

[別紙 1]

## 論文の内容の要旨

論文題目      Development of Strong Motion Simulator with High Spatial Resolution  
Based on Multi-Scale Analysis Theory  
階層型解析理論に基づく高分解能強震動シミュレータの開発

氏名      市村 強

合理的な震災対策を立案するには「どこがどれくらいゆれるのか」という強震動分布情報が不可欠である。強震動は、断層の破壊、波動の伝播、地表近傍での増幅の3つの過程を経る。信頼しうる強震動情報を得るためには、これら3つの過程を高い空間分解能でシミュレートする必要がある。

断層や都市の大きさは10 kmオーダーの大きさであるが、実際に建造物の応答計算などに必要とされる波長は10mのオーダーである。したがって波動伝播に必要な自由度は膨大なものとなり、現状の最善の計算機をもってしてもこの自由度の問題を解くことは不可能である。しかも、強震動に大きく影響する都市の地下構造は正確に計測されていないため信頼できるシミュレーションモデルの構築も難しい。

本研究では、上記二点の問題点を解決し強震動シミュレータの開発を試みる。第一の膨大な計算量の問題点は、階層型解析理論を適用して解決を図る。階層型解析理論とは、異なる長さの尺度の変数を用いる特異摂動展開を利用するものである。この理論に基づき、都市全体を粗い空間分解能で計算するマクロ解析と、都市を分割し各地区を高い空間分解能で計算するミクロ解析が設定される。両者を合理的に連成させることで、必要とされる計算資源を抑えることが可能である。第二のシミュレーションモデル構築の問題点は、地下構造の不確実性を考慮して、構造や物性にばらつきを持たせた確率的なモデルを作ることによって解決を図る。この確率モデルでは応答として得られる強震動も確率的にばらつくことになるが、そのばらつきを悲観的・楽観的に評価した予測を行う。これらの解決法

は修士論文で提案した基礎理論を完成させたものである。

階層型解析理論により自由度は大幅に減少したものの、依然としてその数は大きく、既存の数値解析方法では実際に計算することは困難である。そのため、高効率な並列化を達成し、超大自由度の問題を計算する有限要素法プログラムを開発した。これはボクセル有限要素法を拡張したものである。開発された有限要素法の精度等は解析解の比較によって検証された。

開発された強震動シミュレータの有効性を検証するため、実際に起こった二つの地震をシミュレートし、強震動の再現を試みた。解析結果は、横浜市で実際に観測されたデータと多数の地点で比較された。計算精度が保証された周波数領域での各地の速度スペクトルを適当な幅の範囲で再現することに成功し、地殻・地質構造や地盤構造が強震動に及ぼす影響が明確にとらえることが示された。さらに、地点毎の最大速度やS I 値等、地震被害を表す指標も良好に計算された。これらの結果は、本研究で開発されたシミュレータが 1 ~10m オーダーの空間分解能で強震動分布を予測することを示すものである。シミュレータの利用の具体例として、複雑な地下構造の影響を定量的に評価することを行った。計算が極めて困難であることもあって、通常、地下構造は平行成層のような簡略なモデルが用いられる。本シミュレータの計算結果との比較により、このようなモデルでは強震動の評価に大きな誤差を生じることが示され、高い空間分解能で強震動を精度良く予測するためには、大規模数値シミュレーションが必要であることが確認された。