

# 階層型解析による波動場計算と GISを組み合わせた 強震動シミュレーションシステムの開発

東北大学	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	正員	楊芳

## 1. はじめに

合理的な震災対策を考える上で、高分解能強震動情報が果たす役割は大きいと考えられる。一方、近年の観測により、断層の破壊過程・地殻内の波動伝播・地表付近の増幅効果が強震動分布に及ぼす影響が大きいことがわかってきた。強震動分布を高分解能で定量的に予測するためには、これらを考慮した三次元数値シミュレーションが有効な方法と考えられるが、膨大な計算量・地盤情報の不確実性・地盤のモデル化の困難さなどから実現が難しいとされている。本研究では、階層型解析とバウンディングメディア理論を組み合わせたマクロ-ミクロ解析手法<sup>1)</sup>を用いて上記の問題点の解決を図った。更に、地理情報システムにボーリングデータ及びモデリングツールを実装し、三次元地盤構造を自動的に作成可能なツールを開発し、上記手法と連成させた高分解能強震動予測システムの開発を行っている。開発した高分解能強震動予測システムの有効性を検討するため、横浜市で観測された実測データの再現を試み、最大速度等の地震被害を表す指標などとの比較を行った。

## 2. 手法

### (1) マクロ-ミクロ解析手法

マクロ-ミクロ解析手法は、階層型解析とバウンディングメディア理論を組み合わせた手法である。階層型解析は、一度に必要な計算量を抑えながら高い空間分解能と時間分解能を獲得するために導入される。まず、低分解能で全体について計算を行い、つぎに、その結果を用いて高分解能で部分領域で計算を行う。バウンディングメディア理論は、物性情報の不確実性に対処するために導入され、もっとも起こりうる挙動を挟み込むような二つの挙動を与える構造を与える。

強震動シミュレーションには以下のように適用する。

- i) 地盤・地殻構造情報の不確実性を考慮して、物性が確率的に変動する地盤・地殻構造の確率モ

デルを構築する（1m オーダーの分解能）。

- ii) この確率モデルに対して、バウンディングメディア理論を適用し、最も起こりうる強震動を挟み込む解を与える二つの構造を（上限と下限の構造）を設定する。
- iii) ii) で作成したモデルから等価な低分解能なモデルを作成する（階層型解析の導入：100m オーダーの分解能）。
- iv) iii) で作成したモデルを用いて断層から地表までをふくむ領域で強震動シミュレーションを行う（マクロ解析：100m オーダーの分解能）。
- v) 高分解能で強震動をシミュレーションしたい地点において、1) で作成した高分解能な地盤構造と iii) でえられた低分解能な強震動を用いて高分解能な強震動シミュレーションを行う（ミクロ解析：1m オーダーの分解能）。
- vi) iv) ~ v) を上限の構造・下限の構造についてそれぞれ行い、高分解能で最も起こりうる強震動を挟み込む強震動をシミュレーションする。

### (2) GIS を用いた地盤構造モデリング

ミクロ解析では、地表付近の三次元地盤構造をモデル化しシミュレーションを行う。工学的に重要な周波数帯までの精度を保証してシミュレーションするには、三次元構造を 1[m] オーダーの空間分解能で評価する必要があるが、これは膨大な計算量及びボーリングデータなどへの評価を必要とする。ここでは、GIS に関東一円のボーリングデータを実装し、これを用いて三次元地盤構造を推定するプログラムを開発した。具体的には、以下の手順により地盤構造を推定する。i) ある地点を指定し、推定すべき領域を指定する。ii) そこを中心とした領域にあるボーリングデータ及び国土地理院の 50m メッシュ標高データを取得する。iii) 層序を Yang *et al.*<sup>2)</sup>の方法により推定し、この層序を用いて塩野ら<sup>3)</sup>の方法を用いてもっと

Key Words: 強震動, GIS, 階層型解析手法

〒980-8579 仙台市青葉区荒巻青葉 06

Date	Magnitude	Epicenter location	Strike	Dip	Rake	Epicenter depth
2000/09/29	4.5Mj	35.5222N 139.7350E	318 °	80 °	-120 °	74km

