

ASI-Gauss法による都市全域の木造家屋倒壊解析手法の開発

Development of seismic response analysis method for the whole city by ASI-Gauss code

石井 秀亮 (Hidetaka ISHII)：九州大学大学院 工学府 建設システム工学専攻
浅井 光輝 (Mitsuteru ASAI)：九州大学准教授 工学研究院社会基盤部門
磯部 大吾郎 (Daigoro ISOBE)：筑波大学教授 システム情報系構造エネルギー工学域
大谷 英之 (Hideyuki OTANI)：理化学研究所 計算科学研究センター

研究の背景・目的

2011年東北地方太平洋沖地震・津波、及び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。倒壊した木造家屋をはじめとする大量の瓦礫は、復旧・復興に遅れを生じさせる一因となった。今後、南海トラフ巨大地震など、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、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。研究の最終目的は、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。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応答解析手法から開発を進めた。

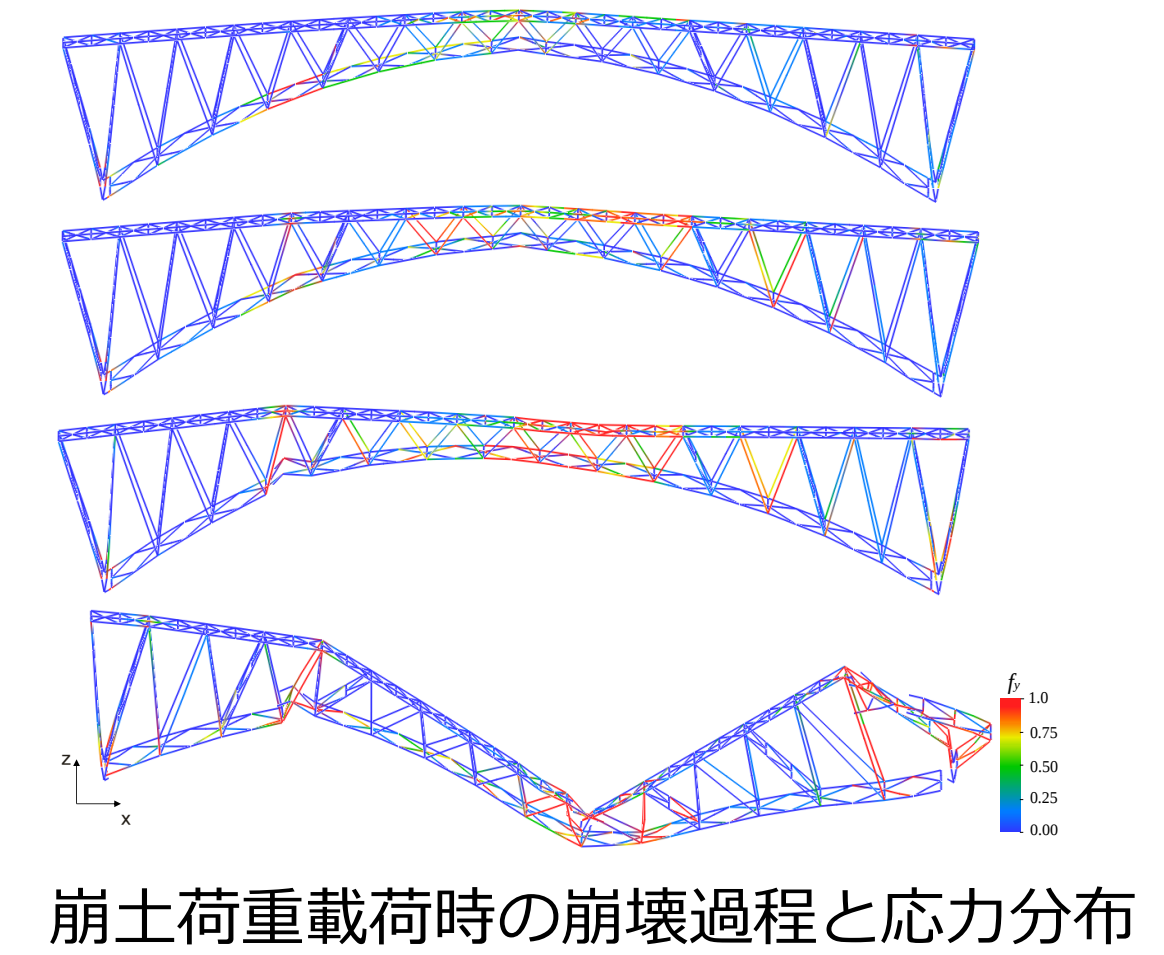
ASI-Gauss法の概要

ASI-Gauss法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。2016年熊本地震で起こった阿蘇大橋の崩落メカニズムの推定などに用いられており、本解析コードは性能検証済みである。1部材を2つの線形要素に分割し、数値積分点を順応的にシフトすることで部材の弾塑性挙動を低い計算コストで高精度に表現することが可能である。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。降伏関数には次式を採用した。本研究では M_x 、 M_y 、 N はそれぞれx、y軸回りの曲げモーメント、軸力とし、次式に示す降伏関数を用いた。ここで、右下添え字の“0”は全断面塑性値であることを示す。

$$f_y = \left(\frac{M_x}{M_{x0}}\right)^2 + \left(\frac{M_y}{M_{y0}}\right)^2 + \left(\frac{N}{N_0}\right)^2 = 1$$

