

## 審査の結果の要旨

氏名 ソブハニネジャド グラムレザ

本論文は、統合地震シミュレーション (Integrated Earthquake Simulation, IES) にハイパフォーマンスコンピューティング (High Performance Computing, HPC) を備えさせるための技術開発と、HPC を活かした応用を検討している。IES のプロトタイプ of データフローを分析し、より効率的なデータフローを設計することで、IES に抜本的な改良を加え、その上で HPC を備えることに成功している。HPC を備えた IES の応用としては、リアルタイムハザードマップの自動構築、脆弱性カーブの構築、耐震応答解析用のモデルセットの構築が検討されており、それぞれ IES を利用したシステムの開発とその性能検証を行っている。

本論文の主要な内容の一つである、IES に HPC を備えるための技術開発では、IES のプロトタイプ of データフローの分析に特徴がある。多数の数値解析手法を連動させて地震動と地震被害の予測のシミュレーションを行う IES では、個々の数値解析手法を正しく制御するため、その数値解析手法とシステムの間を取り持つラッパーを使うことが常道である。しかし、都市のデータや数値解析手法の種類が増えるに従って、データ変換に必要なコードが劇的に増大する。この点を抜本的に解消するため、ラッパーを使ったシステムの代わりに、データ、シミュレーション、ビジュアライゼーションの 3 つのレイヤから構成される新しいデータフローを設計した。そして、異なるレイヤの間のデータ通信に、共通モデルデータという中間層のデータを使うことで、データ変換に必要なコードの増大を防いでいる。

上記のデータフローの変更は、IES のシステムを大きく変えるものであるが、従来のプロトタイプとは一線を画したシステムとなったことは確実である。本論文の独自性として評価される。共通モデルデータの導入は、データ変換を二度行う点は欠点であるが、コードの増大を防ぐ効果はこの欠点を十分補う。IES の性質上、システムが扱うデータや数値解析手法の数は 10 のオーダーでは留まらない。CMD の導入も評価できるものである。

HPC を備えた IES のスケーラビリティは十分高いものと判断される。対象とする領域内の建物・構造物を一棟一棟ずつ解析するという IES のシミュレーションでは、計算ノード間の通信は決して多いものではなく、スケーラビリティの高さは十分予想できるものである。逆に言えば、開発された IES のコードは十分合理的であることが示唆されると判断できる。特に、高度な数値解析手法を採用した時にスケーラビリティが高くなる点は、将来の実用を考えると、魅力的でもある。

本論文では HPC を備えた IES の応用に関して、3 つの具体例をあげ、実際にシステムを

開発し、その性能を検証し、システムとしての妥当性や潜在的な有効性を議論している。第 I に検討されたリアルタイムハザードマップの構築は、より広い地域に対し、より短時間で被害予測を構築できるという点で、IES に備えられた HPC が的確に活かされる応用である。標準的な手法ではあるが、構築されたシステムも合理的であり、東京 23 区全域の構造物一棟一棟の被害予測を半日程度で計算し、かつ、可視化された計算結果を公開できる点は、システムの有効性を十分期待できるものである。

第 2 の応用例は既存構造物の脆弱性カーブの構築である。多数の地震動を使った地震応答解析を行う IES と、HPC を使った高速計算を活かした応用である。過去に観測された地震動を使う場合、構造物に入力する地震動の方向を変えることで、IES では異なる地震応答と構造被害が計算できる。新規な方法ではないが、必要となる計算量が膨大になるため、前述のように HPC が活かすことは確かである。

第 3 の応用は地震応答解析手法の検証に供するモデルセットの構築である。都市内の実構造物に対応した入力モデルを構築する IES を活かした応用で、簡単に 1,000 から 10,000 のオーダーで異なる構造特性を持ったモデルが構築できることになる。IES の入力モデルは都市のデータの変換で構築されるため、モデルの質を高いレベルに保つためには、データ変換の堅牢性が必要となる。本論文では、異なる数値解析手法に対応した入力モデルの振動特性を計算し、その比較によって堅牢性の高さを議論している。

以上のように、本論文では、IES に HPC を備えさせるための技術開発と HPC を備えた IES の利用に関して、設計から実装まで十分な検討がなされていること、実際に開発されたシステムの性能を定量的に検証していること、さらに、将来の課題として IES 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。