

ASI-Gauss 法による木造家屋倒壊解析に向けたモデル化の検討

九州大学大学院 学生会員 ○原 倅平
九州大学大学院 正会員 浅井 光輝

1. はじめに

2011 年東北地方太平洋沖地震で生じた大規模な津波により、沿岸域の木造家屋の多くは瓦礫となった。津波と瓦礫が混在して遡上することで、人的・経済的損失が拡大した。瓦礫の総量は約 2200 万トンにも及び、災害復興時にはその膨大な瓦礫の処理に時間を有し、復旧・復興に遅れが生じた。今後、南海トラフなど、同規模の地震・津波被害が生じる危険性が高いことが指摘されている。そのため津波遡上現象だけでなく、同時に発生する瓦礫発生量の総量と拡散状況の事前評価が求められる。そこで本研究では、流体構造連成解析により津波遡上後の都市全体に発生する瓦礫総量と、拡散・分布の事前評価を目標とし、その前段階として津波によって倒壊し、瓦礫となる可能性の高い木造家屋のモデル化について検討を行った。

木造建築物の研究は建築分野で盛んに行われており、木造家屋の崩壊解析が可能な wallstat¹⁾ という解析プログラムが確立している。計算理論には非連続体解析法である個別要素法が使用され、大変形、崩壊現象の解析を可能としている。この解析プログラムは木造家屋の詳細なモデル化・時刻応答解析ができる一方で、解析対象とする家屋の詳細な情報が必要であり、また解析コストがかかるため都市規模の大規模解析に向いていない。本研究で対象とする木造家屋の軒数は非常に多く、建物ごとの詳細なモデル化は不可能である。そのため一軒一軒の詳細なモデル化はせず、簡易的にモデル化し、建築年ごとに適用された建築基準法に基づいた強度を保有させた。使用した解析プログラムは骨組構造の進行性崩壊解析が可能な有限要素法の一つである ASI-Gauss 法²⁾である。本稿では木造家屋のモデル化を中心に述べ、4 章まとめにおいて都市全体のモデル化の方針について記述する。

2. 解析手法及び木造家屋モデル

2.1 解析手法の概要

ASI-Gauss 法は筑波大学磯部らによって開発された有限要素解析手法²⁾である。1 部材を 2 つの線形要素に分割することで、計算時間を最小限に抑えることができる。降伏判定された要素の端部には塑性ヒンジが形成される。破断は、破断判定された要素の断面力を解放することで表現する。それにより骨組構造の崩壊解析を可能としており、本研究の構造解析手法として採用した。増分理論には大変形問題まで扱える Updated Lagrangian Formulation を採用し、弾塑性解析を実施した。

2.2 木造家屋モデル

図-1 に示すように木造家屋をはり要素によりモデル化した。縦、横、高さはそれぞれ、11.2 m、11.2 m、2.8 m である。木造家屋の精密なモデル化はせず、層せん断力と層間変位角の関係から、構造物全体としての耐力を設定することで、1959 年建築基準法に準拠したモデルを作成した。木造家屋を柱、梁、壁、屋根の 4 つの要素に分類し、壁と屋根はブレース置換をした。屋根は剛体床と仮定し黒色に配色した。床面積当たりの重量は、屋根、外壁、内壁、それぞれにつき、2.40 kN/m²、1.20 kN/m²、0.45 kN/m²とし³⁾、屋根の重量を梁と屋根要素に、外壁、内壁の重量を柱と壁要素に分配した。図-2 に示す関係から壁を構成する要素は層間変位角が 1/120 rad、柱を構成する要素は 1/30 rad に達した時に降伏させ、要素端部に塑性ヒンジを形成させた。スギの材料特性を用い、降伏後は完全弾塑性体と仮定した。

