

# 地震で都市はどのように被害をうけるのか？ 詳細なシミュレーションに挑む

地震被害の主体は地震動を受ける構造物であり、構造物や都市がどのように地震に応答するかの正確な解析が被害予測には重要となります。本研究では、地震によって建物がどのように揺れ、場合によっては損傷し崩壊に至るか、また都市全体を見たときに建物の一棟一棟がどのような被害を受け、人々がどのように行動するかを予測する解析手法の開発に取り組んできました。

具体的な研究として、建物については、超高層ビルや大型橋脚を対象として、建物を支える地盤もモデルに加え、建物全体の揺れや一部分の損傷の発生・発展、それが引き起こす建物の崩壊を計算しています（図1、図2）。都市については、南海トラフ地震によって被害を受ける可能性のある高知市などを対象として、100万棟におよぶ建物の被害や住民の避難の状況などまで計算しています（図3、図4）。

建物の地震応答シミュレーションでは、地盤と建物の相互作用を考慮して研究を進め、高層ビルでは鋼材の元に戻らない変形・材料レベルでの損傷を、橋脚ではコンクリートの材料レベルでの損傷と亀裂の数値解析を行い、それぞれの損傷過程について評価しました。基礎と周囲の地盤も詳細に再現したモデルを使うことで、地震動の方向の違いによる損傷の差などを解析することができるようになりました。さらに従来は不可能であった、複数の橋脚を連結させた大型橋脚の地震応答シミュレーションも可能になりました。特に鉄筋コンクリートの橋脚については、大規模実験の再現を試み、再現精度の大幅な改善に成功しました。

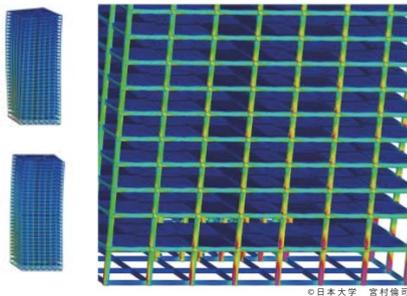


図1. 超高層ビルの地震応答シミュレーション。建物全体の变形（变形は30倍）。色はひずみの度合いを示している。

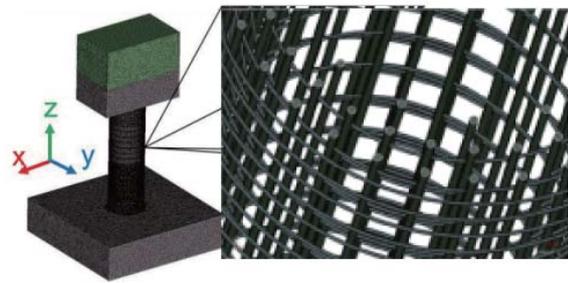


図2. 鉄筋を一本一本までモデル化した、鉄筋コンクリート橋脚のモデル

都市の地震応答シミュレーションでは、地震動、建物群の地震応答、津波侵入、群衆避難を対象に研究を進めました。「京」によって世界で初めて、地震動や各建物への影響と津波など複数の被害要素を計算するコードを統合することができ、「京」の並列化計算性能を大幅に向上させて地震災害・被害の大規模シミュレーションを実現するに至りました。この成果は地球科学・地震工学の分野だけでなく、計算科学の分野など各方面から高い評価を受けています。

今後は統合シミュレーションの有効性を確認するために、高知市を対象に災害・被害の予測のための計算を行っていく予定です。これに避難シミュレーションを連成させ、災害対応も統合することを目指しています。

なお、避難シミュレーションは、住民や旅行者一人一人を想定して「エージェント」という高度な解析モデルを作ることで、10万人の人々が、地震によって損傷を受けた周囲の建物を見ながら避難するという複雑な動きをシミュレーションしています（図4）。

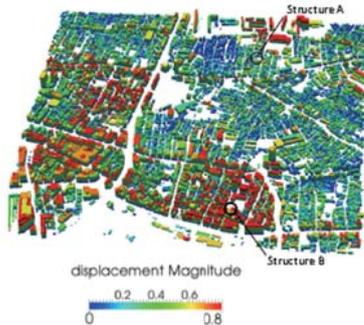


図3. 建物一棟一棟のシミュレーションの結果。色は揺れの大きさ・揺れ方を示している。

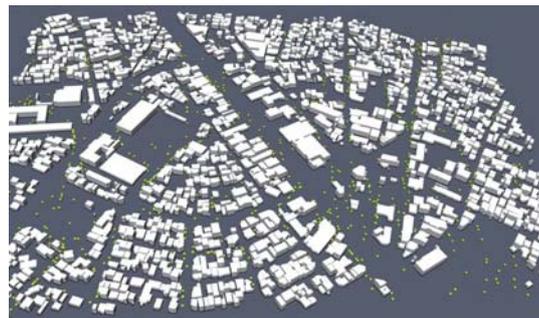


図4. マルチエージェントシステムによる避難シミュレーション。黄色い点がエージェント1人を指す。家屋や道路などをモデル化した都市のモデルの中のエージェントが自律的に移動する

## 研究成果を結実させ、次世代のハザードマップ作成へ

「京」の導入により、今まで不可能であった複雑で大規模な計算ができるようになり、都市や建物におけるより詳細な自然災害のシミュレーションが可能になりました。建物の構造シミュレーションでは、原子力発電所建屋の耐震性評価に使われるようになりつつあります。成果をわかりやすい形で社会に還元する取組みも進んでおり、都市のシミュレーション結果をより正確かつ直感的に理解できるような、3D画像や動画の作成にも力を入れています（図5）。

この5年間の成果をベースとして、都市シミュレーションの研究がさらに発展していけば、効果的な防災・減災対策や避難行動をサポートできる次世代のハザードマップ作成につながると期待されています。また、本研究で試みた「京」の活用法や最適化のノウハウは、後継の研究プログラムにとっても有用なものであり、多量のデータを高速で計算できるようになることで、大幅なコストダウンにつながる可能性も見出すことができました。



図5. 先進的三次元の津波シミュレーション