

地震波伝播経路特性を考慮した 広域地震動分布予測手法の開発とその応用

学位論文内容の要旨

想定される地震に関する広域地震動分布は都市防災の重要な基礎資料となる。広域の地震動分布を簡便に予測し、または観測値を検討するに際して、地震動の距離減衰式が用いられることが多い。距離による減衰式はこれまで多く作成されてきており、近年では、震源深さや地震タイプを考慮し、震源近傍までも予測可能な減衰式導出に関しての提案も見られる。距離減衰式は、地下構造を均一と仮定し、震央・震源距離、もしくは断層からの最短距離と幾つかのパラメータを用いて統計的に求める方法が主であり、距離減衰式を用いた地震動分布予測は断層を考慮しない限り同心円となる。しかし観測される広域地震動分布は同心円になることは無い。ある地点で観測される地震動は、震源特性と伝播経路特性と観測点の地盤増幅特性に依っている。特に、広域地震動分布においては、地殻構造の地震波減衰特性の違いに大きく影響を受け、観測される地震動分布が同心円となることは希である。広域の地震動分布に影響する地殻構造として、東北日本弧においては沈み込む太平洋プレートの影響が大きいことが定性的に示唆されており、また、火山フロントの影響としても指摘されてきた。本論で提案する手法は地震波減衰特性が伝播経路により異なることを踏まえ、その影響を反映させ、簡便に広域地震動分布を高精度に予測可能としたものである。

本論文では、広域地震動分布に対する、プレートの沈み込み構造、火山フロントの影響を定量的に把握することで、広域で簡便かつ高精度な地震動分布を予測する手法を構築した。さらに、構築した予測手法をもとに、広域での被害予測を行い、従来法との違いを議論した。

最初に、太平洋プレートの沈み込み構造を基に、プレート上面を境界とした2層構造で地震波伝播経路を求め、各層内の伝播経路を用いて観測された広域地震動分布の解析を行い、予測手法の構築を行う。次に、予測手法の簡便化及び観測結果の比較検討を容易に行うための方策として、火山フロントを利用した予測手法へ発展するべく、震源距離の火山フロントの前弧側と背弧側の距離を分離して、観測された広域地震動分布の解析を行った。以上により得られる予測手法を基に、表層地盤の影響を議論した。距離減衰式を基に、同様に国土数値情報等の表層地質区分で補正する手法が近年多用されるが、地震波減衰構造を考慮せずに補正項を求めることは、大きな誤差が補正項に含まれることになる。減衰構造を考慮した本手法に補正項を導入することで、精度のより高い予測手法の構築が可能となった。さらに得られた予測手法から想定される地震時の被害評価を、作成した被害率関数を用いて行うことで、従来法との算定被害量の違いを議論した。

本論文は5章から構成されており、各章の概要は以下の通りである。

第1章では、これまでの広域地震動分布予測に関する研究を概観し、その問題点を指摘し、本研究の目的・意義を明らかにした。加えて、本論文の構成について述べた。

第2章では、広域地震動分布に現れる、地震波の伝播経路の影響による異常震域に関して言及した。特に、北海道東北地方で顕著に現れる異常震域に関し、3章以降でのモデル化の前提となる、太平洋プレート構造の沈み込み、火山フロントの影響に関して定性的に言及した。加えて、異常震域の予測手法の重要性を都市防災の観点から述べた。

第3章では、定性的に地震波の減衰が小さいと指摘される太平洋プレート内と、減衰が大きいと指摘されるプレートより上部の減衰性状を広域地震動分布の影響から定量的に把握するため、それぞれの地震波伝播経路を求め、減衰性状を検討した。地震波の伝播経路を求める構造は、既往の文献に基づき太平洋プレート上面を境界とした2層の速度構造でモデル化し、そのモデルを用いて伝播経路を求める。伝播経路の求め方は、簡単に速度構造の異なる2層構造の境界面で波線がスネルの法則に従うものとし、各層内での直線経路を求めた。各構造内での減衰係数を、震度を目的変数とし、得られた各経路を説明変数とした重回帰分析により得た。その結果、プレート内で外部と比較し著しく地震波の減衰性が低いことが明らかとなった。加えて、得られた回帰係数を用いることで予測が可能となった。

第4章では、第3章の手法をさらに簡便な形に発展させ、地震波伝播経路を求めることなく、広域地震動分布の予測を精度良く行う事を目的とし、火山フロントで分離される震源距離を用いて、火山フロント前弧側と背弧側での地震波減衰特性を議論した。第2章で言及した通り、前弧側と背弧側での減衰性状の違いに加え、火山フロントの位置は太平洋プレートの上面の等深度線とほぼ並行であり、第3章で明らかにしたプレート構造の広域地震動分布の影響をも簡便に考慮することが可能である。背弧側と前弧側のそれぞれの距離を説明変数とし、第3章と同様の重回帰分析を行うことで、それぞれの減衰性状に相当する回帰係数を求めた。その結果、前弧側での減衰が背弧側での減衰と比較し、非常に小さいことが定量的に明らかとなった。得られた回帰係数を用いて、予測が可能となり、加えて第3章での手法では困難であった、観測値との比較が従来の距離減衰式と同様に可能となった。

