

審査の結果の要旨

氏名 藤田 航平

本論文は、都市広域震災想定信頼性向上を目的として、多数シナリオ解析と 3 次元非線形地盤震動解析に基づく広域震災シミュレーションの技術開発を行い、京コンピュータをはじめとする大規模計算機への実装を行い、適用例を示している。

従来の都市広域震災想定は、過去の地震被害の統計処理に基づくため、信頼性は必ずしも高くはない。本論文では、空間情報と地盤増幅応答や建物応答等の物理シミュレーションを組み合わせることにより、100 万棟規模の多数構造物を含む都市広域震災シミュレーションの信頼性を高めることを目的としている。本研究における主な課題は、1)対象となる構造物の数が膨大であること、2)入力となる地震動等に曖昧さがあること、3)従来用いられている 1 次元解析に基づく地盤増幅応答解析では都市部の複雑な地盤構造の増幅を適切に評価することが難しい場合があること、である。

上記課題 1)、2)の解決策として、多数構造物からなる広域都市に対して多数シナリオを設定し、大規模計算機を用いて多数回解析することが考えられる。しかし、各物理シミュレーション間のデータ受け渡しや出力データの I/O に関するコストが膨大となり、大規模計算機上でスケーラビリティを確保するのは容易ではない。本論文では、ボトルネックとなっている箇所を探し出し、データ受け渡しと出力データに工夫を凝らすことにより、大規模計算機上で良好なスケーラビリティを達成する解析手法を開発している。また、開発した手法を京コンピュータに実装することにより、40000 計算機ノードを用いて 97.4%のウィークスケーリングのスケーラビリティを達成し、25 万棟からなる広域都市の 1000 地震シナリオに対する多数シナリオ解析を実施した。京コンピュータの性能を引き出すことが可能な手法を開発し、さらに、京コンピュータの多数計算機ノードを用いて広域震災シミュレーションを実際に行ったことは、地震工学的な観点からのみではなく、計算科学的な観点からも高く評価される。

上記 3) の解決策として、3 次元非線形地盤震動解析による広域地盤増幅評価が考えられる。構造物の応答解析に耐えうるように、3 次元非線形地盤震動解析の解析結果の精度を確保しうるかどうかポイントとなるが、これは膨大な解析コストを必要とする。本論文では、3 次元非線形地盤震動解析を京コンピュータに実装し、10 億自由度を超える大規模非線形波動場解析を行い、解の収束性を確認している。これは、京コンピュータ 8192 計算機ノードを用いて、11 時間で解析される規模のシミュレーションである。3 次元解析結果と従来の 1 次元解析結果の比較から、震度で 15%程度の差が生じることが示され、複雑な地盤構造における 3 次元非線形地盤震動解析の有効性が示された。

最後に、3次元非線形地盤震動解析と多数シナリオ解析を組み合わせ、構造物モデルの曖昧さを考慮した広域都市震災シミュレーション結果が示された。構造物モデルの曖昧さを確率的に評価し、モンテカルロシミュレーションによりその確率的挙動を評価する場合には、10回程度の解析回数ではその確率分布は収束せず、1000~10000回程度の多数回解析によって初めてその確率分布が収束することが分かった。多数の構造物を含む広域都市の情報曖昧さを考慮するためには、本論文で開発された大規模計算機上で使用可能な多数シナリオ解析手法が本質的に重要であることが示された。

以上のように、本論文では、広域都市震災想定信頼性向上のための技術開発と実装に関して、大規模計算機への実装まで十分な検討がなされていること、実際に開発された手法の性能を示すとともに適用例を示し有効性を示していること、さらに、将来の課題として本研究内容の改良と応用の具体的な方向を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。