



よりよい震災対策を目指して 市村 強 研究室～土木工学専攻



市村 強 准教授

土木工学の研究は構造・水理・環境・地盤など多くの分野にわたる。市村研究室では、その中でも地震について、土木工学とコンピュータサイエンスの知見をもとに新しい震災対策を提案している。さまざまな数値解析によって、都市で地震が起こった時のシミュレーションを行っているのだ。ここでは、地盤中での地震波の伝わり方や構造物の揺れ方、人の避難の仕方などを解析する多くの地震シミュレーションを統合するための研究と、統合された各シミュレーションの精度を上げるための研究について紹介しよう。



新しい震災対策の提案

近年、科学技術の著しい発達にともない、都市機能や社会ネットワークの複雑化・高密度化が急速に進んでいる。そのため、過去の地震被害の統計をもとにした震災対策だけでは社会状況の大きな変化に追いつかず、人口が集中し高層ビルが立ち並ぶ大都市には不十分になってきた。

この問題を解決するために、市村先生は、過去の知見のみに頼らず、将来の地震や地震被害を論理的に予測し、被害を抑えるために対処する必要があると考えた。そこで、新しい震災対策として、市村研究室と東京大学地震研究所の堀宗朗先生を中心として開発されたのが統合地震シミュレータ (Integrated Earthquake Simulator, IES) だ。IES は、構造物や地盤など実際の都市のデータから構築した仮想現実都市に、地震動の予測や、構造物の地震時における挙動の解析などさまざまな数値シミュレーションの技術を組み合わせている。これにより、ある地震について都市全域での震災シミュレーションを行い、震災時の都市の様子を総合的に予測するのである。最終的には、一般の人にも分かりやすく、かつ高度な震災情報を提供して、今後起こるであろう大規模な地震の

対策に役立てることが目標だ。

ここで、IES に用いられている数値シミュレーション技術の歴史的背景についてもふれておく。数値シミュレーションとは、数学の問題に対し、コンピュータを駆使して数値的に近似解を求める手法のことである。コンピュータが普及する以前、地震の研究の中心を占めていたのは主に実験と解析であった。しかし、この二つだけでは解決できない問題も多い。たとえば、構造物の模型を揺らす実験では、一般に構造物の規模が大きくなるほど難しくなるため工夫を要し、費用もかかる。また、解析においても、現象を支配する微分方程式をある境界条件のもとで解く必要があるが、あまりに複雑な問題では解くことができない。しかし、コンピュータの進歩にともない、実験と解析を用いた研究のほかに、それまで解決できなかったような問題を解決できるような数値シミュレーションを用いた研究が行われるようになった。複数の数値シミュレーションを同時に行う必要のある IES は、近年における数値シミュレーション技術の急速な進歩が可能にした比較的新しいシステムなのである。



IES による震災シミュレーション

この章では、IES がどのようなものかを具体的に述べていくことにする。

IES は、都市のデータなどから構築された仮想現実都市と、そこでの地震動や構造物の揺れ、災害時に避難する人の動きなどを解析する多数のシミュレータから構成されている（図 1）。

IES を用いてシミュレーションを行う際には、まずベースとなる仮想現実都市をつくる。仮想現実都市とは、都市や地盤構造のデータなどを組み合わせ、地下の道路や通路なども再現したものである。次に、地震の情報を入力して仮想現実都市を揺らす。このとき、構造物の応答を調べるシミュレータにより、被害の分布がどのようになるのかが具体的にわかる。ほかに、建物などが壊れて道路や地下通路のネットワークが遮断されてしまった際、残された通路をつかってどのように人々が避難していくかなどもシミュレートできる。ここで、シミュレータに入力する地震波を変えてシミュレーションを行うと、仮想現実都市の揺れ方がまったく異なったものとなるため、地震の違いによる被害の形態の違いも示すことができる。このように、IES ではある特定の構造物に限って地震時の挙動をシミュレートするのではなく、都市全体の震災時におけるさまざまな要素を考慮してシミュレーションを行っており、従来の震災シミュレータよりも総合的な情報を得ることができるのだ。

さらに、図 2 のように建物の損傷を程度ごとに色分けするなどして視覚化すると、被害の形態が一目瞭然となるため、注意喚起にも使うことができる。視覚化することで、実際に地震のときにどのように揺れるのかというイメージや、地震のためにどのような対策をとるべきかということを伝えられるのだ。

また、断層から地震が伝わるメカニズムに始まり、都市の構造物の挙動、人の動きに至るまでのすべてを統合しようとする IES の研究には、多くの研究機関と協力することが不可欠だ。このとき、さまざまな研究機関のデータを集めて、ひとつにまとめるための仕組みが必要である。それぞれの研究データの構造が異なることで、その受け渡しなどに支障をきたすことがあるからだ。

これまでに、IES を用いてさまざまな都市のモデルで震災シミュレーションが行われており、地震の違いによる被害形態、被災額、人の避難に要する時間の違いを捉えることができるなど、さまざまな実例により IES の有用性は示されてきた。しかし、抱えている問題点も少なくない。

