

ASI-Gauss 法による都市全域の木造家屋倒壊解析手法の開発

九州大学	学生会員	○石井 秀亮
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
理化学研究所	非会員	大谷 英之

1. はじめに

2011 年東北地方太平洋沖地震及び 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。この時、倒壊した木造家屋をはじめとする大量の瓦礫の処理に時間がかかり復旧・復興に遅れが生じた。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指摘されている。そのため、津波遡上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。本研究の最終目的は、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実施すると共に、津波遡上後の都市全域に発生する瓦礫の総量と拡散・分布状況の事前評価が可能なツールへの発展を目指すことである。

以上の目的から、まずは木造家屋のモデル化及び都市全域の地震応答解析手法から開発を進めている。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、建築年代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る。解析プログラム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¹⁾を用いた。

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¹⁾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 を採用した。

2.2 木造家屋のモデル化

図-1 に示すように、木造家屋をはり要素としてモデル化し、各構成要素に対応した材料特性を与えることで解析を行う。また各建物には建築年代ごとの建築基準に基づいた耐力を設定する方針とした。

木造家屋モデルは単位ユニット(図-2)に示すように柱、壁、梁、床の 4 つの要素に分類し、壁と床要素はブレース置換し、床は剛体床と仮定した。モデルは単位ユニットを組み合わせて任意の形状を表現することが可能である。各構成要素の重量は、「2012 年改訂版木造住宅の耐震診断と補強方法」より代表的な建築年代ごとの床面積当たりの重量を参照することで決定した。

また部材耐力は層せん断力と層間変形角の関係から決定した。層間変形角がある閾値に達したとき、部材を降伏とみなす。例えば図-3 では、壁を構成する要素の場合は層間変形角が $1/120\text{rad}$ 、柱を構成する要素の場合は $1/30\text{rad}$ に達したときに降伏させ、要素端部に塑性ヒンジを形成させる。降伏後の要素は完全弾塑性体とし、柱が降伏することによりモデルの倒壊が再現できる。物性値はスギの材料特性に固定し、部材の断面形状および降伏応力は各建築年代に合わせたスケルトンカーブ(図-3 を参照)にフィッティングすることで決定した。

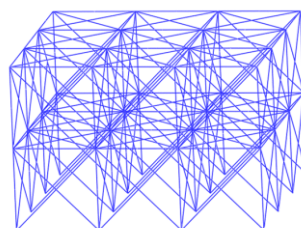


図-1 木造家屋モデル

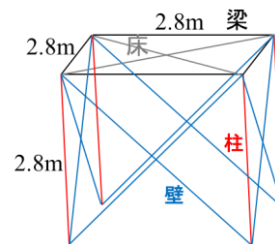


図-2 単位ユニット

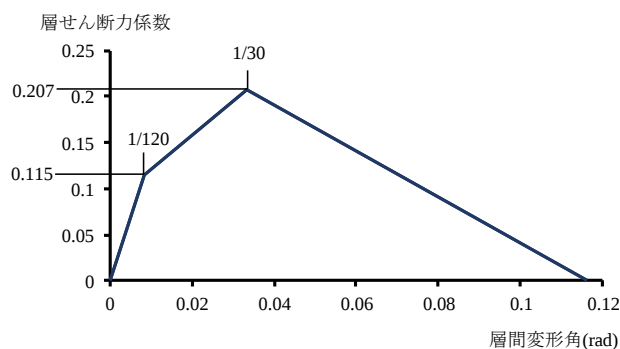


図-3 層せん断力係数と層間変形角の関係

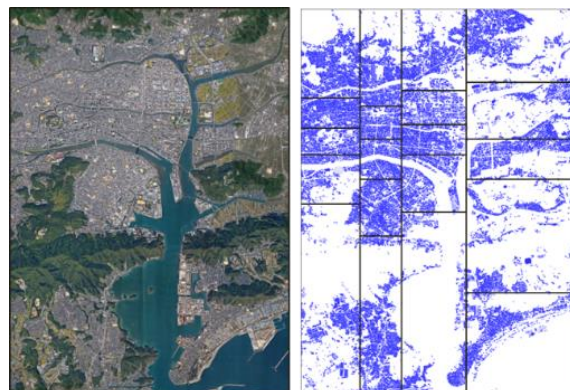


図-4 高知市の都市モデル

2.3 都市全域のモデル化

都市全域の建物モデル化には、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と階層情報から、図-2 に示すような単位ユニットの組み合わせとして任意形状の建物を自動生成した。また同データから、同時に津波遡上解析に必要な地表面モデルの作成も可能である。

本研究で対象とする都市は、高知県高知市とした。本研究室では、粒子法 (SPH 法) を用いた津波遡上解析を、高知市を対象に行っている。ASI-Gauss 法を用いた都市全域のモデル化及び地震応答解析の達成後は、SPH 法と連成解析することで、地震・津波に対する都市全域の木造家屋倒壊解析を実施する方針である。

3. 都市全体解析モデルの領域分割

高知市モデルの概要は次の通りである。領域：7km×10km、建物数：82,916、要素数：43,411,162、節点数：30,295,639、データサイズ：9.5GB。単一のパソコンでも解析で解析できる規模ではあるが、数日の間に解析を終了させることを目標に、解析対象領域を分散させ、複数の計算機で同時に解析することにした。この際、各計算機が担当する計算負荷が一致するように領域分割を行った。その例として、高知市全域モデルを 20 区画に分割した例を示す (図-4)。このモデルの平均要素数は 2,170,558 (絶対偏差：0.3%)、平均節点数は 1,514,782 (絶対偏差：1.1%) であった。領域分割の結果、各領域の平均解析時間は 28 時間 28 分 (京都大学 Camphor2：20 ノード、68 スレッド、1000 ステップ) に抑えることができ、都市全体の地震動解析 (図-5) が数日で完了した。

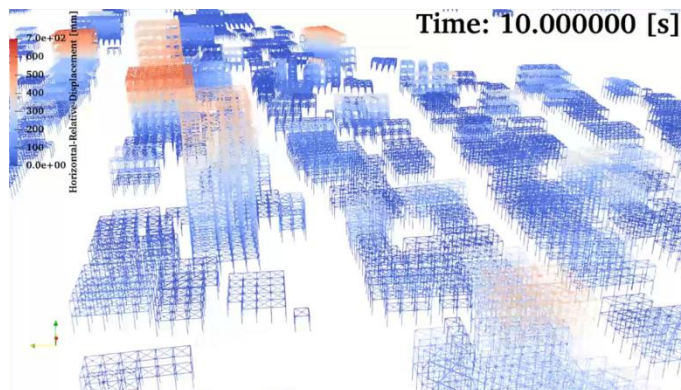


図-5 都市全体の地震動解析の拡大

4. まとめ

ASI-Gauss 法を用いた都市規模全体の構造物の地震応答解析に向けて、地理情報システム (GIS) を用いて都市全域をモデル化し、また大規模解析の並列処理効率をあげるために計算負荷を分散させる領域分割を行った。木造家屋ははり要素でモデル化し、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。今後、木造家屋の倒壊までを考慮した都市全体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動応答解析の妥当性検証を行う方針である。

5. 参考文献

- 1) Daigoro Isobe : *Progressive Collapse Analysis of Structures - Numerical Codes and Applications*, Elsevier, eBook ISBN:9780128130421, Paperback ISBN:9780128129753, 2017.
- 2) 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。