

高分解能強震動情報と電子仮想都市を用いた統合震災シミュレータの開発

○東北大学 土木工学専攻 正員 市村 強
 東京大学 地震研究所 正員 堀 宗朗
 東京大学 地震研究所 学生員 楊 芳
 東北大学 土木工学専攻 正員 寺田賢二郎

1. はじめに

高度化・複雑化が進んでいる都市の震災対策の合理化・効率化を考える上で、震災時に何が起きうるのかを明示することは重要と考える。この「事実の明示」を高精度・高分解能で行うためには、入力外力である強震動分布情報を高精度・高分解能でもとめること、その入力によって都市で何が起きるのかという都市の応答を高精度・高分解能でもとめることが必要となる。工学的に有用とされる構造物の動的解析・被害シミュレーションなどを考えると、強震動情報は、およそ ~ 10 [Hz]程度の分解能でもとめることがのぞまれる。強震動は、断層の破壊過程、地殻・地盤内の波動の伝播、地表近傍の複雑な地質構造による影響を経て生成される。高精度に強震動分布をもとめるためにはこれらの諸課程を数値計算によって詳細にシミュレーションする必要があるが、上記のような時間分解能でもとめるためには、地表付近では、1 [m]オーダーの空間分解能で強震動分布をシミュレーションする必要がある。都市の応答については、過去のデータを用いたり、簡便な解析手法を用いたりする試みは従来からなされてきているが、高度化・複雑化が進んでいる現在の都市で震災時に何が起きるかを、これらの方法から高精度・高分解能でもとめるのは難しいと考えられる。

本研究では、「事実の明示」を高精度・高分解能で行うことを目指した基礎研究を行った。その流れを以下にまとめる(図-1.参照): 1) GISデータから計算機上に電子仮想都市を構築する, 2) 電子仮想都市のデータを用いてシミュレーションモデルを生成し, 各種シミュレーションツールを連成させてシミュレーションを行う, 3) 1)と2)により震災時に何が起きるのかを提示する。「電子仮想都市で何が起きるのか?」をあるがままのデータを用い, そのまますべて考慮して震災のシミュレーションを行う」ことを目指している。

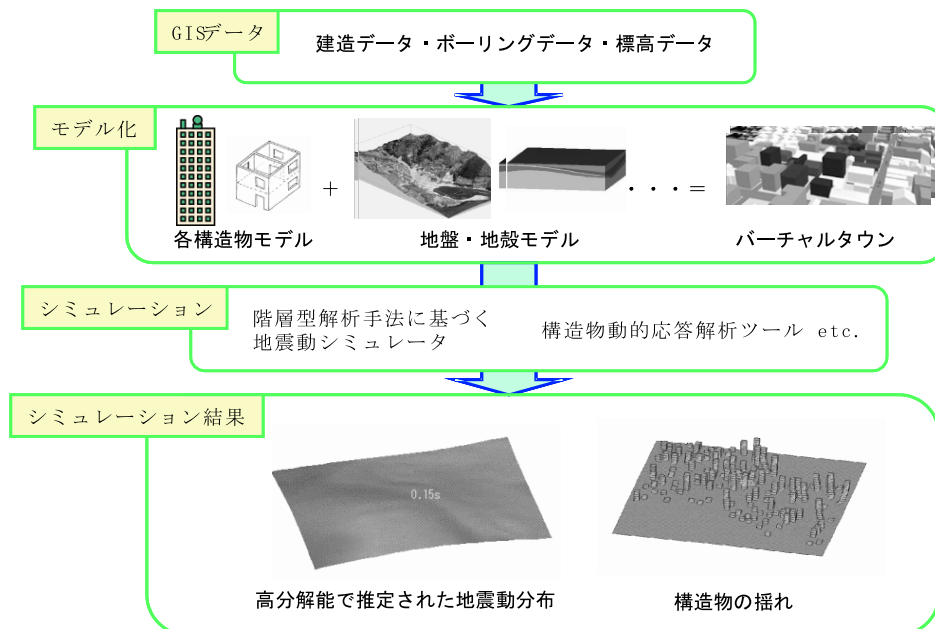


図-1 本研究のアプローチ

2. 電子仮想都市の構築

GIS データが不足しているため詳細な解析を行うのに十分な電子仮想都市を構築することはできないが、使用可能な GIS データを用いて、東京大学生産技術研究所近傍の電子仮想都市を計算機上に構築した。データが限られているため、建物群と地表付近の地盤のみからなるプロトタイプの電子仮想都市を構築した。地盤構造はボーリングデータ及び 50 [m] メッシュ標高データを用いて推定した。建物群は、GIS データの建物外形と位置情報に基づき、図-1. 右下に示すように建設した。

