

都市地震被害推定のための異分野間数値解析技術の統合に関する基礎検討

東京工業大学	正会員	○飯山 かほり
理化学研究所	正会員	大谷 英之
東京大学地震研究所	非会員	Maddegadara Lalith
海洋研究開発機構	正会員	堀 宗朗

1. はじめに

統合的予測システムに基づく都市地震応答シミュレーションは、自然災害が及ぼす多岐多様な被害を定性的・定量的に評価するために重要な役割を果たす。本研究では、東京大学地震研究所で開発された統合地震シミュレータ (IES) ¹⁾ を利用し、地震発生に伴う建物被害推定を対象とした工学系数値解析と災害後の交通流予測を対象とした社会科学系数値解析の統合を諮った。こうした異分野の解析では、それぞれが災害・被害の評価情報に関する独自の時間・空間スケールや情報の幅を持つため、これらを統合するためには種々のデータ変換方法やその変換効率にも工夫が必要となる。本稿では建物被害情報を交通流解析に利用可能な情報へと変換する方法論を具体化するとともに、異分野間の解析統合における課題を抽出した。

2. 数値解析技術の統合のための方法論と課題

災害発生後の都市交通流解析では一定以上の広い領域を対象とした評価が必要であることを踏まえ、本研究では阪神5市（西から神戸市、芦屋市、西宮市、尼崎市、大阪市）の領域（対象建物数 1,266,706 棟）を検討対象として検討を行なった。地震動シナリオは内閣府提供の南海トラフ陸側ケースとした。地盤は J-SHIS より提供されている AVS30 を表層 30 m のせん断波速度とした 2 層構造でモデル化した。統合用として、デジタル道路地図（日本デジタル道路地図協会）のノード座標とそのリンク、および道路幅情報を利用した。

(1) 工学系数値解析結果のデータ変換のための方法論

IES のモジュールの一つである建築建物地震応答解析(SRA)で構造物の損傷に伴う落下物や瓦礫流出による影響範囲を推定し、これと上述の道路情報を利用することで、交通流解析の入力情報となる道路閉塞幅を求めるまでの方法を具体化した。変換プロセスの概要は図 1 に示す通りである。まず膨大な建物群の形状や方向の複雑さを考慮して領域内を 1m メッシュで区分する (①)。SRA モジュールから得た建物の最大層間変形角 θ_{max} と建物高に基づき建物損壊による影響幅 W を計算する (②)。ここでは単純な関数をデフォルトとして適用し、係数の部分に不確定性を持たせたが、関数は必要に応じて追加・選択可能である。データアクセスの効率化を考慮したベクトル演算により各建物ポリゴンに W の分だけ拡張し影響範囲のポリゴンを生成する (③)。領域内の道路中心座標と道路幅情報を取り込む (④、リンク数 495,595)。全建物の影響範囲ポリゴン端部座標と各リンクの道路中心座標との最短距離を計算する (⑤)。道路幅情報から求めた最短距離を減じることで道路残存幅を計算し (⑥)、各道路リンクに対する残存幅の最小値を求める (⑦)。各リンクの最小残存幅を出力結果として、リンク ID、リンク座標、実道路幅とともに出力ファイルに保存・可視化する (⑧)。

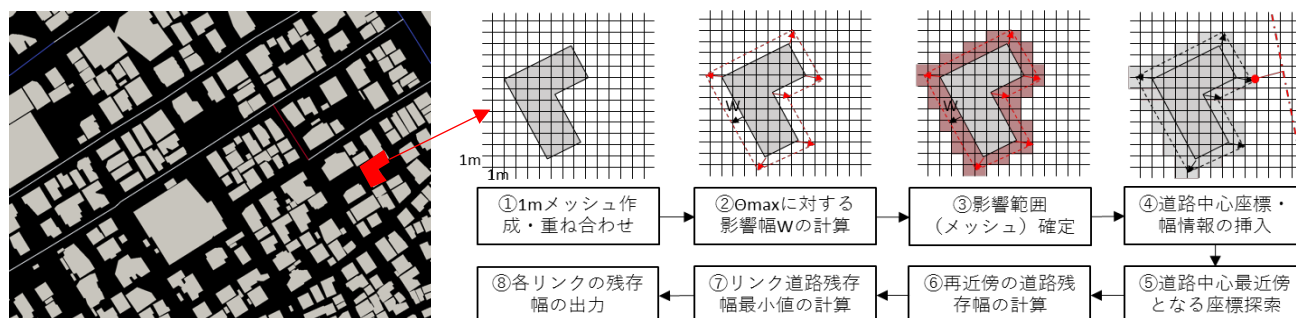


図 1 SRA モジュールの計算結果のうち建物最大応答値を道路閉塞幅に変換するプロセス

キーワード 大規模数値解析, 統合地震シミュレータ, IES, データ変換

連絡先 〒226-8502 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259-G3-7 東京工業大学 TEL 045-924-5607

