

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 23 日現在

機関番号：82115

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24780174

研究課題名(和文) 個別要素法とCFDを融合させた津波作用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 Numerical Analysis Method for Wood House Collapsed by Tsunami Wave Force Using Distinct Element Method and Computational Fluid Dynamics

研究代表者

中川 貴文 (Nakagawa, Takafumi)

国土技術政策総合研究所・住宅研究部・主任研究官

研究者番号：60414968

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、個別要素法による倒壊解析手法と、CFDによる外力のモデル化手法を融合させた新たな数値解析手法の開発を行った。既開発の倒壊解析プログラムを基にして、津波荷重を想定した外力を考慮した解析プログラムの開発を行った。津波荷重には、津波避難ビルで提案されている静水圧に基づく外力をはじめ、CFDを用いた外力算定の検討を行った。また、開発した解析プログラムを用いて、建物全体の津波作用時の崩壊シミュレーションを行った。本研究で開発した解析手法によって、崩壊に至る外力の大きさを算定可能であることがわかった。今後、実際の津波の被害調査結果と整合するため、解析の精度を挙げるのが課題として挙げられる。

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 by tsunami load. We developed the new numerical analysis program that employed distinct element method and computational fluid dynamics. The numerical simulations for two story wood houses were carried out by using our developed program. As a result, it was found that our new analysis method could carry out the collapsing process simulation include the overturning of wooden houses by post-and-beam construction wooden houses and further research was needed for precise calculations.

研究分野：木質構造

キーワード：個別要素法 粒子法 津波 木造住宅

1. 研究開始当初の背景

3月11日の東日本大震災における津波による建築物の被害は甚大なものであった。これまで、建築物の津波抵抗性能については、津波避難ビル以外では、明確に研究された例が無く、設計法が明確に確立されていないのが現状である。特に今回の震災では、木造建築物の流失した棟数は最も多く、今後、沿岸部での建築物の建築制限や、避難対策を検討する上で、木造建築物の津波抵抗性能を把握することは不可欠といえる。

建築物の津波抵抗性能を把握するためには、津波避難ビルの設計法を準用して、静水圧から津波外力を算定し、保有水平耐力と比較する手法が考えられる。この方法の試算では、木造住宅の場合、1mの浸水深で流失する場合がほとんどになってしまうが、研究代表者らが行った津波被害調査では、3m程度の浸水深でも流失しない木造住宅が数多く存在しており、過大に安全側の設計になると考えざるを得ない。被害調査で見られた流失、損壊のパターンとしては、基礎だけが残り、土台ごと上部構造が流失した例や、建物の外壁、柱が部分的に崩壊し、残った柱でかろうじて鉛直荷重支持能力を保ち、流失しない例などが多く見られた。木造住宅の津波抵抗性能を適切に把握するには、1Fの保有水平耐力の検討のほかにも、柱脚部に作用するせん断力の検討や、外壁の面外破壊の検討など、各部の詳細な検討が必要といえる。また津波外力の想定においても、津波作用時に受圧面側の開口や壁面が早期に崩壊するパターンの有無によって、建物に作用する荷重は大幅に異なる結果となる。このような崩壊過程は、木造住宅の津波抵抗性能を把握するためには不可欠であるが、被害調査だけでは崩壊、流失のプロセスを知ることができず、実大実験は非常に大掛かりとなるため現状では再現が困難である。数値計算によるシミュレーションによって再現する手法は有力であるが、既存の数値解析手法では、そのような破壊、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。特に外壁が崩壊して、水が流入する過程などは、極端な非線形性を考慮する必要があり、その詳細なモデル化はより困難となる。また津波荷重をより精緻に再現するためには計算流体力学(以下、CFD)考察が必要になるが、現状において、建築物の構造解析手法で、津波外力と、変形する建物の両方を解くことのできる解析理論は皆無である。

