

審査の結果の要旨

本論文は、巨大地震に対する都市防災の合理化を念頭に、大規模数値解析を利用する強震動シミュレータの開発を行ったものである。このシミュレータは、想定される断層から発生し、地殻を通り、そして地表に達する地震波動に対し、階層型解析を用いて高い時間・空間分解能でその全伝播過程を計算する。波動伝播の場となる都市地下構造は、地質構造や地盤構造のデータを基に適切なモデルを推定する。開発された数値解析コードは、固体波動伝播に関する種々の数値解析上の工夫が凝らしてあり、並列計算に特に適したものとなっている。

論文の主要な内容は次の3点である。1)階層型解析理論の構築：バウンディングメディア理論と特異摂動展開に基づき、10km オーダーのサイズの都市地下を伝播する波動を 1mのオーダーの空間分解能で数値計算する理論を構築した。この空間分解能は、地震工学上必要とされる数 Hz の周波数を計算する時間分解能に対応する。2)解析理論のコード化：固体中の波動伝播を計算するための、大規模並列計算用の階層型数値解析コードを開発した。階層型解析は、空間分解能の低い解に、空間分解能の高い解を重ね合わせるものであり、二つの解を合理的に重ね合わせることで、スムーズに高い分解能の解を得ることができる。3)強震動シミュレータの妥当性の検証と有用性の検討：横浜市を対象に、複数の地震に対し種々のサイトで実測された強震動データを再現することでシミュレータの妥当性が検証された。ついで3次元的な地下構造と非線形的材料特性によって増幅される強震動の空間的偏りを示すことで、高時空間分解能で地震動を計算することの有用性を検討した。

本論文の質に関して審査会では高い評価を得た。特に、現在開発中の超大規模並列計算機をもってしても高い空間分解能で計算することが難しい3次元体中の波動計算に対し、適切な階層型解析を施すことで地震工学的に有意義なレベルの空間分解能で計算を実現した点は高く評価された。この他、論文の審議は、次の2項目に関して集中して行われた。

1)都市地下構造のモデル化

横浜市の地下構造に関しては地質構造及び地盤構造のデータが利用できるものの、地質構造の空間分解能は 100m 程度、また、地盤構造も地表 50m 程度までのボーリングデータであり、高精度の数値計算を行うには不確定なものである。この点に対して、最初に、地下構造を決定論的なモデルではなく、構造の境界の位置や構造内の各地層の材料特性にばらつきを与えた確率モデルを構築することで対応していることが答えられた。バウンディングメディア理論に基づき、この確率モデルに対してその平均的挙動の上下限を与えるようなモデルを構築し、強震動シミュレータは、このモデルで起こる強震動の分布を計算するものである。理論の妥当性は、理論解析及び例題を利用した数値解析によって検討されている。また、階層型を用いているため、解析モデルも空間分解能の低い解のものと、空間分解能の高い解のものが必要であるが、その点に関しても十分な注意が払われていることが強調された。理論解析及び数値解析によって二つの解のために構築される解析モデルの妥当性が検証されており、さらに、横浜市の実測データの再現に関しても、二つの解を合理的に結び付けるモデルが構築されていることが説明された。

2)強震動シミュレータの利用法

地震工学・防災工学において、開発された強震動シミュレータの利用法が議論となった。この点に関して、

地震学では、3次元地質構造が強震動の分布に強く影響することを明かし、さらに、整備された強震動ネットワークを用いて、地震の源である断層に応じて強震動の分布が異なること、特に100mの距離でも地震動が大きく異なることを観測していることが説明され、ついで、この知見と観測事実より、高い空間分解能で地震の波動全伝播過程を計算することが地震動の正しい予測に必須であり、このため、強震動シミュレータの実用化が期待されていることが紹介された。なお、開発されたシミュレータは表層地盤の非線形性を考慮しているものの、この点に関してはさらなる改良が必要であることは指摘された。

以上の2点に関して、本論文では、現時点での十分な対応と検討がなされていること、また、将来の研究の方向性を明確に示していることが審査会で示された。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。