対象領域における SRA モジュール解析結果として最大層間変形角の空間分布と変換された道路閉塞情報を図 2 に示す．なお，全体として被害が大きいのは，建物モデルの耐力の設定を設計基準上の必要耐力としたためと考えられる．特に木造家屋では実耐力 > 必要耐力であることが被害評価例より示されている²⁾．

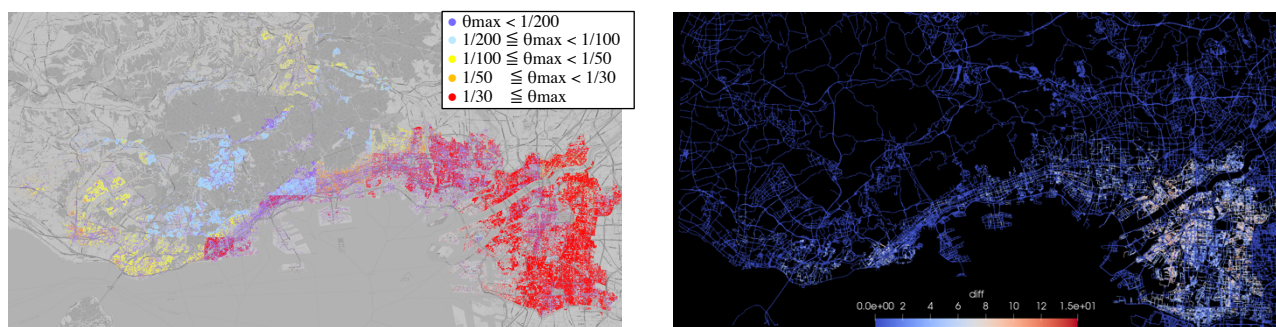


図 2 SRA モジュールの計算結果である建物最大応答値（左）と変換された道路閉塞幅情報（右）の可視化例

(2) 異分野解析の統合における課題の抽出

異分野間の解析の統合するにあたり得られた主な課題を以下に挙げる．

A. 座標系の違いに起因する課題

構造物形状データやその応答評価等，相対的な距離を扱う SRA モジュールでは，計算の利便性から投影座標系として平面直角座標系を適用している．他方，広範囲の位置情報を取り扱う交通流解析では緯度経度座標が主に利用される．このため，プロセス⑤・⑥の閉塞領域一道路間の最小距離計算においては，距離計算にかかる時間とデータ変換時間を考慮した座標系選択が必要となる．さらに，対象領域によっては平面直角座標系が混在する場合があるため，座標系を踏まえたコード作成が必要である．

B. 空間分解能の違いに起因する課題

プロセス⑤・⑥では，構造物情報である 127 万のポリゴンデータを 50 万のリンクデータに変換する際，上述 A の座標系の問題のみならず効率的なデータ探索が必須となる．探索量は対象領域の広さに応じて増大するため，通常の方法では膨大な計算回数を要する．ここでは kd-tree を適用して計算時間の低減をはかった．

C. 解析対象の違いに起因する課題

解析間の統合では，ある出力をある入力に読み替える（換算する）必要が生じる．この換算のための関数の設定は，統合結果の信頼性に直結する．例えばプロセス②の影響幅算出がこれに相当する．影響幅算出に関しては試験的に θ_{max} と各建物高 H_s から平均的な W を計算する単純な関数を仮定したが，必要に応じて関数を追加・修正等できる，或いはパラメタに不確定を考慮できるような柔軟なコードとすることが求められる．

3. おわりに

大規模数値解析を利用した都市地震応答シミュレーションにおいて，構造物応答の工学系数値解析と被害対応のための社会科学系数値解析を統合するための具体的方法を提示するとともに，課題を明らかにした．なお，解析結果を検証するためには可視化とその方法選択も重要な要素技術となる．今後は上記課題に対する工夫を行いながら，都市モデルに橋梁構造物を導入し，被害推定を実施する予定である．

謝辞

本研究は文部科学省ポスト「京」重点課題アプリケーション開発（重点課題 3：地震・津波による複合災害の統合的予測システムの構築）の助成を受けたものです．また，解析検討においては内閣府中央防災会議提供の工学基盤波（南海トラフ陸側ケース），J-SHIS による AVS30 のデータを利用させて頂きました．

参考文献

- 1) 飯山かほり：統合地震シミュレーション(IES)技中 t の紹介～システムとしての開発と現状，将来像～，コンクリート工学，第 56 巻，9 号，pp.783-788, 2018.
- 2) 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，構造工学論文集 Vol.64B，pp.1-7, 2018.