本研究では、研究代表者が開発した個別要素法による倒壊解析手法<sup>1)</sup>と、CFDによる外力のモデル化手法を融合させた新たな数値解析手法の開発を行った。CFDとして粒子法<sup>2)</sup>を採用し、流体を詳細にモデル化することで、津波作用時の種々の外力の作用パターンの再現が可能となる。

2. 研究の目的

木造建築物の津波作用時の損傷・倒壊過程を明らかにすることを目的として、個別要素法と流体力学を融合させた新しい数値解析手法の開発を行う。建物側は、研究代表者が開発した倒壊解析プログラムを発展させて用い、外力は計算流体力学(以下、CFD)を用いて詳細なモデル化を行う。

3. 研究の方法

以下の3つのサブテーマに基づいて研究を行った。

- 津波荷重を考慮した外力を想定可能な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
- 建物全体の津波作用時のシミュレーションの実施、被害調査結果との比較

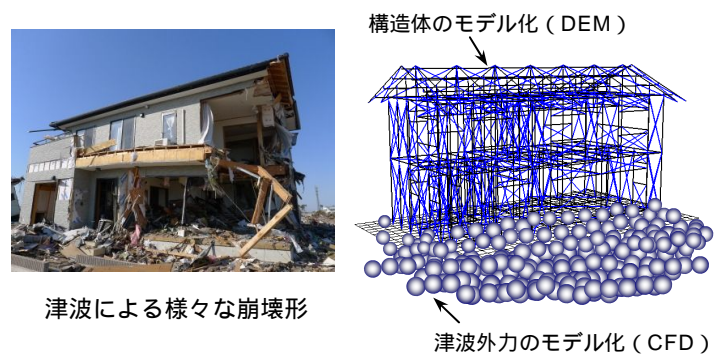


図1 津波の外力のモデル化

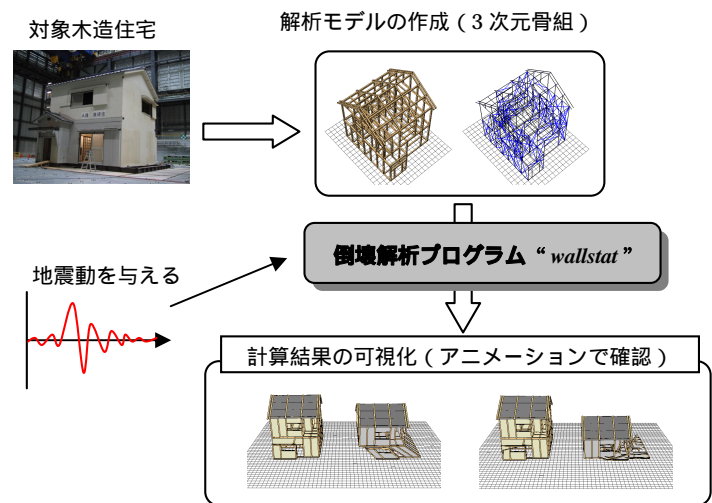


図2 木造住宅の倒壊解析プログラム

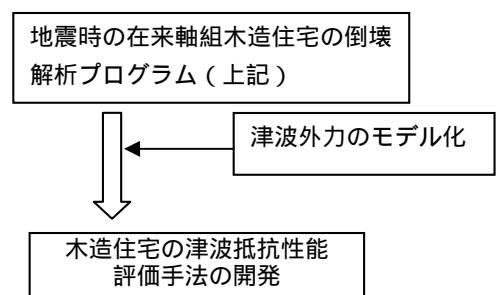


図3 研究の概要

津波荷重を考慮した外力を想定可能な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、津波荷重を想定した外力を考慮した。解析プログラムの開発を行う。津波荷重には、津波避難ビルで提案されている、静水圧に基づく外力をはじめ、CFD を用いた外力算定の検討を行う。

#### 接合部、部材の強度実験データ収集

木造住宅の金物、仕口のせん断方向の耐力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。

#### 建物全体の津波作用時のシミュレーションの実施、被害調査結果との比較

でモデル化された要素を加え、のパラメータを用いることにより、建物全体の津波作用時の崩壊シミュレーションを行う。また建築研究所で行った被害調査結果と、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。

#### 【文献】

- 1) T. Nakagawa, et. al. "Collapsing process simulations of timber structures under dynamic loading III: Numerical simulations of the real size wooden houses", J. of Wood Sci., Vol.56, No.4, p.284-292 (2010)
- 2) 越塚誠一, 「粒子法による流れの数値解析」な がれ 21 ( 2002 ) 230 239.

