

地盤モデルの堅牢な構築手法を統合した都市の地震被害シミュレーションの適用例

香川大学 正会員 ○本山紘希 金田義行 フェロー会員 白木渡 非会員 藤澤一仁
鹿島建設 正会員 飯山かほり
海洋研究開発機構 フェロー会員 堀宗朗

1. 目的

想定された地震に対し、都市全域の地震動と建物の地震応答を数値シミュレーションにより評価する手法が開発されている。本研究で使用する統合地震シミュレータ（Integrated Earthquake Simulator, IES）もその1つであり、表層地盤と建物の地震応答解析モジュールを有し、高性能計算を利用して、一度に数10万棟の建物被害の評価を可能としている^{例えは 1)}。IESの特徴は解析モデルの自動構築であり、建物に関しては、形状や構造特性に関する複数のデータを関連付けて地震応答解析モジュールに対応した解析モデルを自動構築する²⁾。一方で、地盤のモデルに関しては、1次元のFEMによる非線形解析が可能であるが、これに対応したモデルは、地層を単純化したものとなっていた。これは、IESが広域の3次元FEMを念頭に開発されていたためである。本論文では、建物の地点毎に1次元の成層地盤モデルを自動構築する手法を示す。本手法は、周辺のボーリングデータを補完する伝統的な方法であるが、自動構築の他、不整合なボーリングデータからも地盤モデルを構築可能な堅牢性を特徴としている。さらに、開発手法を統合したIESを用いた都市の地震被害シミュレーションの適用例を示す。高松市に対象領域を設定し、地震動・地震応答シミュレーションを行う。

2. 地盤モデルの自動構築手法

IESに実装された1次元地盤応答解析モジュールは、地層を砂質土か粘性土に分け、N値などから地盤の物性を与えて地震応答解析を実施する。これを踏まえ、データの前処理として、ボーリングデータは、砂質土層と粘土層に分類して整理する。整理されたボーリングデータを補間して、建物の地点毎の地盤を推定する。

最初に必要となるのは、ボーリングデータの層序の設定である。これは、隣接するボーリングデータでも層序が整合しないことが多いからである。層序の設定手法は、文献³⁾の手法を用いる。これは、全ボーリングデータに整合する層序を設定する手法である。例えば、2つの地点のボーリングデータの場合、地点1の層序が上から(A, B, C)であり、地点2の層序が(A, B, D, E)である場合、層序を(A, B, C, D, E)と設定する。地点1では、Cの下に層厚0のDとEの層が、地点2では、BとDの間に層厚0のCの層を加えることになる。3つ以上のボーリングデータの場合、上記の方法を順に繰り返すことで全ボーリングデータに整合する層序を設定することができる。

次に必要になるのは、層厚の補間である。補間手法としては、通常、クリギングやグリッドアルゴリズムによる補間が用いられる。この補間は、原理的に該当地点の近くに比較的多くのボーリングデータが利用できる場合が有効である。しかし、本研究が対象とする都市全体では、ボーリングデータの空間分布に粗密があり、補間の質が一樣とはならない。また、不整合のボーリングデータの場合、層数が多くなるため、層厚が極端に小さくなる場合もある。付近の少数のボーリングデータの線形補間が合理的であると考えられる。

上記を踏まえ、本研究での各地点の地盤モデルの作成方法は、①対象地点を囲む付近のM地点のボーリングデータを抽出、②M地点のボーリングデータ全てに整合する層構成を領域の層構成として設定、③線形補間により層厚を決定（N値などは距離による重みを付けた平均値として設定）、④得られた地点の地盤情報から地盤モデルを作成、という手順とする。各々の手順が簡便であるため、完全な自動化が期待できる。なお、本研究では、簡単のためM=3とした。これは、面を補間する最小の数である。また、該当地点を囲む3点のボーリングデータが無い場合には、例外処理を適宜設定する。

キーワード 都市地震被害シミュレーション、地盤モデルの自動構築、モデルの堅牢な構築手法

連絡先 〒760-8521 香川県高松市幸町1-1 香川大学 IECMS TEL 087-832-1749

3. 地震動シミュレーションへの適用例

図 1 に本研究で地震動と建物の地震応答を計算するエリアと使用するボーリングデータの分布を示す。高松市北部の東西 10 km, 南北 8 km 程度を対象としている。エリア内の建物約 10 万 4 千棟の、建物毎の地震動と地震応答を計算する。建物データには、建物形状のデータを用いた⁴⁾。

前章で説明した手法で、各建物の位置での 1 次元地盤モデルを作成した。該地点を囲む 3 点のボーリングデータが存在する全地点において自動的にモデルが構築できることを確認した。図 2 に得られた地盤モデルから計算した地盤の周期の分布を示す。詳細はここでは省略するが、高松市のハザードマップと比較して現実的な値であることを確認した。

