

建築物に求められる最適な耐震強度とは『地震シミュレーション』

活

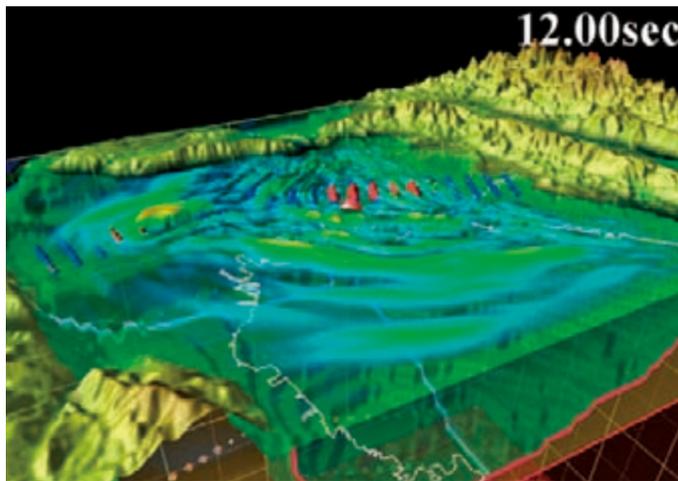
断層からの距離や地盤の状態などから、地震が発生した際の揺れの大きさをシミュレーションしているのが防災ソリューション部 地震工学室に所属する西條氏。活断層の位置や地盤の違いによって想定される揺れの大きさは異なるため、地点ごとに求められる耐震強度は異なるという。一般企業や建設会社などから寄せられる、耐震性についての必要な情報を提供するのが西條氏のミッションだ。

地形や地質をモデル化し、想定される最大震度を算出

クライアントから寄せられるのは「ある地区にマンション（工場）を建設したいので、適切な耐震強度を知りたい」といったオーダー。対象となる建築物の性質や対象地域に応じて最適なシミュレーション手法を選んで算出します。従来用いられてきた手法に加えて、最近私たちが積極的に取り組んでいる

手法を三つご紹介します。一つ目は『理論的方法』と呼ばれるもので、算出精度は高いのですが、必要となるパラメータは非常に多く、計算にも時間がかかります。活断層の特徴（長さ、深さ、すべり幅など）、地形の高低差、地質など

を100キロ四方、深さ50キロ程度をモデル化し、正方形（メッシュ）に区切った計算点を数十万〜数百万個設定します。このようにしてモデル化した領域内で、地震波が伝わっていく様子を時々刻々と計算するので、案件によっては計算に2〜3日かかることもあります。二つ目の『経験的グリーン関数法』は過去に起きた地震情報をもとにシミュレーションをする手法で、精度も高く簡易ですが、対象となる地域で地震観測の記録が取れていないと使用できないという制限があります。



地震動伝播のシミュレーション動画。大阪平野の地形モデル上を地震波が伝播している様子。

三つ目の『統計的グリーン関数法』は経験的グリーン関数法のデメリットをクリアするために作られた手法で、地震観測記録がない地点でも統計的処理でシミュレーションを行うというもの。仮定の情報が含まれるため、精度はやや落ちますが簡易なため最も利用される頻度が多い手法となっています。

二度と「想定外」と言わないために

地震学に関わる者として、社会に向けて地震の危険性を発信してきたつもりですが、東北地方太平洋沖地震では「自分自身の考えでもまだ甘かった」ということを痛感させられました。

地震シミュレーションに携わる私たちがこれから特に力を入れて取り組むべきことは、建築に携わる方たちへの情報発信だと考えています。理學系で地震学を専攻し、建築系の世界に入っている人はまだまだ少ない。「建築設計の際にどこまで地震の想定が必要なのか」、そして「地震にはまだわからないことがある」といったことを発信・周知させ、皆が安心して生活できる建築物づくりに貢献していきたいですね。



