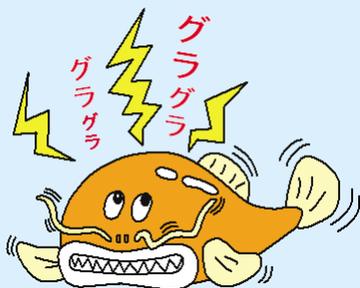
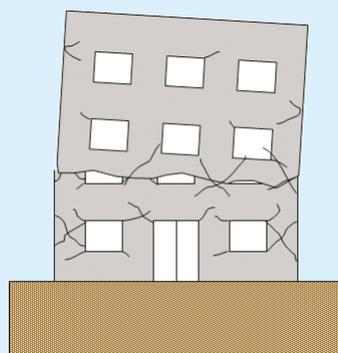
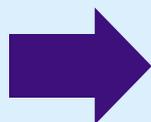


可能性は？



どの程度の確率で
構造物が損傷するか？

地震に対する建物の安全性を簡便に予測

建物の損傷確率を予測する手法を開発

簡便かつ精度のよい予測をめざす

合理的な予測は確率論的評価で

実規模の構造物で予測する

ひとこと 地球工学研究所 地震工学領域 上席研究員 大鳥 靖樹

簡便かつ精度のよい予測をめざす

1995年の兵庫県南部地震以降、わが国では地震による建造物の損傷を防ぐ目的で、新規建造物への免震・制震構造の採用や、既存建造物への制震装置による補強が多数行われるようになってきました。またその一方では、これらの耐震策を決断する際の事前の地震による被災度の予測と、その対策への費用対効果を把握することが求められています。

電力中央研究所では、こうしたニーズに応えるため、建物が地震によって被害を受ける確率がどの位なのかを、簡便かつ精度よく予測できる手法を新たに開発し、予測の精度を検証することができました。ある地点における地震の揺れ（地震動）の構成要素（図1）として、従来の「周波数」と「振幅」に加え、これまであまり考慮されてきませんでした地震の揺れ始めから終息までに建造物に加わる「地震動のエネルギー」をも統計的にモデル化しました。そしてこれらを用いて建造物の損傷度合いを確率論的に予測することにより、これまで非常に多くの計算を要していた予測が、1回もしくは数回の計算で済むようになりました。また、地震動エネルギーの把握が鍵を握ると言われる長周期地震動などへの対応も可能になりました。

安全性確認のための2大手法

地震に対する建造物の安全性を確認する方法には、主に以下の2タイプがあります。

(1) 確定的に予測する手法

過去に起こった著名な地震に対して、建造物が耐え得るか否かを「耐える、または耐えない」と確定的に予測する手法

(2) 確率的に予測する手法

将来起こり得る地震の規模、パターンを特定せずに、付近に存在する断層やその地方の過去の地震記録などを統計的にモデル化して1年間に建造物が損傷する度合いを確率（％）で予測する手法

確定論的予測手法

長所	<ul style="list-style-type: none"> 過去の地震規模などとの比較のため、イメージしやすい。 過去の地震データをもとに、何パターンもの計算を行うため、子細な検討ができる。
短所	<ul style="list-style-type: none"> 過去の地震との比較に限定するため、不確実性が考慮できない。 地震発生確率を考慮していない。 対策の程度によるリスク比較などの検討が行えない。

確率論的予測手法

長所	<ul style="list-style-type: none"> 将来起こり得る地震の規模などを限定しないため、不確実性が考慮できる。 地震発生確率を考慮できる。 リスク比較などの検討が行える。 簡便な予測が可能。
短所	<ul style="list-style-type: none"> 過去の地震との比較ではないため、想像や理解がしづらい。 精度が悪いと、非現実的な予測になる。 確率予測につき、子細な検討には向かない。

表1. 建造物の耐震性を予測する2大手法の特徴

確定論的予測方法の限界

確定論的な手法は、一見して分りやすく、世の中に受け入れやすいものと思われ勝ちですが、将来起こる地震が、過去の地震と同じであると限りません。また、地震動の性質は、例え揺れの大きさが同じであっても周波数、振幅、地震のエネルギー量は、人間の外見や性格同様に地震によって異なります。このため、確定論的手法で予測の精度を上げるには、一般には過去に実在した地震動の諸データをもとに、その都度、様々なパターンについて数限りなく何通りもの計算を行う必要があります。

