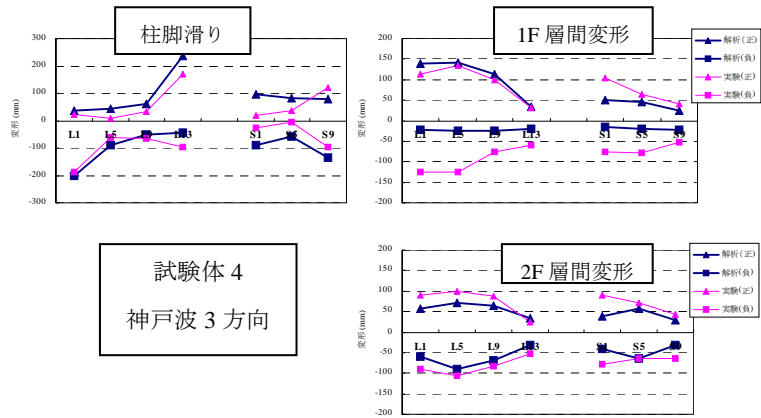


図 6 JMA 神戸入力時の最大変形の比較

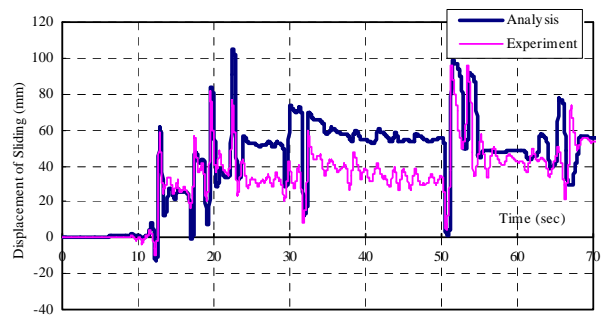


図 7 BCJ L2 入力時の変形の時刻歴比較

(4) 東日本大震災で被害を受けた社寺建築の倒壊課程の再現

東日本大震災で被害を受けた妙頭寺本堂について被害調査に基づき、倒壊過程の再現を行った。その結果、被害調査で得られた倒壊状況とどういつの倒壊過程を再現することができた。(図 9)

(5) その他

本研究課題の成果により、倒壊解析ソフトウェア「wallstat」に伝統構法特有の地震時挙動をモデル化する機能を拡張することが可能となった。

構造技術者が本解析ソフトウェアを利用することで、今後、巨大な地震動が生じたときの伝統的構法による木造住宅の倒壊安全性の確認、実験が難しい建物の振動台実験シミュレーションなど、幅広く活用されることが期待される。

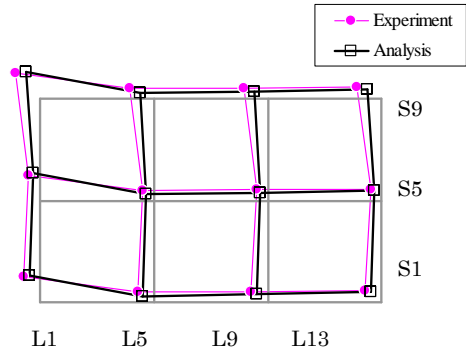


図 8 BCJ L2 入力時の変形モードの比較

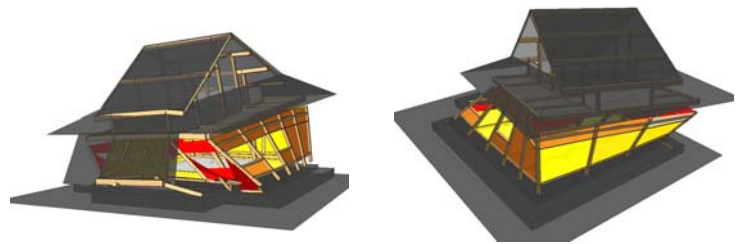


図 9 寺院本堂の倒壊過程の再現

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計0件）

〔学会発表〕（計1件）

Takafumi Nakagawa, Mikio Koshihara, Naohito Kawai, Yukio Saito, Yoshiyuki Suzuki,  
“Development of Numerical Analysis Method for Japanese Traditional Wood Houses Considering the Sliding Behavior of Column Ends”, 12th World Conference on Timber Engineering, New Zealand, 2012.7

〔図書〕（計0件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

○取得状況（計0件）

〔その他〕

ホームページ等：なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中川 貴文 (NAKAGAWA TAKAFUMI)

独立行政法人建築研究所

材料研究グループ 研究員

研究者番号：60414968