

博士学位論文

(内容の要旨及び論文審査の結果の要旨)

Kurahashi Susumu

氏名 倉橋 奨
学位の種類 博士 (工学)
学位記番号 博 甲 第 25 号
学位授与 平成20年2月28日
学位授与条件 学位規程第3条第3項該当
論文題目 経験的なサイト特性および震源特性を用いた高精度強震動予測手法の開発
(Development of method for predicting high accuracy strong ground motions using empirical site and source characteristics)
論文審査委員 (主査) 教授 正木和明¹ 教授 入倉孝次郎²
教授 青木徹彦¹ 教授 四俵正俊¹

論文内容の要旨

経験的なサイト特性および震源特性を用いた高精度強震動予測手法の開発
(Development of method for predicting high accuracy strong ground motions using empirical site and source characteristics)

本研究は、大地震による被害の軽減を目的として、経験的なサイト特性および震源特性を用いた高精度地震動予測手法を開発したものである。地震被害を軽減させるためには、対象地点における揺れを高精度に予測することが重要である。特に、構造物の耐震性の評価に用いられる時刻歴応答は、入力地震動により異なることから、対象地点において想定される入力地震動の時刻歴波形の作成が不可欠となる。一方で、地震動の特性は、震源特性・伝播経路特性・サイト特性により表現されることから、この3つの特性の予測精度を上げることにより高精度な強震動の予測が可能となる。

本研究では、伝播経路特性とサイト特性に関しては、両特性を含む経験的なサイト特性を用いた。従来、サイト特性は振幅特性のみに注目されていたが、本研究では、位相特性も含むサイト特性の評価手法を提案した。震源特性に関しては、断層運動を取り入れた手法を用いた。能登半島地震と新潟県中越沖地震でこの手法の検討を行い、その有効性を確認した。最後に、ここで開発した手法を用いて、産業集積地域である東海地方において地震被害が危惧される東南海地震と猿投一高浜断層帯の地震の強震動評価を行った。

本論文は6章からなり、以下に各章ごとの概要を述

べる。

第1章では、研究の背景と目的、既往の研究について述べている。

第2章では、フーリエ変換による振幅・位相特性の経験的なサイト特性の評価手法の提案と検証を行った。本研究で提案する手法の特徴は、観測された地震動から推定されるサイト特性には、地震動に共通なものとは共通しないノイズが含まれると仮定し、いくつかの地震動から推定されるサイト特性を足し合わせることで、観測された地震動に共通する位相特性を含んだサイト特性を抽出することにある。ここでは、この手法の有効性を検証するためにテスト解析を行い、位相特性を保存するためには、観測されたサイト特性を複素数平面上で算術平均しなければならないことを明らかにした。

次に、実記録においてその適用性の検証を行った。2003年十勝沖地震が観測された地点でこの手法を適用した結果、観測点ごとに振幅や継続時間、パルスが異なったサイト特性を評価でき、この手法が適用できることを示した。さらに、推定されたサイト特性を含んだ小地震を作成し、2003年十勝沖地震の震源特性に基づいた本震の強震動予測を試みた。その結果、計算波形は観測波の振幅やパルスの特徴などが再現されており、この手法の有効性を示した。

第3章では、断層運動を取り入れた手法の有効性を検証した。地震における断層のすべり量は、断層面に一様ではなく、不均質であることが知られている。また、すべり量の大きい場所(アスペリティ)と強震動が生成される場所(強震動生成域)とは近似することも示されている。ここでは、2007年能登半島地震でも上記の関係性が適用可能であるかを検証するため、経験的なグリーン関数法を用いて0.2~10Hzの広帯域における強震動生成域を推定した。本研究では、グリーン

1 愛知工業大学 工学部 都市環境学科 (豊田市)

2 愛知工業大学 地域防災研究センター (豊田市)

関数として採用できる小地震を観測地点ごとに評価・選択することで、高精度な計算波形の評価を試みている。その結果、観測波形の振幅やパルスなどを再現された計算波形が評価された。また、本震の強震動生成域は、震源インバージョンで評価されているすべり量分布の位置と整合していることを明らかにした。これは、アスペリティと強震動生成域が同じであることを示唆しており、既往の研究結果と調和的であることを示した。

第4章では、第3章と同様に経験的グリーン関数法により、2007年新潟県中越沖地震の強震動生成域を推定し、断層運動を取り入れた手法の有効性を検証した。この地震は、広域で得られた最大加速度は経験的な距離減衰式と整合しており、同規模の地震の中でも平均的なものであることが知られている。しかしながら、震源近傍である柏崎刈羽原子力発電所内の最大加速度は、距離減衰式より推定される最大加速度より大きいことが注目された。その原因として、震源特性、伝播経路特性、サイト特性それぞれにおける特性の影響が考えられる。本研究では、用いた経験的グリーン関数法は、使用される余震と本震の伝播経路特性とサイト特性が同様と仮定されることから、震源特性による影響が評価される。その結果、本震の強震動生成域は3つ存在し、この強震動生成域のひとつは柏崎刈羽原子力発電所の近くに存在することを明らかにした。また、この強震動生成域から柏崎刈羽へのS波放射特性から評価された振幅の関係と観測記録の振幅の関係は調和的であり、本研究で構築した強震動生成域の妥当性を示した。ここで評価した強震動生成域の大きさは、既往の研究で示されている地震モーメントとアスペリティの面積との関係と調和的であり、本震が過去の地震と比較して平均的なものであったことを示した。