#### 4. 研究成果

津波荷重を考慮した外力を想定可能な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、津波荷重を想定した外力を考慮した解析プログラムの開発を行った。図4に示したような津波の波力が建物の構造部分に作用する状況を可視化できるように、ベクトルで表示する機能を追加した。

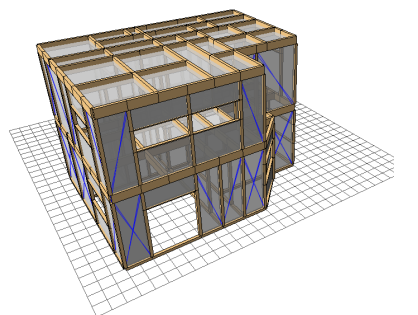
#### 接合部、部材の強度実験データ収集

木造住宅の金物、仕口のせん断方向の耐力の実験データを収集を、学会、論文等で公表されている試験データを用いて行った。また解析プログラムで利用できる型に変換を行

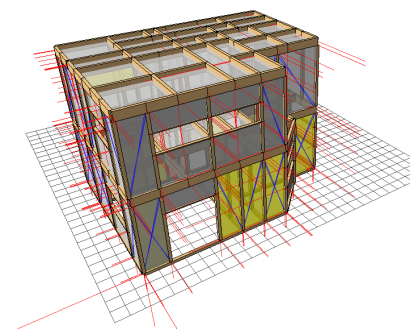
った。終局耐力は、短期許容耐力に、終局強度比を乗ずることで算定を行った。土台のアンカーボルト接合部がせん断破壊、引張破壊する場合について終局耐力の計算を行った。

#### 建物全体の津波作用時のシミュレーションの実施、被害調査結果との比較

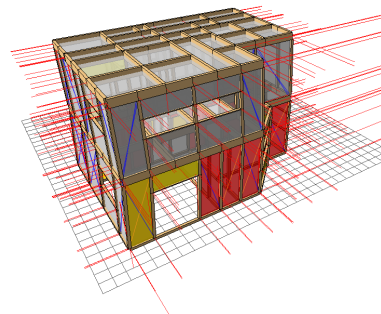
で開発した解析プログラムを用いて、建物全体の津波作用時の崩壊シミュレーションを行った。図5に解析モデルを示した。2階建ての軸組構法の木造住宅を想定している。津波による外力を算定するため、粒子法による2次元のシミュレーションを行った。開口を有する2階建て建物を境界条件として定義し、壁に作用する外力の算定を行った。図6に計算結果をステップごとに示したが、水柱が崩壊し、2階建ての建物に津波が作用し、外壁に水圧がかかり、開口から水が進入する様子が再現可能であることがわかった。



(a)初期状態



(b)波力作用時



(c)建物崩壊時

図4 津波による水圧の可視化



また、図5の解析モデルを用いて、外壁面に作用する外力を徐々に大きくすることで、転倒開始に至る外力の大きさの算定を行った。図6に建物の浮上がり量と外力の大きさの関係を示したが、本研究で開発した解析手法によって、崩壊に至る外力の大きさを算定可能であることがわかった。