まず、一つは精度の問題である。これについては、道路が壊れてネットワークが遮断された場合などの社会経済的な波及効果を考えたり、適用する解析手法などを見直して各シミュレーションの精度を上げたりすることで、より一層 IES の精度を向上させていくことが今後の目標だ。

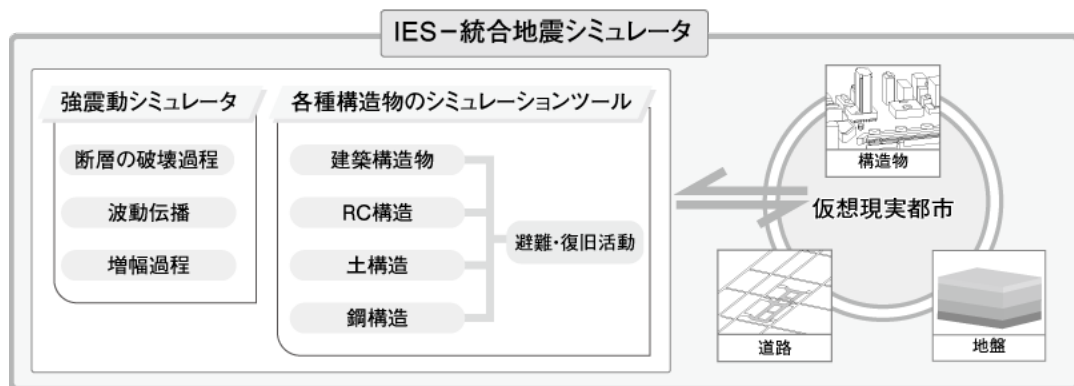


図 1 IES-統合地震シミュレータの構造

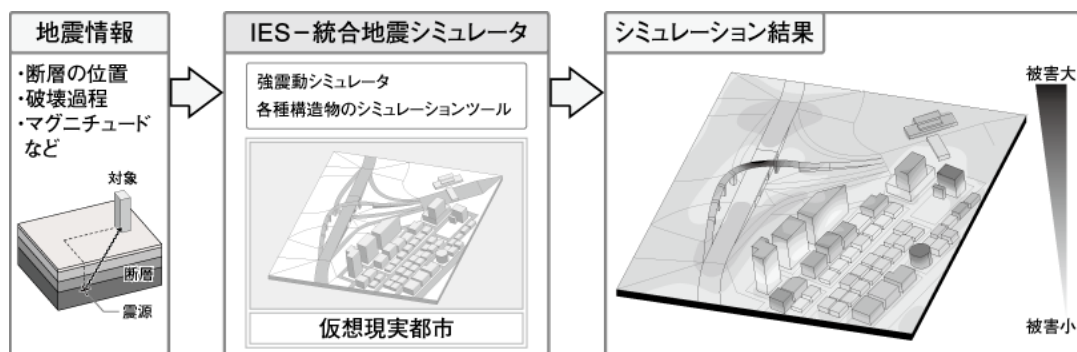


図2 IESによる震災シミュレーション

他にも、実際にシミュレーションを行った後、結果の情報をどのように扱えばいいのかという問題もある。公開によって、モデルとなった地域のイメージが悪くなってしまう可能性があるためだ。IESの開発は、情報公開をするための同意を多くの人から得るなど、作った情報に注意して社会科

学的な問題も解決しながら進めていかななくてはならない。

実際に被害想定に使うにはまだ解決すべき課題が残っているが、これらが解決されていけば、近い将来に自分たちの街や部屋のデジタルデータを作って、地震のときにどのように揺れるかをシ



震災シミュレーションの高度化に向けて

さまざまな震災シミュレーションを統合していくIESのような研究だけではなく、各シミュレーションの精度をより高めていくための研究も行っている。これにより、IESの精度をより高めることができるからだ。この研究をIESの研究と並行して行うことで、震災シミュレーションを総合的に高度化していくことを目指している。

一般に、シミュレーションの精度に大きく関わるのはモデル化、数式の離散化、データ量の3つである。ここで、モデル化は実際の現象をモデルにおとしこみ式をつくる作業、離散化は式を計算機に読み込めるようにするための作業である。シミュレーションの精度を高めるためには、モデル化、離散化のそれぞれの過程を工夫することが必要だ。また、データ量が不足すれば精度が落ちてしまうために、個人情報に配慮しつつ必要なデータをできる限り多く確保することも重要である。

通常、地震のシミュレーションを行うときには、建物の材料や強度などの情報が限られているため、モデル化や解析の手法などはその構造物の重要性が低いほど簡略化される傾向がある。簡略化を行うことで当然精度は落ちるが、今までの実績からいうとこれでも壊れないという過去の統計