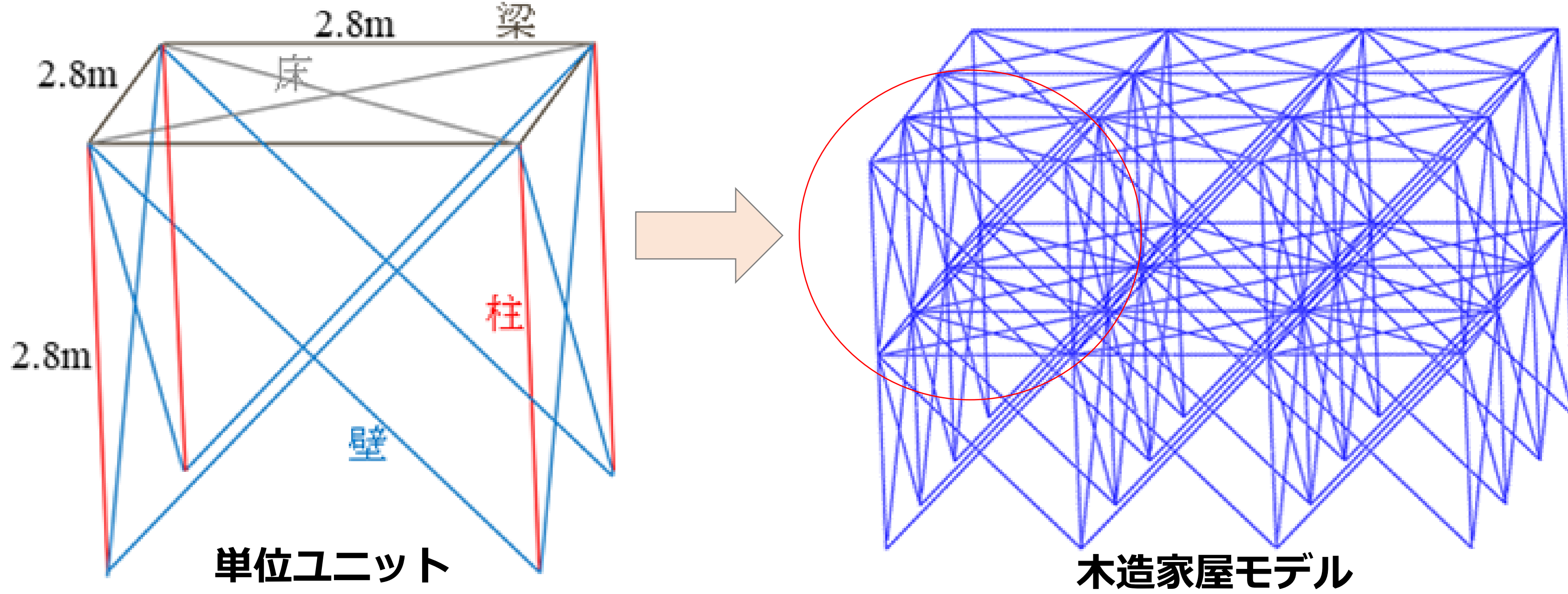
破断は破断判定された要素の断面力を解放することで表現し、骨組構造の進行性崩壊解析が容易に実施できることが最大の特徴である。増分理論には大変形問題まで扱えるよう更新ラグランジュ記述を採用した。

