

「マルチスケール・マルチフィジックス現象の統合シミュレーション」
平成 19 年度採択研究代表者

吉村 忍

東京大学大学院工学系研究科 教授

原子力発電プラントの地震耐力予測シミュレーション

1. 研究実施の概要

地球温暖化やエネルギーセキュリティの観点から原子力エネルギーへの期待が高まる中、我が国の経年化原子力プラントの巨大地震に対する安全性の確認は焦眉の課題となっている。本研究では、稼働中ないしスクラム直後の過渡状態にある原子力プラントの機能限界をマルチスケール・マルチフィジックス統合シミュレーションにより定量的に見極める耐力シミュレータを研究開発し、原子力プラントの真の地震耐力の定量的予測を行うことを目的としている。

今年度は、マルチスケール構造モデリングに関して地殻、表層地盤、建屋(鉄筋コンクリート)、経年化構造・機器に関する既存構成式・モデルの調査を行い、既存最先端技術の実態を把握し、本研究開発で取り組むべき技術の抽出を行った。さらにその結果を踏まえ、本研究で新たに取り組むべき構造モデリングの開発項目の検討を行った。また耐力シミュレーションシステムに関して基礎的な情報处理的検討を行った。

今後はマルチスケール構造モデリングと連携し、マルチスケール連成解析技術の研究・開発を実施する。また耐力シミュレーションを検証・評価するために必要なデータを調査し、耐力シミュレーションを実施するためのデータ作成を行っていく。

2. 研究実施内容

(文中にある参照番号は 4. (1)に対応する)

研究グループごとに記述する

●マルチスケール構造・連成モデリング A (東京大学・吉村グループ)

地盤, 鉄筋コンクリート, 炉構造の非線形材料挙動のモデリング, 経年化構造材料モデリングに関する調査を実施した.

アセンブリー構造の解析アルゴリズムの実装を念頭に, ADVENTURE 用多点拘束支援ツールの開発を行った. これらのツールのうち, 拘束を課す 2 面の表面パッチを融合し, かつ接触面の節点配置を一致させるツール A はすでに完成している. また表面パッチベースの節点や面グループの MPC 条件データファイルを 4 面体メッシュベースの MPC 条件データファイルに変換するツール B はβ版が不完全ながら動作するようになった. 今後はツール B を完成させるとともに, メッシュに対話的に従来の境界条件と MPC の拘束条件を貼付するツール C の開発に着手する.

また, 大規模なマルチフィジックス連成のための周辺技術の研究開発に着手した. 本年度は構造物の変位が大きい場合の流体-構造連成解析および並列可視化について研究を行い, 一定の成果を得た¹⁾⁻²⁾.

日本原子力研究開発機構・中島グループを中心に進めている耐力シミュレーションシステムのグリッド化実装の準備として, 東京大学・吉村グループが所有する計算機環境について調査し, 計算機の接続に関する課題の洗い出しとその解決方法の検討を行い, 接続に関して技術的な問題はないことを確認した. また実際に接続するための準備作業に着手した.

●マルチスケール構造・連成モデリング B (東京大学・堀グループ)

構造モデリングの対象の一つである鉄筋コンクリート造建屋は, 鋼材等の金属材料に比べ, 応力-ひずみ関係(構成則)が複雑である. コンクリートと鉄筋コンクリートの構成則の関係式と, その構成則を使った数値解析手法を文献調査した.

●マルチスケール構造・連成モデリング C (日本原子力研究開発機構・中島グループ)

耐力シミュレーションシステムのグリッド化実装の準備として, 各参加研究機関の計算機の接続環境について調査し, 試験的に複数機関の接続を試行した. 接続概念を図 1 に, 連携解析を行う機関の接続環境の調査結果を表 1 に示す. 原子力機構と防災科研の計算機を試験的に接続し, データ授受の試験を実施した.