的なデータがあり、社会的な信頼を得ているのだ。

しかし、前述のように、数値シミュレーションにおけるそれぞれの過程を工夫したり、必要なデータを多く確保したりすれば、従来の簡略化を行ったものよりもシミュレーションの精度を上げることができる。また、このことが構造物の設計手法の高度化につながるとも考えられるのだ。このような考えをもとに、市村研究室では震災シミュレーションをより一層高度化することを目指しているのである。

ところで、現在の地震の研究では、理学系が地面より下、工学系が地面より上というように、分担が大まかに分かれている。理学系の研究で、地震の原因となる断層の破壊がどこでどのように起こるかや地震波の伝わり方を調べる一方、工学系の研究ではそのデータを用いて地面より上、構造物の応答などをシミュレートすることが多い。これらの研究を組み合わせることで、構造物の地震時における具体的な挙動が分かることになる。

しかし、比較的小さな構造物ならば地面より上と下の部分を分けてシミュレーションを行ってもあまり誤差は生じないのだが、大規模で複雑な構造物の場合は断層レベルからまとめて行わないと

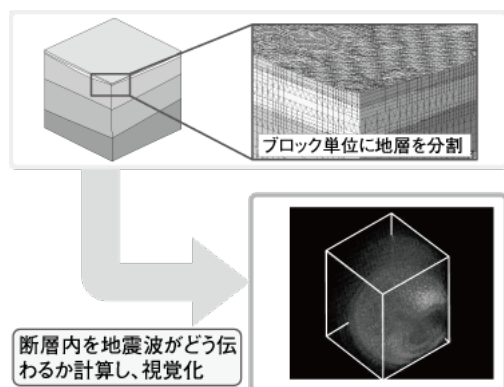


図3 地層内での地震波のシミュレーション

誤差が非常に大きくなってしまいます。これは、地震波の波長に比べて十分大きい構造物では、伝わってくる波の位相差が影響してしまい、地震波がどの方向から来るかによって応答が大きく変化することによる。

そこで、この問題を解決するために、断層レベルからの地震波動を含めたシミュレーションなどを試みている。これは、地面より下の部分と上の部分をまとめてシミュレートするという点で今までにない画期的な方法だ。図3は、地震波動場の計算用に構築した南関東地方の三次元地盤構造モデルである。図のように、ブロック単位に地層を分割して計算を行う。このシミュレーションを行うことで、この地盤中でどのように地震波が伝播していくのかが視覚的にわかる。そして、この計算を応用して、地震による地下トンネルでの被害について、断層レベルからのシミュレーションを行ったものが図4である。ここでは、地震に弱い地上への分岐地点を柔らかい地層中につくって

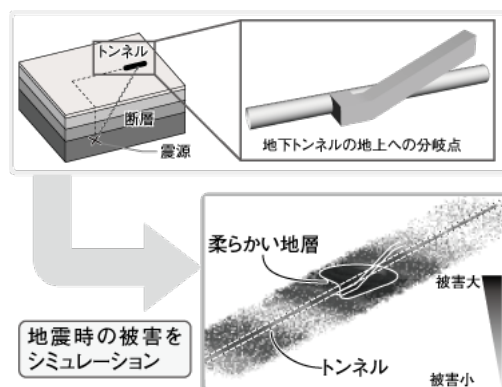


図4 地下構造物の震災シミュレーション

るため、その場所での被害が非常に大きくなっているのだ。これより、トンネルの地上への分岐地点は、硬い地層中につくる必要があるということが確認できる。

以上のように、市村研究室では、シミュレーションを用いた地震の研究を行っているが、それだけでは震災対策として十分ではない。確かに、大規模なシミュレーションに基づいた震災対策は精度を上げていくことで有効な手段になると考えられるが、過去の地震から得た統計的データに基づく震災対策も必要である。この方向性の異なる二つを生かしていけば、よりよい震災対策ができるようになるというのが市村先生の意見だ。

東南海地震、関東地震などの大規模な地震が近いうちに起こることが予想されている現在では、新たな震災対策を早急に立てることが求められている。人や建物の密集する都市で地震による被害を最小限に抑えるためにも、市村研究室で開発が進められている IES の今後に期待したい。

東工大での地震の研究は、グローバル COE に指定されています。グローバル COE とは大学院の教育研究機能を一層充実・強化して、国際的に卓越した教育研究拠点の形成を重点的に支援し、国際競争力のある大学づくりを推進することを目的とする文部科学省が行っている事業です。IES を含めた、東工大における地震の研究に対する期待が大きいということが分かります。

今回の取材で何ったさまざまなシミュレーションを統合するという話はとても興味深いものでした。

IES の研究は、大規模な地震が起きることが予想され、都市における震災対策が求められている現在において、まさに必要とされるものなのだと実感しました。

最後になりましたが、快く取材に応じてくださり、記事を書いていく上で多くの助言をして下さった市村先生に心よりお礼申し上げます。市村先生及び研究室の方々のより一層のご活躍をお祈り申し上げます。

(今岡 亮)