



アドバンス・シミュレーション・ニュース

No.1 (2023年6月26日発行)

第1回アドバンス・シミュレーション・セミナー2023 開催報告

国立研究開発法人 海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門

部門長 堀 宗朗 様

「防災・インフラ分野でのシミュレーションへの期待と課題」

アドバンス・シミュレーション・ニュースは、アドバンスソフト株式会社が2021年度から、我が国における計算科学技術の振興を目的として、幅広い分野の最先端研究を対象として開催している「アドバンス・シミュレーション・セミナー」の開催報告と今後の開催予定をご案内するサービスです。

本セミナーで紹介される多種多様な最先端研究をきっかけに、企業の研究開発を担う技術者の方が新たな視点を持つこと、最先端研究を産業に応用する起点となること、長期的には計算科学シミュレーション分野の裾野が広がること等を期待しています。

開催概要

- 日時：2023年4月21日（金）15:30～17:00
- 開催方法：オンラインセミナー（Zoomにて開催）
- 主催：アドバンスソフト株式会社 出版事業部
- 講演概要

国土交通省データプラットフォーム等を利用する、防災・維持管理用の都市のデジタルツインの開発と利用の検討が進められている。この中では、よ



り効果的な対策・政策の立案に資する、都市全体の解析モデルを使った自然災害や構造物の劣化の予測シミュレーションが重要な課題である。

本講演では、都市のデジタルツインの現状を概説し、開発に関わる研究プロジェクトを紹介した後、都市のデジタルツインが実現する予測シミュレーションの期待と課題について説明する。

ご講演内容

本稿は、2023年4月21日に開催した「アドバンス・シミュレーション・セミナー2023」において、堀 宗朗 様にご講演いただいた内容をアドバンスソフトがまとめたものです。また、最後の章には、アドバンスソフトの感想を付記しました。

1. 講演内容
 - 1.1. 内容

- ①HPC を利用した統合地震シミュレーション
- ②地震応答解析のための並列有限要素法
- ③防災・インフラ用の都市のデジタルツインの自動構築

1.2. HPC を利用した統合地震シミュレーション

統合地震シミュレーションは高性能計算を使い、理学シミュレーション、工学シミュレーションおよび社会科学シミュレーションを連成することにより、統合的な地震の災害・被害・対応予測をおこなうシステムである。理学と工学のシミュレーションの基盤となる並列有限要素法は 2018 年ゴードン・ベル賞ファイナリストに選出される等、本分野では優れた成果を上げている。

理学シミュレーションの一つ、DEM 断層形成シミュレーションでは、動的負荷分散技術の高度化により超多数粒子による地盤解析に成功し、砂箱実験ではほぼ現実と同数の砂の挙動を再現した。

工学シミュレーションの一つ、MScPhy (粒子系固体・流体数値解析手法) により高解像度の津波シミュレーションを可能とし、福島原子力発電所の津波浸水も用いて再現した。

3次元地形データと2次元格子データを用いて、津波シミュレーション用都市モデルの自動構築も可能とした。地震と津波のシミュレーションをおこない、神戸港を対象としたシミュレーションでは防潮堤の効果を評価することができ、同シミュレーション結果は市議会でも用いられ、堤防の必要性が認められた。

社会科学シミュレーションの一つは MAS (Multi-Agent System) であり、さまざまな属性を持つエージェント群が都市内の複雑な経路を避難する状況を数値解析するもので、高いスケーラビリティを実現した。交通シミュレーションは、地震シミュレーションと建物シミュレーションの結果、推定される損傷された道路ネットワークを対象に、交通需要と交通流の2つのシミュレーションを組み合わせている。経済シミュレーションでは、様々な被害シナリオに対して Bellman 方程式を解き、経済被害がどの程度発生するか見積ることができる。また、マルチエージェント型の経済シミュレーションも開発しており、上述の MAS により日本全国の 1:1 スケール (1億エージェント, 1億人+400万企業) が可能となった。

上記の工学・理学・社会科学のシミュレーションを直列で連成させることが統合シミュレーションである。直列の連成では先に実施したシミュレーションの出力が次のシミュレーションの入力になるが、出

力データがそのまま入力データとしては使えず、データ変換が必要となる。例えば構造物地震応答シミュレーションと交通シミュレーションを連成させるためには、建物の被害データを道路ネットワークの閉塞データに変換する必要がある。