3. 階層型解析手法による強震動シミュレーション

上記の分解能で強震動をシミュレーションするには膨大な計算資源が要求される。また、モデル化に際し、地盤・地殻構造が正確にはわかっていないことも考慮しなければならない。以上の問題を解決するため、著者らは階層解析手法である、マクロ-マイクロ解析手法を提案している¹⁾。この手法では以下の 1), 2) を組み合わせることによって上記の問題点の解決を図っている。1) 物性が不確実な地盤・地殻構造に対して平均的な挙動を挟み込むような二つのモデルを設定する。2) 断層から地表までの強震動を解析するマクロ解析（空間分解能 100 [m] オーダー）と地表付近の強震動を解析するマイクロ解析（空間分解能 1 [m] オーダー）を組み合わせることによって計算量を減少させる。マクロ-マイクロ解析は階層型解析であるため、各解析の必要最大メモリを抑えることが可能である。また、地盤情報の不確実性に対応した物性の上下限を用いることで、起こりうる強震動を挟む上下限の強震動を求めるところに特徴がある。

4. 電子仮想都市による震災シミュレーション

電子仮想都市から東京大学生産技術研究所近傍の 500×500×60 [m]（東西×南北×深さ）の地盤構造モデルを生成した。ここでは簡単のため、この地盤構造モデルと簡便化したマクロ-マイクロ解析手法を適用し、模擬強震動データを生成した。地盤は線形弾性体で近似し、有限要素法により 5 [Hz] までの周波数成分の精度が保障できるように離散化した。これは空間分解能 2 [m] に対応する。波の逸散境界条件としては粘性境界条件を適用し、他の解析手法との比較よりモデルの中心 300×300 [m]（東西×南北）の範囲の計算結果の精度が保障されていることを確認した。この結果、単純化されてはいるが、地表付近の三次元構造の影響を加味した強震動の時刻歴データが、東京大学生産技術研究所近傍の 300×300 [m] の範囲の地表面で空間分解能 2 [m] でもとめられた。強震動分布は三次元地盤構造を反映して大きな偏りを示すことが確認され、強震動分布を高分解能でもとめるためには本手法のような大規模計算が必要であることが示唆された。

電子仮想都市の各建物を線形多自由度モデルによりモデル化する。この多自由度モデルと上述の強震動データを用いて各建物の動的応答をシミュレーションし、それらを統合化することによって、震災時にこの電子仮想都市がどのような応答をしめすのか？という震災シミュレーションを行った。強震動分布の偏りと建物の性質双方の影響によって、仮想都市内の構造物の応答が様でなく、複雑な応答を示すことが本シミュレーションを通して確認された。

5. まとめ

GIS データなどを用いて計算機上に電子仮想都市を構築し、そのデータからモデルを生成し、各種シミュレーションツールを用いて、電子仮想都市の応答をもとめるという一連の流れを提示し、簡単ではあるが、この手法に基づいて統合的に震災をシミュレーションした。今後は、より高精度・高分解能な統合震災シミュレータの構築のため、1) シミュレーションツールの精緻化（地盤の非線形性の考慮・構造物のより詳細な動的解析など）、2) 電子仮想都市のデータの種類と量と質の向上、3) プロトコルの設定（各種シミュレーションツールをプラグインできるように、電子仮想都市のデータフォーマットを共通化する）などを考えている。また、どの程度の精度・分解能で都市の応答をシミュレーションするためにはどの程度の計算機が必要なのかについての検討も行い、実用可能性もあわせて検討していきたいと考えている。

謝辞) GIS データを柴崎亮介教授（東京大学情報科学研究センター）からご提供いただきました。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) Hori, M. and T. Ichimura, Macro-micro analysis for wave propagation in highly heterogeneous media -prediction of strong motion distributions in metropolis -, Proceedings of the International Workshop, Wave 2000 (ed. by N. Chow and G. Schmid), Bochum, Germany, Dec. 13-15, Balkema, Rotterdam, 379-398, 2000.