

審査の結果の要旨

氏名 王 敏
Wang Min

地震のリスク評価にはハザード評価、脆弱性評価、損失評価など 3 つの要素に分けられることができ、その中でも地震動予測は地震リスク評価に欠かせない重要な要素である。このような背景を踏まえて、王敏君は、従来から採用されている地震動の予測方法を大幅に改善し、地震動に対して適切な評価を行い、新たな観点から地震によるリスク評価を行う基盤を構築した。なお、この研究が実施可能となったのは、近年の地震観測網の拡大と、大量の観測データが蓄積かつ公表されるようになったからに他ならない。

まず、地震リスク評価は、次に示す 3 つのケースに分類できる。①特定サイトにおける単一建物の地震リスク評価、②特定サイトにおける複数建物の地震リスク評価、③複数サイトにおける複数建物の地震リスク評価(ただし、各サイトの単一建物を前提とする)。過去より地震動評価には、地震動距離減衰式が幅広く採用されている。その理由は、距離減衰式から得られた地震動の中央値とばらつきを確率論的ハザード評価に容易に取り込むことができる利点があるからである。しかし、上記に定義したように、地震リスク評価における基本ケースが異なると、必要情報量も異なり、既往手法では取り扱うことが不可能となる場合がある。本論では地震のリスク評価におけるこれらの 3 つの基本ケースに着目して、既往の地震動予測方法を改良し、これらの組合せを用いて更に複雑な地震リスク評価を実現させる基盤を築いている。

第 1 章では本論の研究背景・目的を明確にした上で、既往関連研究調査を行った。第 2 章では本論で使用する専門用語を定義する。中でも、不確定性に関わる重要な用語があることが紹介された。不確定性には、偶然的な不確定性と認識論的な不確定性があり、後者はさらにモデル不確定性と統計的不確定性に分類される。第 3 章ではベイズ予測方法論を紹介した。情報量が少ない場合に有効となるベイズ予測手法の基本についてレビューしている。第 4 章では地震動の特徴について述べている。地震動の特性には 3 つの影響因子、すなわち震源、伝播経路、サイト特性がある。各影響因子は非常に複雑なため、それに対するモデル化は現在においても研究途上である。ここでは、2 種類の地震動の予測方法—すなわち理論的方法と経験的方法—を簡単に紹介した後に、経験的な

距離減衰式の構築プロセスに基づいて経験的な予測方法の限界について考察している。

第 5 章では地震動のリスク評価における第 1 の基本ケース、つまり特定サイトにおける単一建物の地震リスク評価法を提案している。本論では、評価サイトに対する地震動予測はそのサイト固有の距離減衰式に基づいて行う。サイト固有の距離減衰式を構築する際には、既往の距離減衰式を基にして、新たな修正項を追加して既往の距離減衰式の予測偏差を無くし、その不確定性と評価サイトの観測データとの調和を実現している。この修正項は地震マグニチュードと距離の関数として表し、未知パラメータはベイズ更新方法を用いて観測データから推定する方法を提案した。この方法の利点として①地震動に対する主観的な事前情報(例えば、地震学、地質学的な知識や工学的判断など)と観測データを同時に考慮することができる。②パラメータの不確定性を説明することができる。つまり、全不確定性を評価する際に、データが限られたことによる統計的不確定性が考慮できる。③地震動の予測分布を算出する際に、未知パラメータを点推定するのではなく可能な範囲で積分している。④修正項は地震マグニチュードと距離の関数であるため、予測の不確定性は震度と距離によって変化する。また不確定性の評価にデータ数を反映することができ、データが多ければその予測精度も高まる効果が表現されている。つまり、大地震かつ近距離の観測データが非常に不足している領域では、予測精度は中地震かつ中等距離の地震による地震動の予測精度より低いことが表現できる利点がある。

第 6 章では地震動のリスク評価における第 2 の基本ケース、つまり特定サイトにおける複数建物の地震リスク評価について検討している。この場合、複数建物が受ける異なる地震動の同時確率分布を評価する必要がある。ここで評価する地震動指標は異なる建物の加速度応答スペクトルである。地震動の同時条件確率分布が対数正規分布であると仮定すると、既往の距離減衰式が評価している地震動の中央値とばらつき以外に地震動指標間の相関係数を評価する必要がある。この点については、以下のように理解することができる。異なる建物の応答は違うが、同じサイトにある限り、受ける地震動は同じであるために、弾性応答加速度スペクトルを採用してもその応答値間に相関関係は存在すると考えられる。

第 7 章では地震動のリスク評価における第 3 の基本ケース、つまり複数サイトにおける複数建物の地震リスク評価について検討している。第 2 のケースと同じく、複数建物が受ける異なる地震動の同時確率分布を評価する必要があり、地動最大加速度、地動最大速度、応答スペクトル値の空間相関モデルを構築した。この相関モデルは指数関数形式を採用している。その変数は両地点の相対

距離である。モデルの中で唯一のパラメータは相関距離であり、26 の地震で観測したデータから得られている。異なる減衰距離式および地震動成分に対して分析しても相関距離は 10~30km 範囲に収まることがわかった。これらは、空間的に離れた複数建物を対象とするポートフォリオ解析に有効に応用可能である。

最後に、第 8 章では本論のまとめ及び耐震設計などの領域における応用分野と今後の研究について述べた。本論で提案する 3 種の地震動予測の改善方法は 3 種のケースの地震リスク評価と対応しており、これら 3 つの方法は独立な方法ではなく、これらの方法を組み合わせることで更に複雑な地震リスク評価ができる。最後に、既往の距離減衰式の利点を十分尊重しつつ、より新しい地震動予測手法を展開した所に、本研究の新しさと、将来への発展可能性があると言える。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。