防災ソリューション部 地震工学室
神戸大学大学院 自然科学研究科
地球惑星科学専攻 修了
西條 裕介（さいじょう・ゆうすけ）

津

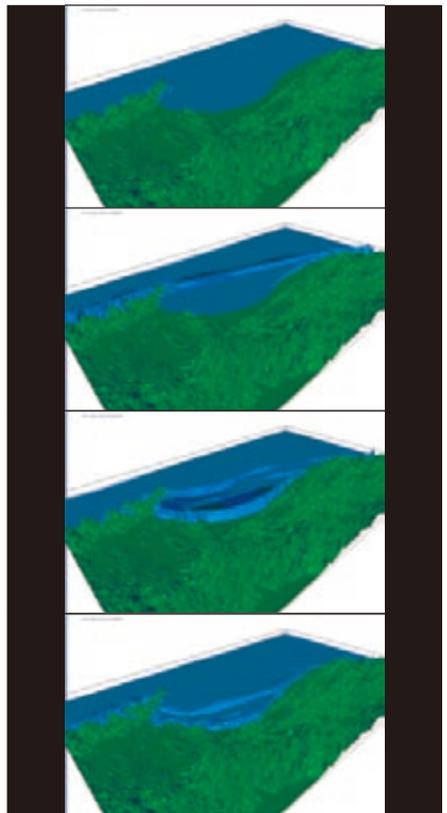
波があればほど圧倒的な破壊力を持つ自然災害だということを、一体どれほどの人が認識していただろうか。

東北地方太平洋沖地震では最大23メートルもの大津波が沿岸部を襲い、鉄筋コンクリートのビルすらなぎ倒した。地震の際、津波はどのような被害をもたらすのかという危機管理意識が高まっているという。地域住民や企業の安全を守るため、津波シミュレーションを手掛ける防災・環境部 地圏環境室の落合氏に話を聞いた。

見落とされていた津波のリスク

企業や自治体から寄せられる津波シミュレーションの依頼は、これまで年間数件程度でした。しかし、今年3月の震災によって発生した津波による甚大な被害を目の当たりにして、依頼は約10倍にまで急増しており、企業や自治体の津波に対するリスク管理意識の高まりを肌で感じています。

津波シミュレーションの難しさは、「どの程度の規模の地震を想定するか」という点にあります。実際はどのような地震が発生するかわからないのが現実です。それゆえ、「想定外があつてはなら



津波シミュレーション動画。3Dアニメーションで、どの地域にどれくらいの波が来るのが可視化できる。

津波の脅威を可視化する

『津波シミュレーション』

「ない」という意識から、考えられる複数のケースを想定し最悪の事態のシミュレーションを求めるクライアントが多いですね。

津波の高さ、速度、到達時間を算出

津波シミュレーションは算出プログラムに、地形、構造物、震源となる活断層の情報を入力することで、波の高さや速

されていたRC（鉄筋コンクリート）造ビルが、基礎ごと横転した事例が多数報告されています。現在、建築基準法は「地震」や「火事」の想定はされていますが、「津波」は対象となっていない。そのため、どの程度の強度の構造設計であれば、どこまでの波圧に耐えられるか、私たちがシミュレーションをする必要があるのです。

従来の津波対策はハード面（防波堤など）が中心となっていました。今回明らかになったようにハードに頼るにも限界があります。津波が来るリスクがあれば、まず逃げなければいけません。そのためにソフト面（避難誘導など）の一層の充実が求められており、当社でも津波シミュレーションと避難シミュレーションを組み合わせるなど、ソフトからの津波リスク軽減に力を入れています。

度、到達時間などを算出できます。特定の地域の詳細な被害情報を算出しようとすると、より細かな情報が求められるため、計算に時間がかかります。

最近増えている依頼としては、「津波に対する建築物の耐久性シミュレーション」です。つまり、どれくらいの高さ、強さ（波圧）の津波が衝突しても、建築物は耐えられるのかというシミュレーション。今回の震災では津波に強いといわれ、「津波避難ビル」に指定