阿蘇大橋崩壊メカニズムの推定より



木造家屋のモデル化

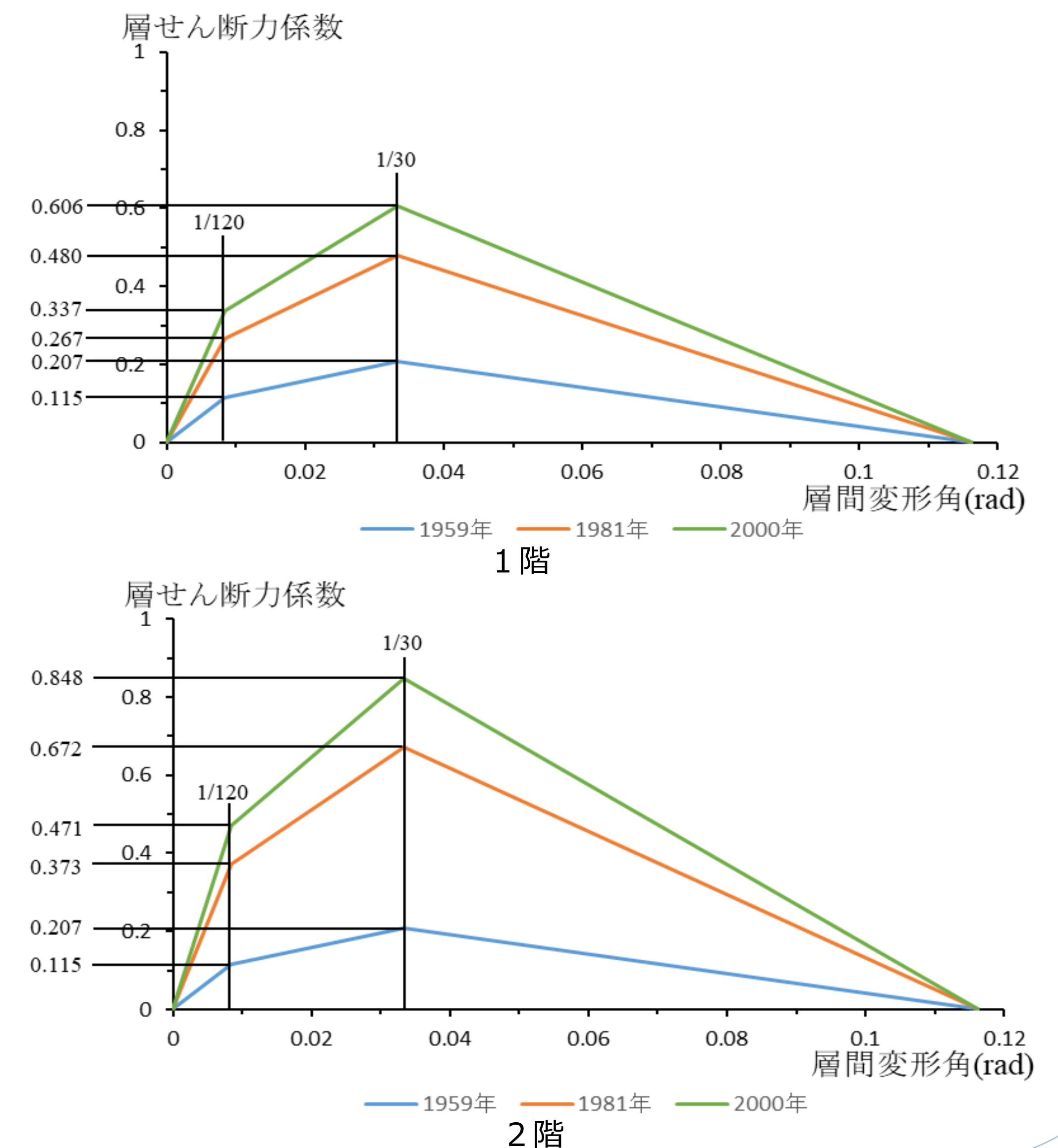
木造家屋をはり要素としてモデル化、単位ユニットを組み合わせることで任意形状の家屋のモデル化が容易になる。また各要素の剛性および耐力は、建築年代ごとの建築基準に基づいた層せん断力係数と層間変形角の関係を示すスケルトンカーブにフィッティングさせることで決定した。層間変形角が1/120radを超えると壁要素が先行して降伏し、また1/30radに達した時点で柱が降伏するものと仮定した。



はり要素によるモデル化の利点

- ①各構成要素に対応した材料特性の付与が可能となりモデルを構造物として解析を行うことが可能である。
- ②建物の向きによる地震応答の違いを表現することができる。
- ③ASI-Gauss法の特徴である崩壊現象まで評価できる。

建築年代ごとの層せん断力係数と層間変形角の関係



解析概要と結果

本研究では熊本県益城町を対象とした地震応答解析を行った。現段階では各建築年代の耐力をランダムに割り当てたモデルを用いて都市全域規模での地震応答解析を行い、その崩壊状況の違いなどから各建築年代の耐力を保有させたモデルの妥当性確認を行った。