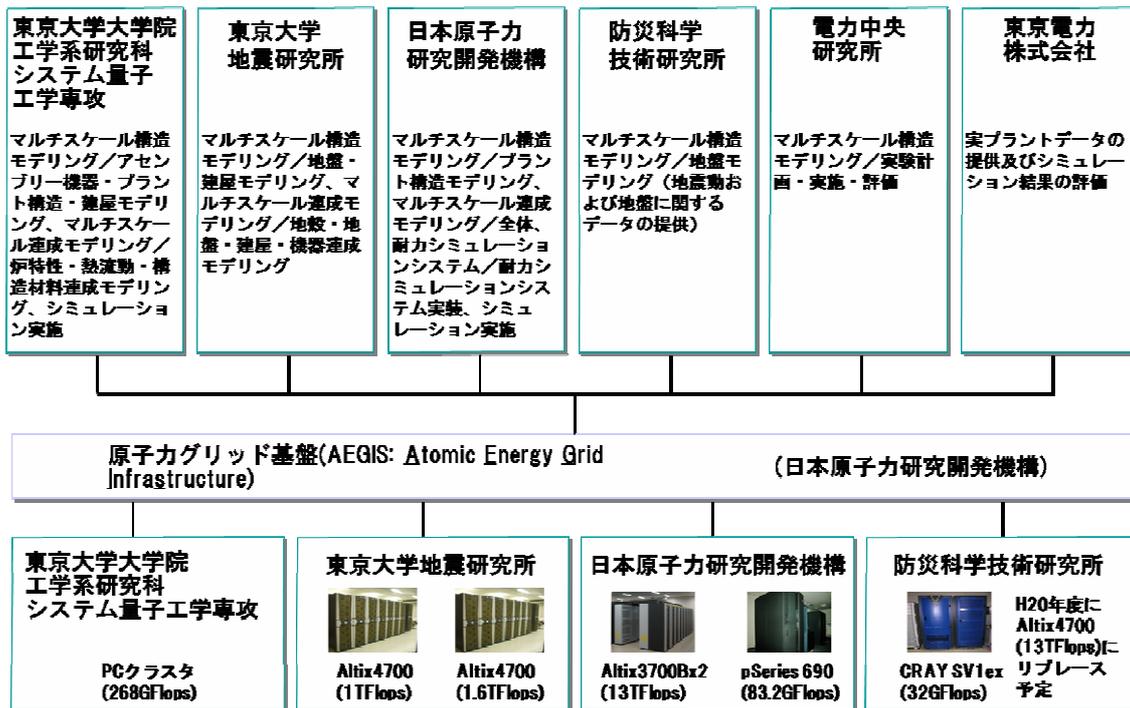


図 1. 耐力シミュレーションシステムのグリッド基盤接続概念

表 1. 連携解析実施機関の計算機接続環境

機関名	アプリケーション/データ	計算機
東京大学大学院 工学系研究科 システム量子工学専攻	構造物地震応答シミュレーションコード*	PCクラスタ Intel®Core™2 6300 (1.86GHz / 2MB L2)×36core 268GFlops, 36GBメモリ
東京大学 地震研究所	波動解析シミュレーションコード*, 構造物地震応答シミュレーションコード*	SGI Altix4700 Intel®Itanium™2 160core, 1.0TFlops, 320GBメモリ SGI Altix4700 Intel®Itanium™2 256core, 1.6TFlops, 512GBメモリ
日本原子力研究開発機構	熱流動シミュレーションコード*, 炉心発熱シミュレーションコード*	SGI Altix3700Bx2 Intel®Itanium™2 2048cpu 13TFlops, 13TBメモリ IBM pSeries690 POWER4 16cpu 83.2GFlops, 96GBメモリ
防災科学技術研究所	地震動および地盤に関するデータ	CRAY SV1ex 16cpu 32GFlops, 32GBメモリ H20年度下記にリプレイス予定 SGI Altix4700 Intel®Itanium™2 2048core, 13TFlops, 4TBメモリ

また、耐力計算を詳細にする上で不可欠な原子炉等の熱的状态や流動状態を耐力計算の境界条件としてどのように扱うかを明確にするために10回の会合を開催し、プラントから機器内部への解析にかかわるデータの流れの予備検討を行った。

●マルチスケール構造・連成モデリング D (防災科学技術研究所・河合グループ)

防災科学技術研究所においては地震動に関する研究が盛んに行われており、地震動および地盤に関するデータを多く有することからその提供を図るとともに、地盤-建屋連成に関する検証および評価を支援した。

●マルチスケール構造・連成モデリング E (電力中央研究所・酒井グループ)