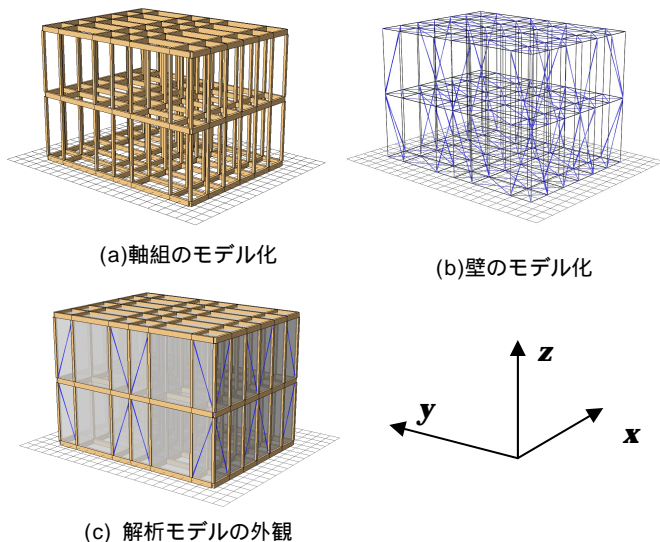


図5 解析モデルの概要

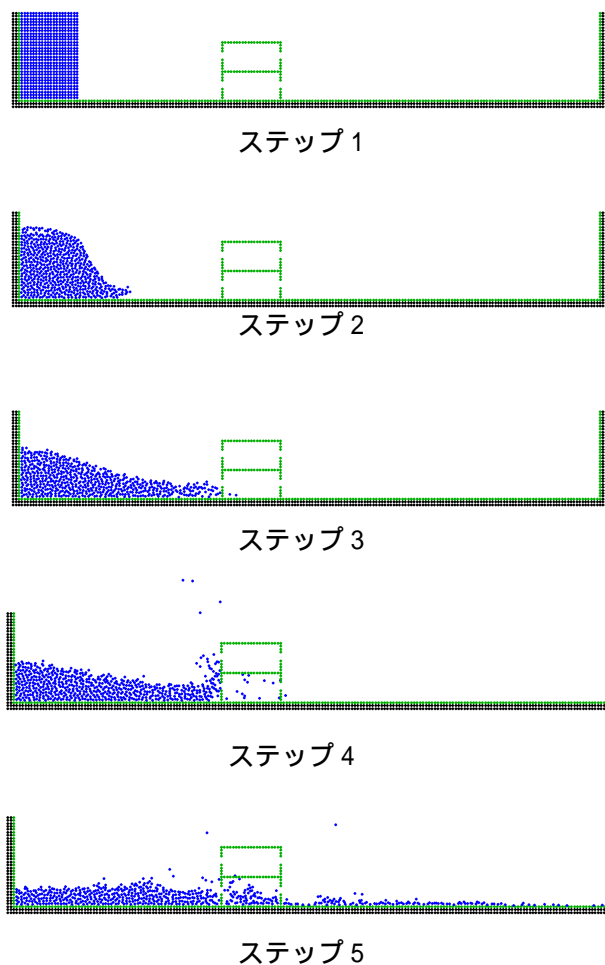


図6 粒子法による計算結果

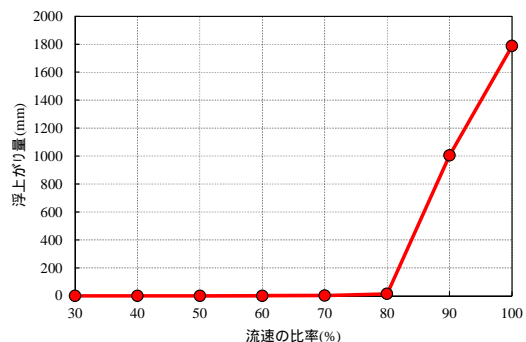


図6 転倒の際の浮上がり量と、外力の大きさの関係

今後、実際の津波の被害調査結果と整合するため、解析の精度を上げることが課題として挙げられる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔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", 13th World Conference on Timber Engineering, Quebec, 2014.8

〔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)

国土技術政策総合研究所

住宅研究部 主任研究員

研究者番号: 60414968