

## ASI-Gauss 法による都市全域の家屋倒壊予測シミュレーションの妥当性確認

九州大学	学生会員	○石井 秀堯	九州大学	正会員	浅井 光輝
理化学研究所	非会員	大谷 英之	鹿島建設	非会員	飯山 かほり
東京工業大学	正会員	盛川 仁	筑波大学	非会員	磯部 大吾郎

### 1. 目的

2011年東北地方太平洋沖地震・津波，あるいは2016年熊本地震では多くの木造家屋が倒壊し甚大な被害が発生した。倒壊した木造家屋は道路を閉塞し避難の妨げになり、また大量の瓦礫の処理に時間がかかり復旧・復興に遅れを生じさせるなど、直接的な人災を招くだけでなく、災害後の障壁となる。今後、南海・東南海地方において、同程度以上の地震・津波被害が生じる危険性が高いことが危惧されている。そのため、津波遡上域を事前に把握し災害に備えるだけでなく、同時に発生する瓦礫の総量と拡散状況までを事前評価し、災害時の救援経路や瓦礫の仮置き場の検討を行うなどの災害リスクマネジメントが重要となる。研究の最終目標は、地震だけでなく津波による木造家屋の倒壊を考慮した津波遡上解析手法を開発し、遡上解析のさらなる高精度化を図り、同時に都市全域に発生・拡散する瓦礫の総量を事前に予測することである。

本研究では、上記の目的のため、まずは木造家屋の崩壊を考慮した都市全域の地震被害予測シミュレーションを行った。解析手法には骨組み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<sup>1)</sup>を選択し、大規模解析シミュレーションを実施し、過去の被害調査結果と比較検討を行った。

### 2. 解析手法及び解析モデル

#### 2.1 解析手法の概要

ASI-Gauss法<sup>1)</sup>は著者の一人の磯部によって開発された有限要素解析手法である。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。また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し、骨組構造の進行性崩壊解析が容易に実施できることが最大の特徴である。

#### 2.2 木造家屋のモデル化

図-1に木造家屋のモデル化の例を示す。任意形状の家屋のモデル化を容易にするため、図-2に示す単位ユニットの組み合わせによりモデル化した。単位ユニットを構成する要素は柱、壁、梁、床の4つに分類した。そして、壁と床のせん断剛性はブレース要素により表現するものとし、また床は剛体床と仮定することにした。各要素の剛性および耐力は、建築年代ごとの建築基準に基づいた層せん断力と層間変形角の関係<sup>2)</sup>を示すスケルトンカーブ(図-3参照)にフィッティングさせることで決定した。物性値のフィッティングにおいては、物性値はスギの材料特性に固定し、部材の断面形状(断面剛性)および降伏応力のパラメータを決定した。また図-3に示すスケルトンカーブにおいて、層間変形角が $1/120\text{rad}$ を超えるとブレースが先行して降伏し、 $1/30\text{rad}$ に達した時点で柱が降伏するものと仮定した。降伏後の要素は完全弾塑性体とし、最終的に柱が降伏することにより家屋全体の倒壊を再現した。

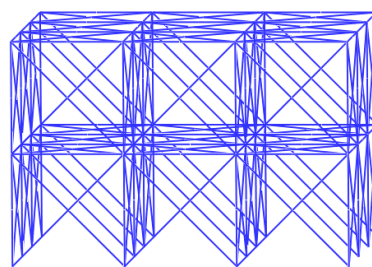


図-1 木造家屋モデル

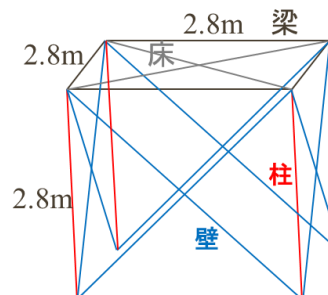
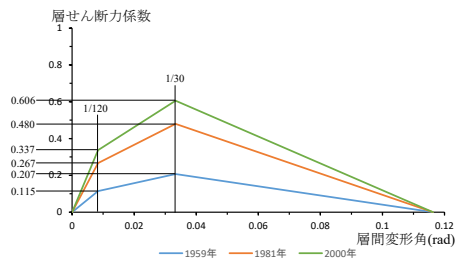


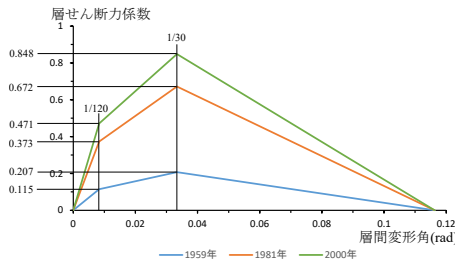
図-2 単位ユニット

キーワード ASI-Gauss 法, 木造家屋, 都市モデル, 地震応答解析, 災害予測シミュレーション

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 W2-1102 九州大学 構造解析学研究室 TEL092-802-3370