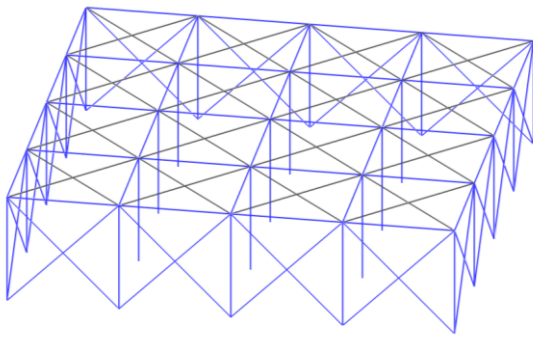


図-1 木造家屋のモデル

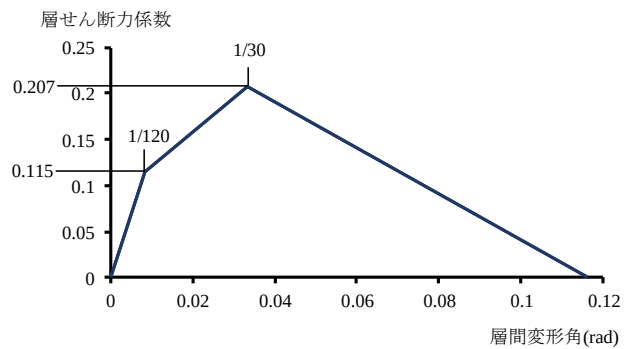


図-2 層せん断力係数と層間変位角の関係

3. 木造家屋モデルの地震応答解析

1959 年建築基準法に準拠したモデルは自重の 0.207 倍の層せん断力が作用した時に耐力がピークとなる。このモデルに神戸波 (JMA KOBE) を用いて地震応答解析を実施した。解析の結果、まず壁を構成するブレース要素が降伏し、モデル全体としての層せん断剛性が低下した。壁を構成するブレース要素が一部破断後、柱を構成する要素が降伏し、屋根の自重に柱が耐えられず徐々に変形が進んだ。柱が破断後、屋根要素が地表面と衝突し、モデルが崩壊した (図-3)。1959 年時点では、まだ屋根に土葺き瓦屋根が使用されており、屋根の重量が非常に重いため、柱要素が降伏後はモデルの崩壊が進行していった。今後は他の年代の建築基準法に準拠するモデルを作成し、崩壊過程の違いを調査していく予定である。この際、要素の破断判定基準も同時に精査していく方針である。

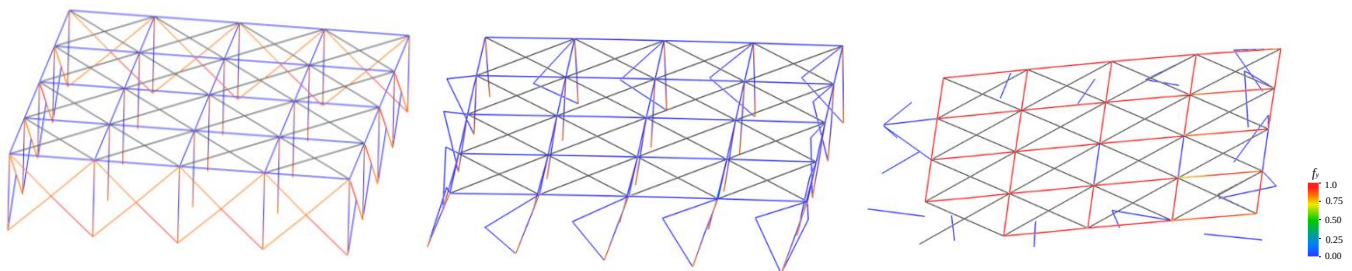


図-3 木造家屋モデルの進行性崩壊

4. まとめ

ASI-Gauss 法を用いて、木造家屋のモデル化の検討を行った。木造家屋を骨組構造でモデル化し、層せん断力と層間変位角の関係から、モデルの耐力を設定することで、建築基準法に準拠したモデルを作成した。今後は、各年代の 1 階建て、2 階建てのモデルを作成し、その後、都市全体のモデル化を行っていく予定である。都市全体のモデル化は、地理情報システム (GIS) から木造家屋の建造年、床面積、階高等を算出しモデルを作成する方針である。

5. 参考文献

- 1) 石垣創, 田守伸一郎, 五十田博, 中川貴文, 河合直人: 個別要素法を用いた木造構造物の時刻歴応答解析, 日本建築学会技術報告書, 第 20 巻, 第 44 号, pp.105-110, 2014 年 2 月。
- 2) 磯部大吾郎: *Progressive Collapse Analysis of Structures - Numerical Codes and Applications*, Elsevier, 2017.
- 3) 日本建築防災協会・国土交通大臣指定耐震改修支援センター: 2012 年改訂版 木造住宅の耐震診断と補強方法。