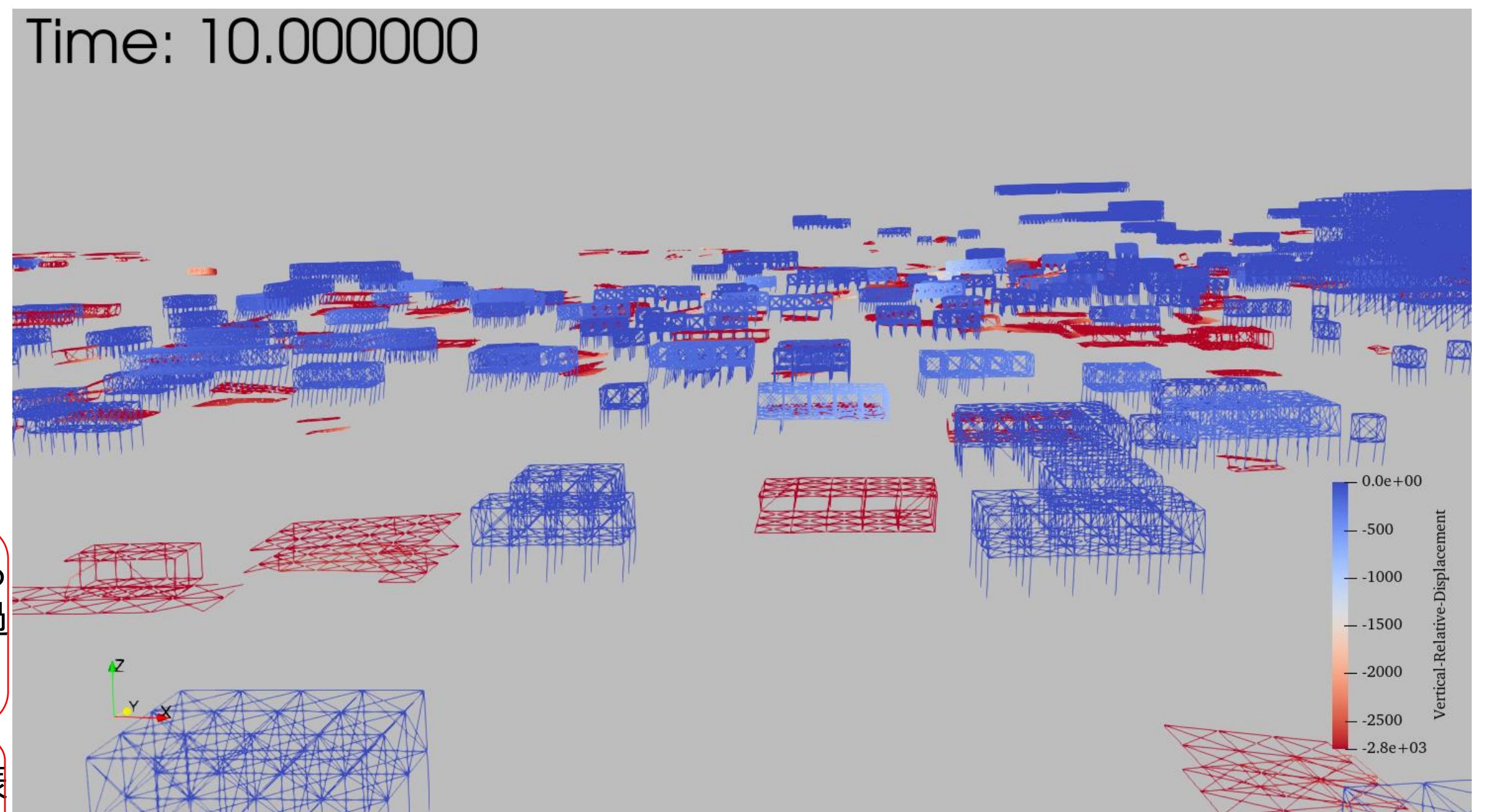
益城町モデル

益城町モデルの概要
領域:2.1km×1.8km
建物数:3444
要素数:1,993,504
節点数:1,065,266

家屋1階部分から倒壊が始まることより、実現に近い倒壊過程を再現。

建築年代ごとの家屋の倒壊を表現可能。

地震応答解析の拡大（カラーコンターは鉛直変位を示す）



はり要素によるモデル化によって建物ごとの方向性を考慮した崩壊現象を確認。

結論と今後の展望

ASI-Gauss法を用いた都市全域の構造物の地震応答解析に向けた木造家屋のモデル化に関する検討を行った。木造家屋をはり要素でモデル化し、建築基準に準拠した層せん断力と層間変形角の関係を整合するように、各構成要素の剛性・降伏応力を自動設定した。また地理情報システム(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。今後、家屋ごとの建築年代を考慮した都市全域の地震応答解析を実施し、過去の被災事例と比較することでまずは地震応答解析の妥当性検証を行う方針である。

参考文献：浅井光輝，原倅平，磯部大吾郎，田中聖三：ASI-Gauss法による骨組み崩壊解析に基づく阿蘇大橋崩壊メカニズムの推定，構造工学論文集 Vol.66A(2020年3月)