(a) 1階、及び平屋



(b) 2階

図-3 層せん断力係数と層間変形角の関係

### 2.3 都市全域のモデル化

都市全域の建物の形状および配置をモデル化するため、地理情報システム (GIS) を用いた。GIS より定義されている建物の位置情報 (SHP データと呼ばれる平面輪郭情報) と階層情報を参照し、あとは図-2 に示す単位ユニットの組み合わせすることで SHP データと整合した建物モデルを自動生成した。

### 2.4 入力地震動の設定

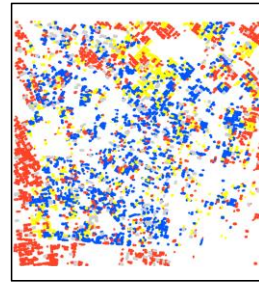
入力地震動には、2011 年東北地方太平洋沖地震において JMA 古川で観測された地表観測記録を使用した。ただし、地震動特性はシミュレーション結果に大きく影響を与えることが考えられる。そのため、本研究では既往の研究<sup>3)</sup>において精度が確立されたインバージョン方法を利用し、地点ごとの工学基盤を考慮した入力地震動の作成を行った。

### 3. シミュレーション結果

本研究で対象とする都市は、宮城県大崎市古川とした。古川モデル (図-4) の概要は次のとおりである。要素数: 2,172,546、節点数: 1,165,744、建物数: 4,405 棟。計算環境には京都大学 Camphor2 システム A を使用した。また、家屋の被害評価結果は指標選定やその判断の仕方に依存するが、本研究では部材の降伏・破断まで考慮できる ASI-Gauss 法の特徴を利用し、家屋ごとの部材損傷割合で評価することとした。図-5 に解析結果を示す。カラーコンターは被災度を意味する。

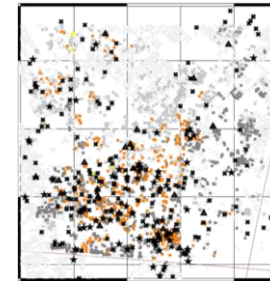
### 4. まとめ

ASI-Gauss 法による都市全域の家屋倒壊予測シミュレーションに向けた検討を行った。木造家屋をはり要

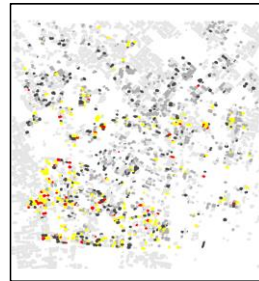


推定建築年代  
青色：1959年  
黄色：1981年  
赤色：2000年  
灰色：非木造家屋

図-4 古川モデル



被災度  
★：全壊  
▲：大規模半壊  
×：半壊

(a) 実被害<sup>4)</sup>

被災度  
赤色：全壊  
黄色：大規模半壊  
濃灰：半壊  
薄灰：一部損傷  
白色：無被害

(b) 解析結果

図-5 結果の比較

素でモデル化し、建築基準法に準拠した層せん断力と層間変形角の関係と整合するように、各構成要素の剛性・降伏応力を自動設定した。また GIS を用いて都市全域をモデル化し、地震応答解析を行った。木造家屋モデルに建築年代及び、工学基盤を考慮した地震動を付与させることで、はり要素を用いた解析においても実被害と同様な被害分布が得られることを確認した。

### 5. 参考文献

- 1) Daigoro Isobe : Progressive Collapse Analysis of Structures - Numerical Codes and Applications, 2017.
- 2) 喜々津仁密, 中川貴文, 奥田泰雄, 坂田弘安 : 日本版改良藤田スケールの開発—木造戸建て住宅のDODと推定風速の概要—, 平成 27 年度日本風工学会年次研究発表会, pp.117-118, 2015.
- 3) Hitoshi Morikawa, Kahori Iiyama : A Method to Find an Appropriate Input Motion Using a Given Motion on Ground Surface, *Journal of Earthquake and Tsunami*, 2021.
- 4) 飯山かほり, 盛川仁, 市村強, 堀宗朗, 山崎義弘, 坂田弘安, 大野晋, 柴山明寛 : 都市の地震応答シミュレーションのための木造建物モデル設定に関する一検討, 日本建築学会, 構造工学論文集 Vol.64B (2018 年 3 月).