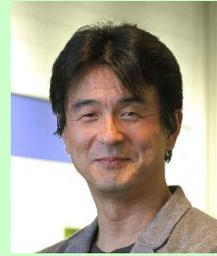


科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料  
〔平成28年度研究進捗評価用〕

平成25年度採択分  
平成28年3月11日現在

次世代都市モデルの多数地震シナリオ  
統合地震シミュレーションに基づく被害推定  
Assessment of Earthquake Disasters Based on Multiple-  
Earthquake Scenarios for Next Generation Urban Area Model

課題番号：25220908  
堀 宗朗 (HORI MUNEO)  
東京大学・地震研究所・教授



研究の概要

合理的な地震被害推定のため、地震災害の全過程を数値計算する統合地震シミュレーションが開発されている。本研究では、デジタルデータを利用した次世代都市モデルを自動構築する手法と、多数の地震シナリオを想定したシミュレーションから被害を分析する手法を開発し、より高度な統合地震シミュレーションを実現する。

研究分野：工学、土木工学、構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：地震防災、地震被害推定

1. 研究開始当初の背景

経験式を用いる地震被害推定の信頼度に限界があるため、より合理的な地震被害推定の手法の開発が望まれている。構造物そのものの耐震性が向上する他、発生する地震そのものの不確実性に対応できる手法であることが望ましい。

大規模数値計算を使って地震の全過程を解析する統合地震シミュレーション (Integrated Earthquake Simulation, IES) の開発が進められている。これは地盤や構造物群の都市モデルを使って、地震動の地盤増幅や構造物の地震応答を解析し、災害・被害を予測する。京計算機を使った解析も可能となり、多数の地震シナリオに対する被害推定の準備が整いつつある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、IES の推定を向上させるために、精度を格段に向上させた次世代都市モデルの構築手法と、多数地震シナリオの膨大な計算結果を分析する手法を開発することである(図1参照)。次世代都市モデルの構築では、モデルの品質確保のために独創的なメタモデリングの理論を構築し、それに基づく手法を開発する。メタモデルの理論は、一つの構造物に対し、詳細度を変えたモデル化を可能とする理論である。100を超える地震シナリオに対する IES(多数地震シナリオ IES) を実行することは、それ自体意義があると思われるが、防災・減災に役立つ情報を抽出するため、さまざまな地震シナリオにおいて被害が集中する個所等を抽出する分析手法を

開発する。

3. 研究の方法

研究計画は4段階に分かれる。第1段階では次世代都市モデルの構築手法を開発、第2段階では実際に次世代都市モデルを構築し構築手法を改良する。第3段階は多数地震シナリオ IES の分析手法を開発、第4段階は多数地震シナリオの IES を実際に実行し、計算結果を使って分析手法の有効性を検討する。

第1段階と第2段階は平成27年度で終了している。第1段階ではメタモデリングの理論を構築し、それに基づく次世代都市モデルを構築するためのコードを開発した。第2段階では、一つの構造物に対して複数作られる解析モデルの品質検証ができるよう、メタモデリングの理論を精緻化した。併せて次世代都市モデルの解析モデル自動構築のコードの改善も行った。



図1 研究の構想。大規模計算機と都市データを使った統合地震シミュレーションを実行し、科学的合理性を持つ地震被害予測を実現

#### 4. これまでの成果 成果の概要

平成 27 年度の時点で、各種デジタルデータを使って高度な都市モデルを作るための、次世代都市モデルの構築手法が開発された。社会基盤施設に対し、詳細な解析モデルが構築できることが示されている。多数地震シナリオの分析手法の試作も考案されている。

#### 次世代都市モデルの構築手法

次世代都市モデルは、各種デジタルデータを使って自動構築される構造物一棟一棟の地震応答解析用のモデルから構成される。デジタルデータの質・量に合わせて、単純な解析モデルから複雑な解析モデルまで選択することができるよう、メタモデリングの理論を構築した（図 2 参照）。