統合地震シミュレーションを首都直下地震に適用したところ、想定された地震では、首都圏の交通網に冗長性があるため交通流の混雑度が極端にひどくなることはない計算結果が得られた。一方、南海トラフ地震に適用したところ、発災後の交通需要の変化の影響もあり、交通の混雑度が高くなった。さらに、経済活動シミュレーションでは、大阪府の中心よりも大阪府以外の関西地域の方が、復旧が早い結果となった。

1.3. 地震応答解析のための並列有限要素法

構造物や表層地盤を主な対象とした地震応答解析のために、並列有限要素法 FrontISTR を基に e-FrontISTR を研究開発している。高速ソルバー DDDM (Deflated Domain Decomposition Method) を組み込んだ結果、地震応答解析の計算速度とスケーラビリティが向上し、実用に十分な性能が得られている。e-FrontISTR には、建設分野の主要材料であるコンクリートと地盤のテンソル構成則が実装されている。この結果、鉄筋コンクリート構造部材の動的実験の結果を高い精度で再現することができている。また、国内最大の振動台である E-DEFENCE を使った大規模な地盤動的地盤実験に対しても、高い精度での再現に成功している。

原子力発電所建屋に対して、構造物と地盤の3次元モデルを構築し、e-FrontISTR を適用した。この3次元モデルの自由度は100万を越え、実用に使われる解析モデルとして規模と詳細度は極めて高い。実地震動を受けた応答の再現や構造物の浮き上がり現象の予測も可能としている。

e-FrontISTR を表層地盤に適用し、地表地震断層の再現・予測を試みている。長さや深さがおよそ10km程度の表層地盤を対象とした解析モデルが構築されている。この解析モデルの自由度は1,000万を越え、並列計算が必須である。この解析モデルには存在が確認されている主断層や副断層が設置されている。この解析モデルに e-FrontISTR と観測結果から推定された地震動を入力したところ、実際に観測された副断層を起因とする地表地震断層を再現することに一定の成功をみた。この分野では重要事項である地盤の材料等の不確定性に関しても、e-FrontISTR を適用した数値解析は可能である。

1.4. 防災・インフラ用の都市のデジタルツインの自動構築

防災・インフラ用の都市のデジタルツインは、国土交通省が進める i-Construction や建設 DX を背景としている。都市のデジタルツインの目的は、防災・維持管理に関わる都市全体の挙動を科学的に予測することである。このような予測が防災・維持管理の施策をより効率的・効果的にする。そこで、蓄積が進む都市のインフラデータを利用し、都市のデジタルツインを自動構築・更新し、さらに様々な先端解析プログラムを適用する将来予測のシミュレーションを実現することが望まれている。

都市のデジタルツインの自動構築のポイントは、互換性が完全ではないインフラデータを様々な形式のデータに柔軟かつ容易に自動変換することである。インフラデータ自動変換のためのプログラム DPP (Data Processing Platform) を研究開発している。DPP の自動変換の出力の一つが 3次元可視化モデルである。都市全体の高度な 3次元可視化が自動化される。さらに、自動変換を先端解析プログラムの入力ファイルに自動変換することも研究されている。例えば FEM の場合、特定のインフラデータから形状と材料情報の入力ファイルが自動作成できることが実証されている。

現在、DPP を適用し、RC 橋梁の可視化・解析モデルの作成、NATM トンネルの可視化モデル等の作成が実施されてきた。DPP の有効性等を実証する結果である。さらに、地盤工学分野においてもボーリングデータをはじめ、DEM (Digital Elevation Map) 等のデータを DPP は自動処理できるようになっている。インフラデータが準備された地盤に対し、可視化・解析モデルを自動構築し、地盤の地震応答解析や液状化解析が容易に実行できるようになっている。さらなる DPP の拡張によって、河川と港湾分野でも関連インフラデータの自動変換も可能としている。

2. 聴講における感想（アドバンスソフト）

本セミナーでは防災、インフラ分野に対して、最先端の学問、技術を統合し、実用性を確認したシミュレーションシステムの構築の内容となっている。特に蓄積された都市のデジタル情報を利用した都市のデジタルツインの自動構築、さらに DPP の開発により、都市の解析モデルの自動作成を可能とした。これは今日の複雑な社会システムに対するリスクの把握、安全対策の検討および都市計画にシミュレーションが非常に大きな役割を果たすことを示しており、なおかつ社会的貢献度をあげたものと考えられる。連