表-1 震源の諸元

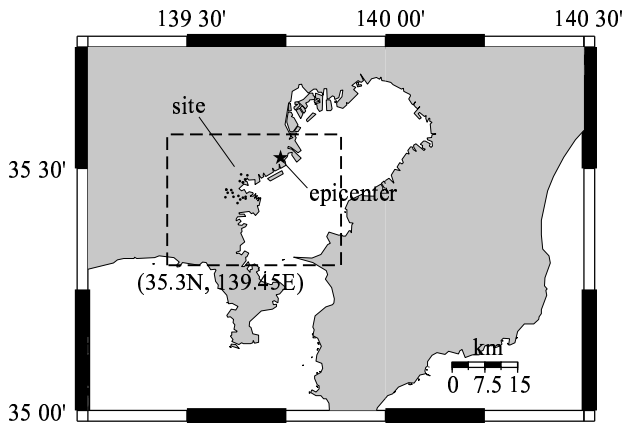


図-1 震源と観測サイト

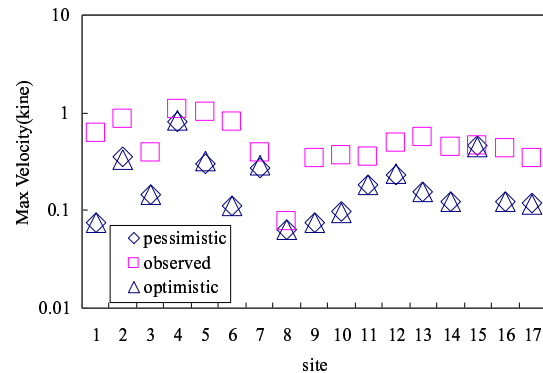


図-2 観測との比較（東西成分）

も滑らかになるように各層境界を推定する。

### 3. 強震動シミュレーション

横浜市近傍で起きた地震動の0.1–5.0Hzの成分をターゲットに再現を試み、観測された地震動と17サイトで比較を行った。震源とサイトの位置関係は図-1の通りである。地震の諸元を表-1に示す。強震動シミュレーションのための計算領域として、北緯35.3度、東経139.45度を左下端とする東西南北40×30kmの領域を深さ70kmまで切り出した（図-1破線部）。三次元地殻構造は山中ら<sup>4)</sup>の構造を用い、地表付近の地盤の三次元構造は2-(2)により推定した。さらにこの構造の曖昧さを考慮するために、物性に対して確率的なばらつきを与えた。この確率的なモデルに対して、マクロ-ミクロ解析を適用し、強震動の再現を試みた。波動場の計算には、マクロ解析、ミクロ解析ともにボクセル有限要素法を用いた。マクロ解析では、1.0Hzまでの精度を保証して断層から地表までを計算している。これは、従来の研究で行われている数値計算による強震動シミュレーションとほぼ同じことをおこなっており、他の研究と同様に最大速度などで実測データと良好な一致を得ることができている。マクロ解析では、低分解能で波動場計算を行うため、1.0–5.0Hzの高周波数成分を補う必要がある。このため、強震動のスペクトルを過去の地震動のデータより求め、低周波成分に基づいて外挿することによって高周波数成分をもとめた。この低周波数成分と高周波数成分により、5Hzまでの成分をも

つミクロ解析への入力波を合成した。

図-2に実測された最大速度と本手法によりえられた最大速度をしめす。計算結果には、0.1–5.0Hzのバンドパスフィルターを適用した。いくつかのサイトでは、良好な結果がえられているが、大きく差がみられるサイトもある。マクロ解析では、ここまでの差がみられないことから、上述の高周波成分の補間、ミクロ解析での地表付近の地盤構造の影響評価が十分でないことがこの大きな差の原因と考えられる。

### 4. まとめ

階層型解析による波動場計算とGIS上のボーリングデータを組み合わせた強震動シミュレーションシステムの開発を試みた。低周波数成分については良好な一致をみたものの、高周波成分については課題がある。今後は、高周波成分の補間及び地盤構造の推定手法が強震動分布に及ぼす影響などについて検討を行う予定である。

### 参考文献

- 1) Ichimura, T. and Hori, M: Macro-Micro Analysis for Prediction of Strong Motion Distribution in Metropolis, *J. Struct. Mech. Earthquake Eng., JSCE*, No. 654/ -52, pp.51-61, 2000.
- 2) Yang, F., Ichimura, T. and Hori, M: Earthquake Simulation in Virtual Metropolis Using Strong Motion Simulator and Geographic Information System, *Journal of Applied Mechanics JSCE*, Vol.5, pp.527-534, 2002.
- 3) 塩野清治, 弘原海清, 升本真二: 最適化原理による地層面の推定, *情報地質* (12), pp.299-328, 1987.
- 4) 山中浩明・佐藤浩章・栗田勝実・瀬尾和大: 関東平野南西部におけるやや長周期微動のアレイ観測-川崎市および横浜市のS波速度構造の推定-, *地震* 第2輯, 51, pp.355-365, 1999.