地震動の3要素

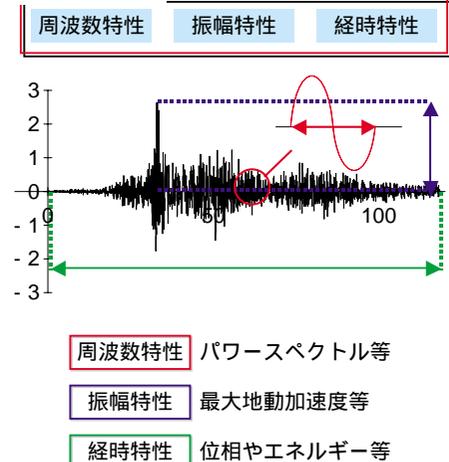


図1. 地震動の3要素

合理的な予測は確率論的評価で

今回開発した評価手法

当所が今回開発した確率論的な評価手法（以下「本手法」という）は、いかなる地震に対しても手間やコストをかけずに精度よく構造物の損傷リスクを確率で予測することを可能にしたもので、以下にその概略を紹介します（図2）

- (1) 対象とする地域において、一定期間内に発生が予想される平均的な「地震動」を付近の断層形状や過去の地震記録をもとに求めます。
- (2) 平均的地震動の構成要素である周波数、振幅、エネルギーなどの特性をもとに極力、平均的地震動のパターンに近い最適パラメータを生物の優性遺伝の過程を真似た手順により抽出し損傷度解析用の「模擬地震動」を作ります。
- (3) 模擬地震動により対象構造物が「損傷する確率」を確率微分方程式を解いて求める「確率論的応答評価手法」により算出します。
- (4) 次に対象地点で一年間にどの程度の大きさの揺れが起こるかを、当所が独自に構築した全国各地点ごとの「地震動規模別、地震発生頻度データベース」に照らして特定します。
- (5) 上記で特定した「地震発生頻度」値と、上記(3)で求めた構造物の「損傷確率」値とを掛け合わせて合計することにより、対象構造物が年間に損傷する確率を求めます。

開発した評価方法の精度を検証

本手法の核となっている当所が開発した「確率論的応答評価手法」は、実規模の構造物にも適用し得る確率予測法としては世界的にも比類のない実用的解法であります。その機能についての検証を行いました。

立地条件、構造物ともに同一の予測評価対象に対して、当所が今回開発した「確率論的応答評価手法」と、従前から地震への応答計算に用いられている「確定論的応答評価手法」との精度の比較を行ってみました。

その結果、地震パターンの違う10,000回の確定論的評価シミュレーション計算結果と、1回のみの確率論的応答評価シミュレーション計算結果とでは、ほぼ同様の予測解が得られることが判りました。