多様な震源モデルや地震シナリオを考慮した入力地震動、地盤建屋相互作用、建屋と機器の連成など、総合的な数値シミュレーションの枠組みで評価する、マルチスケール構造モデリングの構築のために、既存実験技術や実験用ソフトウェアの調査を実施した。原子力設備の耐震実証試験においては振動台実験が多数行われてきており、表 2に既往実験で使用された振動台スペックの比較を示す。実規模の構造物の震動破壊現象が再現できるハイブリッド試験の適用例もみられ、これらの実験方法の適用性について評価を実施した。

表 2. 振動台スペックの比較

	多度津振動台	E-ディフェンス	電中研振動台
最大積載重量 ton	1,000	1,200	80
テーブル寸法 m	15×15	20×15	5×5
振動数領域 Hz	0～30	0～15	0～30
最大加速度 G	5	1.8	1.0
最大速度 cm/s	75	200	150
最大変位 cm	20	100	50
加振方向	水平1軸+垂直	水平2軸+垂直	水平1軸

●耐力シミュレーション実施・実験評価 (東京電力株式会社・長澤グループ)

新潟県中越沖地震により被災した柏崎刈羽原子力発電所(全 7 ユニット)の復旧にも関連させて、平成 20 年度に実施予定としていた地震データ、プラントデータの取得および検証、設備の CAD/CAE データの整備・拡充を優先的に実施した。また、これらのデータを用いた地震応答解析により、地盤・建屋・設備(機器・配管系)の特性を検証中である。この過程で得られた知見を将来の統合シミュレーション評価に資する。

その他のモジュールへの入力データおよび評価指標データ(プラント運転データ利用)仕様の明確化は、次年度に実施することとした。

3. 研究実施体制

(1)「吉村」グループ

① 研究分担グループ長:吉村 忍(東京大学 教授)

② 研究項目

・マルチスケール構造・連成モデリング A

マルチスケール構造モデリング/アセンブリー機器・プラント構造・建屋モデリング, マルチスケール連成モデリング/炉特性・熱流動・構造材料連成モデリング, シミュレーション実施

(2)「堀」グループ

① 研究分担グループ長:堀 宗朗(東京大学 教授)

② 研究項目

・マルチスケール構造・連成モデリング B

マルチスケール構造モデリング/地盤・建屋モデリング, マルチスケール連成モデリング/地殻・地盤・建屋・機器連成モデリング

(3)「中島」グループ

① 研究分担グループ長:中島 憲宏(日本原子力研究開発機構 システム計算科学センター 研究副主幹)

② 研究項目

・マルチスケール構造・連成モデリング C

マルチスケール構造モデリング/プラント構造モデリング, マルチスケール連成モデリング/全体, 耐力シミュレーションシステム/耐力シミュレーションシステム実装, シミュレーション実施

(4)「河合」グループ

① 研究分担グループ長:河合 伸一(防災科学技術研究所 主任研究員)

② 研究項目

・マルチスケール構造・連成モデリング D

マルチスケール構造モデリング/地盤モデリング(地震動および地盤に関するデータの提供)

(5)「酒井」グループ

① 研究分担グループ長:酒井 理哉((財)電力中央研究所 地球工学研究所主任研究員)

② 研究項目

・マルチスケール構造・連成モデリング E

マルチスケール構造モデリング/実験計画、実験-シミュレーション融合によるハイブリッド実験

(6)「長澤」グループ

- ① 研究分担グループ長:長澤 和幸(東京電力(株) 原子力設備管理部 副長)
- ② 研究項目
 - ・耐力シミュレーションの実施・実験評価
 - 実プラントデータの提供及びシミュレーション結果の評価

4. 研究成果の発表等

(1) 論文発表(原著論文)

- 1) Tomonori Yamada, Shinobu Yoshimura, "Fluid-Structure Interaction Analysis of Flapping Wing with Line Search Partitioned Approach",
Computer Modeling in Engineering and Sciences, Accepted
- 2) Hiroshi Kawai, Masao Ogino, Ryuji Shioya, Shinobu Yoshimura, "Vectorization of Polygon Rendering for Off-line Visualization of a Large Scale Structural Analysis with ADVENTURE System on the Earth Simulator",
Journal of the Earth Simulator, Accepted