成のための様々なデータの自動変換技術とノウハウ、計算高速化技術は、複雑化が進む都市機構に対して重要な技術要素になると思われる。

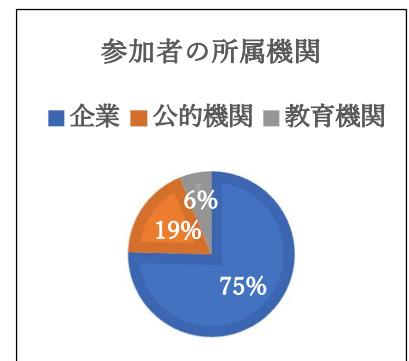
ご経歴

1984 年 東京大学 工学部 土木工学科 卒業
 1987 年 カリフォルニア大学 サンディエゴ校
 応用力学・基礎工学科 博士課程修了
 2001 年 東京大学 地震研究所 教授
 2012 年 理化学研究所 計算科学研究機構
 総合防災・減災研究ユニットリーダー
 2019 年 海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門
 部門長

参加者

申込者は 81 名、参加者は 65 名であった。参加者の内訳は、企業が 49 名、公的機関が 12 名、教育機関は 4 名であった。主な企業の分野は、「機械・エレクトロニクス」

「建設・不動産」、「資源・エネルギー」であった。また、担当分野は 研究開発、CAE 解析、企画の顧客が大半を占めている。



参加者のご意見

○防災分野で最も幅広い知見を持っていると思われる堀先生の講義は非常に参考になった。AS セミナーの第 1 回ということであったが、今後も期待したい。

公開資料

ご講演の YouTube 動画は、右の QR コードからご覧いただくことができます。



今後の開催予定

アドバンス・シミュレーション・セミナー

2023 の開催予定

<https://www.advancesoft.jp/seminar/11637/>

No	日程 受付状況	内容	テーマ
第1回	4月21日(金) 終了	「 防災・インフラ分野でのシミュレーションへの期待と課題 」 国立研究開発法人 海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門 部門長 堀 宗朗 様	防災・インフラ
第2回	5月19日(金) 終了	「 半導体デバイスの歴史と展望 」 IEEE LIFE FELLOW 広島大学 名誉教授 角南 英夫 様	半導体
第3回	6月22日(木) 終了	特別セミナー 「 複雑流動現象の数値シミュレーション 」 大阪大学 基礎工学研究科 機能創成専攻 教授 後藤 晋 様 ----- 「 機械学習による流体解析の拡張 」 University of California, Los Angeles (UCLA) 教授 平 邦彦 様	複雑流動・機械学習
第4回	7月21日(金) 募集中 お申込みはこちら 	「 GPU スパコンによる混相流シミュレーション・流体構造連成のシミュレーション 」 東京工業大学 学術国際情報センター 教授 青木 尊之 様	流体・HPC
第5回	8月3日(木) 準備中	「 原子力安全に必要となる計算科学技術への期待 」 東京大学大学院 工学研究科 原子力国際専攻 教授 笠原 直人 様	原子力安全
第6回	8月28日(月) 準備中	「 サイバー空間の脆弱性と AI：エコーチェンバー、ディープフェイク、ChatGPT の社会的影響 」 東京工業大学 環境・社会理工学院 イノベーション科学系 准教授 笹原 和俊 様	生成 AI
第7回	9月14日(木) 準備中	「 量子コンピュータと量子アニーリングマシン：基礎から最先端まで 」 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 新原理コンピューティング研究センター 副研究センター長 川畑 史郎 様	量子コンピュータ
第8回	10月6日(金) 準備中	「 爆轟から見える CAE の方向性 」 青山学院大学 理工学部 名誉教授 林 光一 様	爆轟
第9回	11月10日(金) 準備中	「 都市のデジタルツイン 」 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 デジタルアーキテクチャ研究センター 総括研究主幹 中村 良介 様	デジタルツイン

【お問い合わせ先】

アドバンスソフト株式会社 出版事業部

〒101-0062 東京都千代田区神田駿河台四丁目3番地 新お茶の水ビルディング 17 階西

TEL：03-6826-3971 FAX：03-5283-6580 E-mail：office@advancesoft.jp

<https://www.advancesoft.jp/>

当社では随時人材の募集も行っております。

<https://www.advancesoft.jp/recruit/>