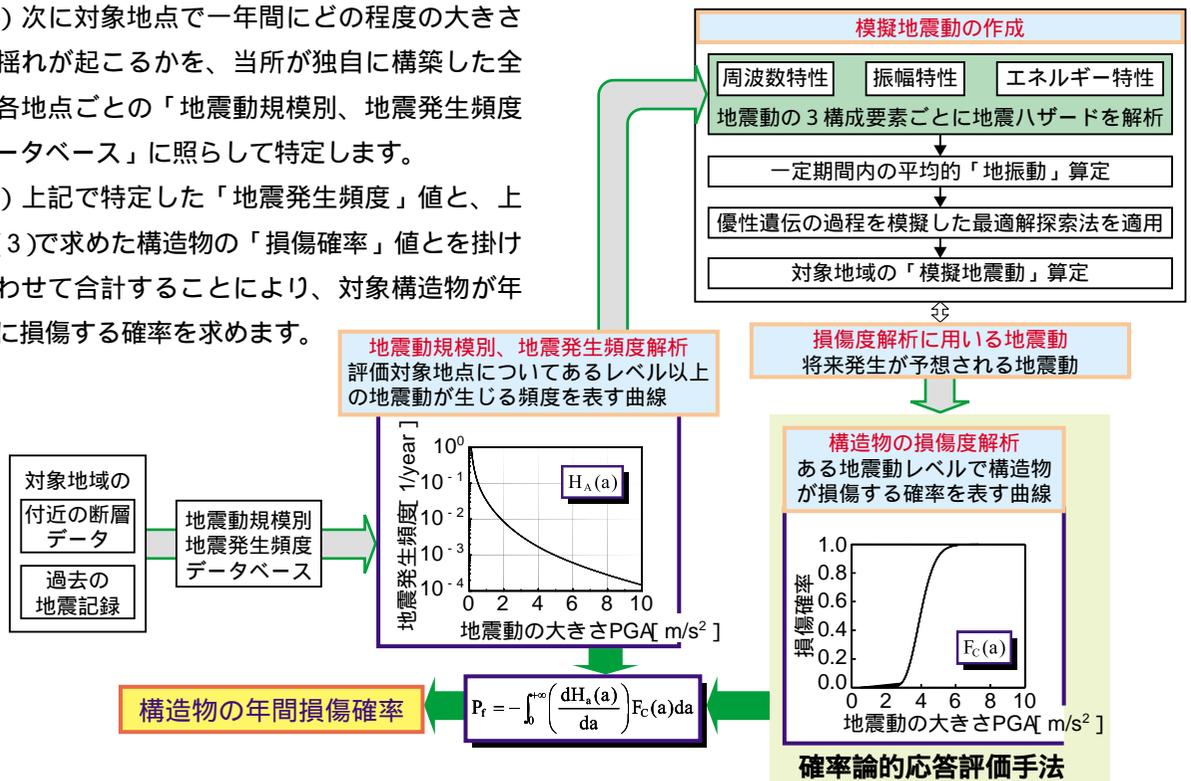


図2. 今回開発した確率論的な評価手法（構造物の年間損傷確率算出）の概要

実規模の構造物で予測する

開発した評価手法の適用事例

本手法を用いて、仙台、東京、新潟、静岡の4地域を対象にした模擬地震動を作成した結果、事前の解析で特定した平均的地震動のパターン(目標値)と、算出した模擬地震動(解析値)とが、よく合致することが判りました(図3)。

そして、この模擬地震動を4地域の制震装置(粘性体で揺れの力を吸収するダンパー)を設置した実構造物に適用し、計算した結果、4地域の中では大きな地震の発生する確率の高い静岡地域が最もダンパー設置効果(構造物の損傷確率削減効果)が高いことが判りました(図4)。

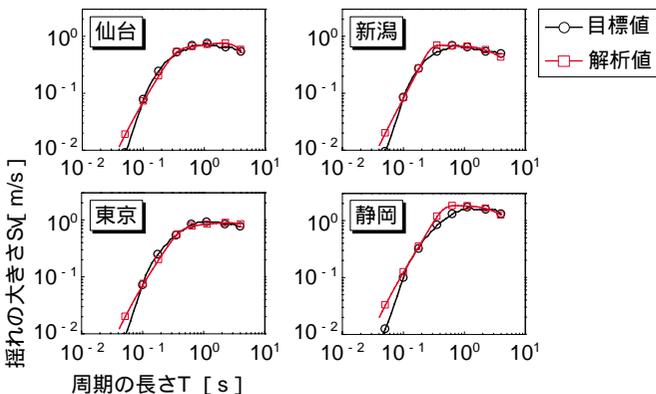


図3. 計算の合致度

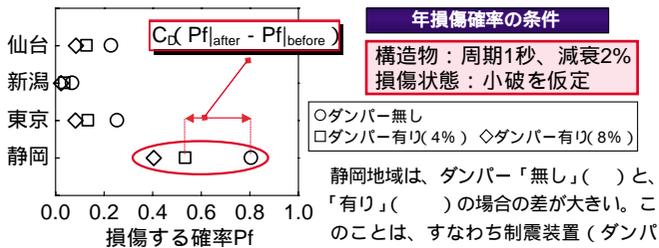


図4. 年損傷確率の比較

本手法の今後の展開

天気予報の分野では、以前には「明日の天気は、晴れ(または雨)」といった確定的な予報に終始していましたが、今日では「降水確率は何パーセント」といった確率による予報も付加されるようになってきています。

その一方で、地震に対する安全性や耐震補強策の是非の判断は、まだまだ確定的に行うことが主流となっているのが実情です。しかし、経営的な視点からみると、構造物が被害を受ける確率を把握して耐震対策の是非をリスクやコストの観点から判断していくことが、今後は必要になってくると予想されます。また、確定論的な判断を確率論的な観点から支援していくことは十分に意義あることであり、今後はこうした面からも広く役立つよう研究を推進していきます。

ひとこと



地球工学研究所
地震工学領域
上席研究員
大鳥 靖樹

今回提案の手法のコアである確率論的応答評価手法は、米国留学中に開発した非線形確率微分方程式の解法がベースになっています。欧米諸国では、確率に基づく判断に抵抗が少なく、当所が開発した上記のコアの手法も、世界的に権威のある米国学術誌に掲載されました。しかし、我が国ではまだまだ「シロ、クロ」の確定的判断が主流です。

我が国でも確率論的手法の良さが理解され、広く利用されることを期待しています。

既刊「電中研ニュース」ご案内

- No.439 エネルギーの「質」から、将来の石油代替エネルギーを考える
- No.438 電力システムの安定性をリアルタイムで判定

- No.437 安全で高性能な電力貯蔵用電池を作る
- No.436 25年間の世界の気候を精緻に再現