想定南海トラフ地震の工学的基盤における強震動波形（内閣府の南海トラフの巨大地震モデル検討会で作成されたデータ、⁵⁾より取得）を用いて、地震動と建物の地震応答を計算した。上記で作成した地盤モデルを用いて 1 次元 FEM の地震応答解析を行い、得られた地表面の地震動を用いて建物の地震応答解析を行った。図 3 に建物の応答の可視化例を示す。解析の全時刻について、木造の建物の損傷の分析をした。図 4 に木造の建物の最大層間変形角の分布を示す。本解析では、層間変形角が 1/100 を超える建物はなく、木造の建物に大きな損傷が発生する可能性が低いことが示唆される結果となった。一方で、比較的新しい建物を想定したモデル化を行ったため、古い木造建物も考慮した評価は今後の課題である。

4. まとめ

都市の地震動シミュレーションのための 1 次元の地盤モデルの構築手法について示した。不整合のボーリングデータに対しても堅牢にモデルが構築できる特徴がある。また、本手法を都市の地震動と建物の地震応答解析に適用した地震被害シミュレーションの事例を示した。対象の全地点で現実的な地盤モデルが構築できることが確認できた。さらに、建物毎に地震動と地震応答を計算した。今後、自治体の提供するハザードマップと比較し、被災シナリオの高度化や災害対策構築について検討を行う。

参考文献

- 1) 藤田ほか: 多数の地震シナリオに対する高分解能な都市震災想定のための HPC による基礎検討, 2013.
- 2) 大谷ほか: 地震応答解析モデルの堅牢な自動構築のための床形状判読手法の開発, 2014.
- 3) Yang et al.: Earthquake Simulation in Virtual Metropolis Using Strong Motion Simulator and Geographic Information System, 2002.
- 4) 藤田ほか: 地震による建物被害を考慮した避難シミュレーション, 2015.
- 5) G 空間情報センターホームページ <https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/1204> (2020 年 3 月 1 日確認) .

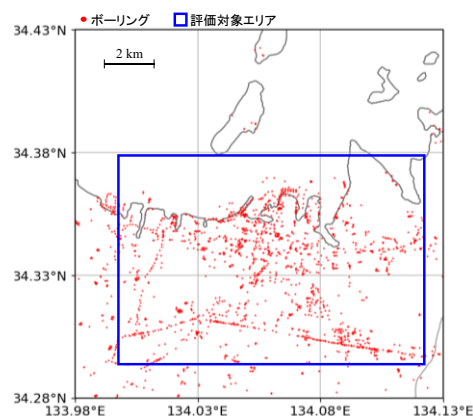


図 1 対象エリアとボーリングデータ

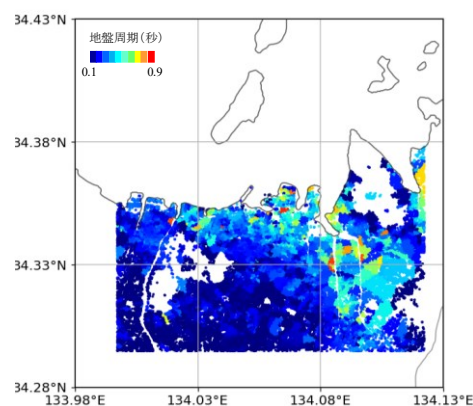


図 2 地盤周期の分布

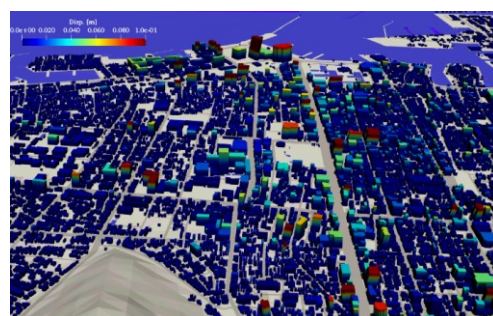


図 3 建物の応答の可視化の例
(コンターは変位振幅を示す)

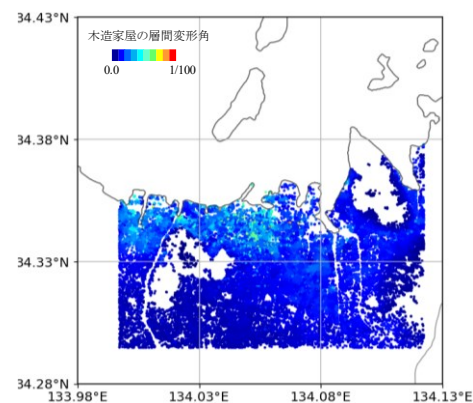


図 4 最大層間変形角の分布