防災・環境部 地圏環境室
神奈川大学大学院 工学研究科
建築学専攻 修士

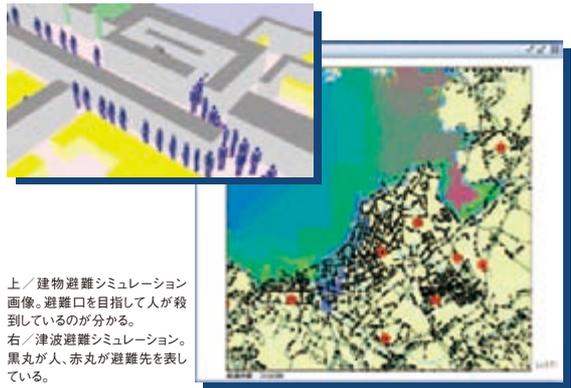
落合 努（おちあい・つとむ）

高層ビルで火災が起きたり、津波が街を襲ったりした際に、どういった経路で避難すればいいのだろうか。緊急時に全員が無秩序に行動すると効率的な避難ができないばかりか、最悪の場合「特定の通路に人が殺到して怪我人が出る」といった二次災害のリスクすらあるだろう。そのような場合に、私たちの最適な「避難」を支援するのが、創造工学部 社会シミュレーション室の志村氏が手掛ける「避難シミュレーション」だ。

「避難シミュレーション」

「避難シミュレーション」と一口に言っても豊富なバリエーションがあり、対象となるのは建築物の中なのか、街全体なのか、移動手段は徒歩なのか、車を使うのか、そして避難者は子どもなのか

「構造計画研究所」のほかの取り組みとして、先に取り上げた「知幹館」など、社内公募プロジェクトを募っている同社。今年の4月にも「社会に貢献するエンジニアリング」というテーマに「統計的解析による人工物の異常検知」「データマニングで人工物を観る」「電力使用量の削減とO&Lの維持を両立する電力制御システムの開発」、地域のチカラを活かす情報・流通プラットフォーム「リソースイチャ」などのプロジェクトが寄せられた。



上 / 建物避難シミュレーション画像。避難口を目指して人が殺到しているのが分かる。
右 / 津波避難シミュレーション。黒丸が人、赤丸が避難先を表している。

人間の意思の集合体から見出す「最適な避難ルート」 『避難シミュレーション』

施設・設備」の検討に加え、もう一段上の危機管理」や「より万全な防災対策の追求」を目指していることが多く、リスク管理に対して意識の高いクライアントが多いといえるでしょう。

人間の意思決定を支援する マルチエージェント・シミュレーション

避難シミュレーションのもととなるのは、複雑系シミュレーションを応用したマルチエージェント・シミュレーションというテクノロジーです。マルチエージェント・シミュレーションとは、「自らの価値基準に従って、行動を自由に選択できる自立的な要素が多数共存する環境下のシミュレーション」のこと。これは人間の意思決定を表現するのに適したシミュレーション手法で、そのほかの活用事例を挙げると、「施設・設備（電気自動車）のEVステーションなど」の最適な配置場所・件数の検討」や「金融商品の価格変動メカニズムの解明」などがあ

人間の意思決定はそれぞれの人の知識量や情報量によって大きく左右され、津波に関して言えば、「津波がどこまで来るか」を知っている人と知らない人では、避難行動に大きな差が出てきます。ですので、津波や河川氾濫であれば、動画などで可視化した津波シミュレーション情報の住民への周知・意識の共有は非常に重要なポイントといえるでしょう。

私たちのシミュレーション結果が地域における議論のきっかけとなり、多くの方の防災意識が高まることで、被害を最小限に抑えることにつながればと願っています。

大人なのか、といったさまざまな条件、状況について検証することができます。シミュレーションを通じて避難時間だけでなく、集団行動による潜在的なリスクが明らかになることもあります。そうした潜在的リスクを把握した上で、「避難誘導の必要性」や「避難に適した建築物の構造設計」について、クライアントとともに検討を重ねることもあります。近年の都市計画では、設計段階からそういった避難リスクにまで配慮するケースも少なくありません。避難シミュレーションを当社に依頼するクライアント（企業や自治体）は、「ハード（避難

ります。



創造工学部 社会シミュレーション室
早稲田大学大学院 先進理工学研究所
生命理工学専攻 修士
志村 泰知（しむら・たいち）