第5章では、予測手法の検証として、これまでに得られた観測記録と予測値を比較し、手法の適用性に関する議論を行った。これまでの距離減衰式では地盤による増幅特性と理由づけられてきた、予測値と観測値との残差を、本手法では、減衰構造による影響を除外してより詳細に議論することが出来た。次に、建物の地震被害の破壊形式に着目し、現状の被害尺度より高分解能の尺度で被害を記述することを提案した。構築した広域地震動予測手法を基に、算定される被害率から予測値の精度を議論した。その結果、想定地震等の本手法による予測結果が、行政等の地震防災に重要な情報を提供できる可能性があることが指摘できた。

第6章は、総括であり、各章における成果とさらなる精度向上への課題を述べまとめとしている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 鏡 味 洋 史
副 査 教 授 石 山 祐 二
副 査 教 授 城 攻
副 査 教 授 岡 田 成 幸

(名古屋工業大学大学院工学研究科)

学 位 論 文 題 名

地震波伝播経路特性を考慮した

広域地震動分布予測手法の開発とその応用

広域の地震動分布について、観測値を評価したり予測をしたりする際、地震動の距離減衰式が用いられることが多い。距離減衰式を用いた地震動分布予測は断層の拡がりやを考慮しない限り同心円となるが、広域地震動分布においては、地殻構造の地震波減衰特性の違いに大きく影響され、観測される地震動分布が同心円となることはむしろ希である。このことは定性的によく理解されているが、統一的な予測式構築には至っていない。本論文では、広域地震動分布に対する、プレートの沈み込み構造、火山フロントの影響を定量的に把握することで、広域で簡便かつ高精度な地震動分布を予測する手法の構築を行っている。さらに、構築した予測手法をもとに、広域での被害予測に適用し、従来法との比較から有効性を確かめている。

本論文は5章から構成されており、各章の概要は以下の通りである。

第1章では、これまでの広域地震動分布予測に関する研究を概観し、その問題点を指摘し、本研究の目的・意義を明らかにしている。加えて、本論文の構成について述べている。

第2章では、広域地震動分布に現れる、地震波の伝播経路の影響による異常震域に関して言及している。特に、北海道・東北地方で顕著に現れる異常震域に関し、3章以降でのモデル化の前提となる、太平洋プレート構造の沈み込み、火山フロントの影響に関して定性的に言及し、異常震域の予測手法の重要性を都市防災の観点から述べている。

第3章では、定性的に地震波の減衰が小さいと指摘される太平洋プレート内と、減衰が大きいと指摘されるプレートより上部の減衰性状を広域地震動分布の影響から定量的に把握するため、それぞれの地震波伝播経路を求め、減衰性状を検討している。地震波の伝播経路を求める構造は、既往の文献に基づき太平洋プレート上面を境界とした2層の速度構造でモデル化し、そのモデルを用いてスネルの法則に従い伝播経路を求めている。各構造内での減衰係数を、震度を目的変数とし、得られた各経路を説明変数とした重回帰分析により得ている。その結果、プレート内で外

部と比較し著しく地震波の減衰性が低いことを明らかにし、得られた回帰係数を用いることで予測が可能な式を構成している。

第4章では、第3章の手法をさらに簡便な形に発展させ、地震波伝播経路を求めることなく、広域地震動分布の予測を精度良く行う事を目的とし、火山フロントで分離される震源距離を用いて、火山フロント前弧側と背弧側での地震波減衰特性を議論している。第2章で言及した、前弧側と背弧側での減衰性状の違いに加え、火山フロントの位置は太平洋プレートの上面の等深度線とほぼ並行であり、第3章で明らかにしたプレート構造の広域地震動分布の影響をも簡便に考慮することが可能であるとしている。背弧側と前弧側のそれぞれの距離を説明変数とし、第3章と同様の重回帰分析を行うことで、それぞれの減衰性状に相当する回帰係数を求め、新たな予測式を提案している。さらに、この式により第3章での手法では困難であった、観測値との比較が従来の距離減衰式と同様に可能となったことを示している。

第5章では、表層地盤の影響を議論し、表層地盤による補正項を導出し、第3、4章で構築した手法をさらに高精度化している。予測手法の検証として、これまでに得られた観測記録と予測値を比較し、手法の適用性についての議論を行っている。これまでの距離減衰式では予測値と観測値との残差を、一括して地盤による増幅特性としていたが、本手法では、減衰構造による影響を除外していることから、より明快に地盤増幅特性を分離して扱えることを示している。次に、広域地震動分布を利用した建物被害予測手法を展開している。まず、建物の地震被害の破壊形式に着目し、現状の被害尺度より高分解能の尺度で被害を記述することを提案している。次いで、構築した広域地震動予測手法を基に、算定される被害率から予測値の精度を議論している。その結果、想定地震等に対する本手法による予測結果が、行政等の地震防災に有効な情報を提供できることを具体的に示している。

第6章は、総括であり、各章における成果とさらなる精度向上への課題を述べまとめとしている。

これを要するに、著者は、広域地震動分布について地震波伝播経路特性を考慮することで高精度かつ簡便な予測手法の開発を行ったものであり、地震工学、地震防災学に対して貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。