橋梁構造物にメタモデリングを適用した。橋桁・橋脚・基礎から構成される橋梁構造物のデジタルデータから、質点系モデル、梁要素モデル、ソリッド要素モデルを構築することに成功した。支承等の細部を除き、ほぼ自動で解析モデルを構築するモジュールが開発された（図 3 参照）。支承や接続部にはより高度な取り扱いが必要とされている。

次世代都市モデルの一つである地盤モデルは、10Hz の時間分解能の地震動を広域で計算できる。この結果、埋設管ネットワークの被害予測に新しい手法を提示することができた。

#### 構築手法の特徴

社会基盤施設（埋設管、橋梁構造物）の解析モデルを自動構築するモジュールが開発された。これは設計図面を変換した CAD データを利用するもので、図面 CAD データしか利用できない古い社会基盤施設のモデル構築には極めて有効である。

メタモデリングの理論に基づき、構造力学が連続体力学の数理的近似であることが説明されるようになった。連続体力学を基とす

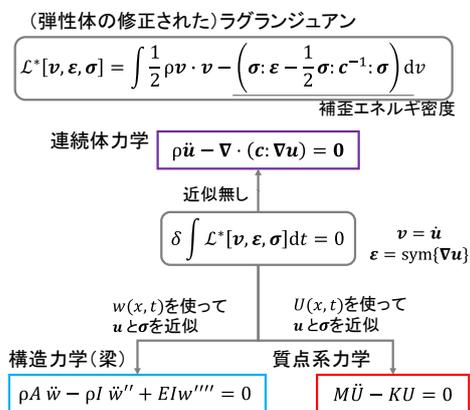


図2. メタモデリングの理論: ラグランジュアンと数理近似

るソリッド要素モデルと構造力学を使う構造要素モデルを合理的に使い分けることが期待される。

#### 5. 今後の計画

多数地震シナリオ IES によって生成された膨大な計算結果を適切に処理する第一歩として、都市の地盤と建物群の計算結果の可視化を行い、多くの地震シナリオに対して被害が集中する地区を抽出することが可能であることが示されている。平成 28 年度以降、多数地震シナリオ IES を首都直下地震に対して実行する。具体的には、東京 23 区内の一部を対象とし、100 を目安とした地震シナリオを設定したシミュレーションを実行し、考案された分析手法を適用する。多数地震シナリオ IES を単なる大規模シミュレーションで終わらせるのではなく、計算結果の分析から防災・減災に有用な情報が得られることを示すことが目標となる。

#### 6. これまでの発表論文等(受賞等も含む) 重要発表論文

1. T. Ichimura, et al.: Implicit Nonlinear Wave Simulation with 1.08T DOF and 0.270T Unstructured Finite Elements to Enhance Comprehensive Earthquake Simulation, SC15: doi: 10.1145/2807591.2807674 (2015).
2. M. Hori, et al.: Meta-Modeling for Constructing Model Consistent with Continuum Mechanics, JSCE, A2, 71, 269-275 (2014).
3. M. Hori, et al.: Automated Model Construction for Seismic Disaster Assessment of Pipeline Network of Lifeline, Journal of Earthquake and Tsunami, Vol. 7, No. 3 (2013).

#### 受賞

Association for Computing Machinery, Gordon Bel Prize Finalist (SC14, SC15).

#### ホームページ等

<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/LsETD/>

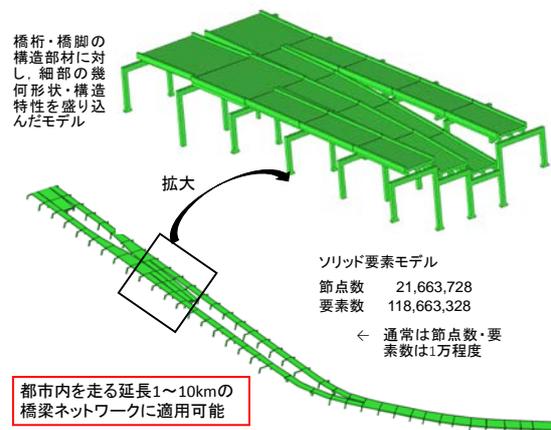


図3. 自動構築された橋梁ネットワークのモデル