ASI-Gauss 法による都市全域の木造家屋倒壊解析手法の開発

九州大学大学院　学生会員　○石井　秀尭
九州大学大学院　正会員　浅井　光輝
筑波大学大学院　正会員　磯部　大吾郎
理化学研究所　非会員　大谷　英之

1．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．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．

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応答解析手法から開発を進めた．解析手法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種である ASI-Gauss 法 [1]を選択し，その高速な大規模解析用コードを開発した．

2. 解析手法及び解析モデル

2.1 解析手法の概要

ASI-Gauss 法 [1]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 つの線形チモシェンコはり要素だけで分割することで，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

Fig. 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，Fig. 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 つに分類され，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，床は剛体床と仮定した．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 [2]を示すスケルトンカーブ（Fig. 3 参照）にフィッティングさせることで決定した．また各要素の重量の設定には，「2012 年改訂版 木造住宅の耐震診断と補強方法」[3]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 Fig. 3 に示すスケルトンカーブにおいて，層間変形角が 1/120rad を超えるとブレースが先行して降伏し，また 1/30rad に達した時点で柱が降伏するものと仮定した．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．

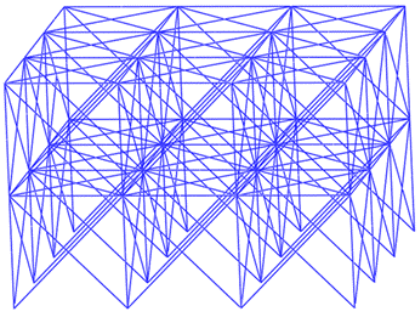


Fig. 1 木造家屋モデル

キーワード　ASI-Gauss 法、木造家屋、都市モデル、地震応答解析
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

© Japan Society of Civil Engineers

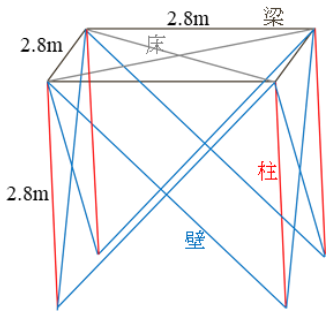
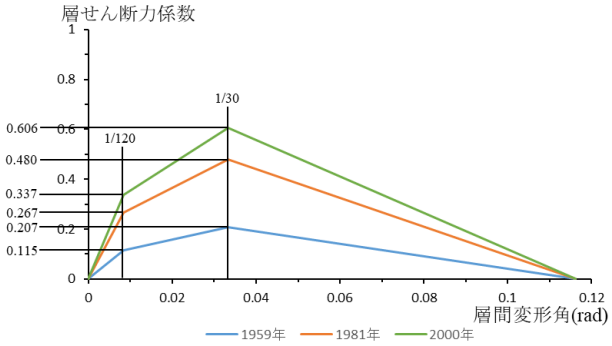
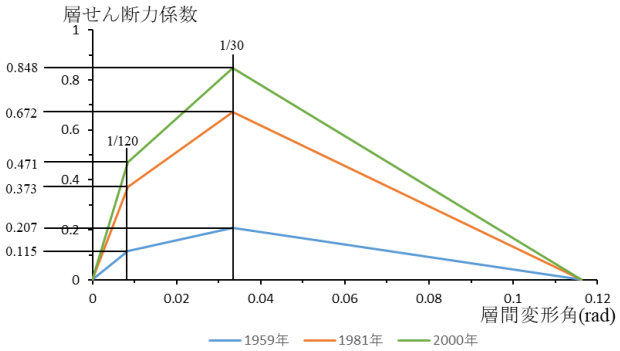


Fig. 2 単位ユニット



(a) 1 階



(b) 2 階

Fig. 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と階層情報を参照することで，あとは Fig. 2 に示す単位ユニットを組み合わせにより任意形状の建物を自動生成した．

3. 都市全域解析

本研究で対象とする都市は，熊本県益城町とした．益城町モデル（Fig. 4）の概要は次の通りである．領域 : 2.1km×1.8km，建物数 : 3444，要素数 : 1,993,504，節点数 : 1,065,266，データサイズ : 0.42GB．都市全域を対象とした実時間 10 秒の解析（Fig. 5，カラーコンターは鉛直変位）を 85.68 時間で行うことが可能である（京都大学 Camphor2 : 1 ノード，68 スレッド，1000 ステップ）．

Fig. 4 益城町モデル

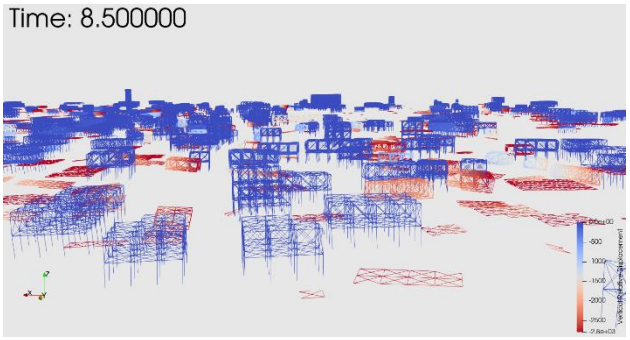


Fig. 5 地震応答解析の拡大

4. まとめ

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．

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) 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) 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.

© Japan Society of Civil Engineers