第5章では、以上の検討を踏まえて、強震動予測の対象とした愛知県内の地震観測点において、位相特性を含めた経験的なサイト特性を考慮し、断層運動を取り入れた震源モデルを用いて、南海地震および猿投一高浜断層帯地震の強震動予測を行った。ただし、南海地震については、中央防災会議の震源モデルを、猿投高浜断層帯地震は強震動予測レシピにより構築したものをを用いた。本研究で開発した手法により、各対象地点において高精度な時刻歴波形を予測し、この地域の強震動特性を明らかにした。

第6章は以上の結論である。

論文審査結果の要旨

倉橋奨氏提出の論文「経験的なサイト特性および震源特性を用いた高精度強震動予測手法の開発」は、地震被害の軽減を目的として経験的なサイト特性および震源特性を用いた高精度地震動予測手法を開発したものである。地震被害を軽減させるためには、対象地点における揺れを高精度に予測することが重要であるが、特に、構造物の耐震性の評価に用いる時刻歴応答は、入力地震動により異なることから、対象地点において想定される入力地震動の時刻歴波形の作成が不可欠となる。一方で、地震動の特性は震源特性・伝播経路特性・サイト特性により表現されることから、

この3つの特性の予測精度を上げることにより高精度な強震動の予測が可能となる。

本論文は、伝播経路特性とサイト特性に関しては、両特性を含む経験的サイト特性を用いている。従来、サイト特性は振幅特性のみに注目されていたが、本論文では、位相特性も含むサイト特性の評価手法を提案している点に特徴がある。震源特性に関しては断層運動を取り入れた手法を用いている。能登半島地震と新潟県中越沖地震でこの手法の有効性を確認している。最後に、本論文で開発した手法を用いて産業集積地域である東海地方において地震被害が危惧される南海地震と猿投一高浜断層帯の地震の強震動評価を行っている。

本論文は6章からなり、以下に各章ごとの概要を述べている。

第1章では、研究の背景と目的、既往の研究について述べている。

第2章では、フーリエ変換による振幅・位相特性の経験的なサイト特性の評価手法の提案と検証を行っている。観測された地震動から推定されるサイト特性には地震動に共通なものとは共通しないノイズが含まれると仮定し、いくつかの地震動から推定されるサイト特性を足し合わせることで観測された地震動に共通する位相特性を含んだサイト特性を抽出できることを明らかにしている。さらに、この手法の有効性を検証するためにテスト解析を行い、位相特性を保存するためには、観測されたサイト特性を複素数平面上で算術平均しなければならないことを証明している。

次に、2003年十勝沖地震の実記録を用いて、観測点ごとに振幅や継続時間、パルスが異なったサイト特性を評価できることを確認している。さらに、推定されたサイト特性を含んだ小地震を作成し、震源特性に基づいた本震の強震動予測を行い、この手法の有効性を明らかにしている。

第3章では、断層運動を取り入れた手法の有効性を検証している。経験的グリーン関数法を用いて0.2~10Hzの広帯域における2007年能登半島地震の強震動生成域を推定している。本論文ではグリーン関数として採用できる小地震を観測点ごとに評価・選択することにより高精度な予測が可能であることを、観測波形の振幅やパルスなどを再現して証明している。また、本震の強震動生成域は震源インバージョンで求められたすべり量分布の位置と整合していることから、アスペリティと強震動生成域が同じであることを示している。

第4章では、第3章と同様に経験的グリーン関数法により、2007年新潟県中越沖地震の強震動生成域を推定し、断層運動を取り入れた手法の有効性を検証している。この地震は同規模の地震の中でも平均的なものであることが知られている。しかしながら、震源近傍である柏崎刈羽原子力発電所内の最大加速度は、距離減衰式より推定される最大加速度より大きく、その原因として、震源特性、伝播経路特性、サイト特性それぞれにおける特性の影響が考えられる。本論文では、用いた経験的グリーン関数法は使用される余震と本震の伝播経路特性とサイト特性が同様と仮定し、震源特性による影響を評価している。その結果、本震の強震動生成域は3つ存在し、そのひとつは柏崎刈羽原子力

発電所の近くに存在することを明らかにしている。また、S波放射特性から算定される柏崎刈羽における地震動振幅と観測記録振幅との関係は調和的であり、本研究で構築した強震動生成域の妥当性を確認している。評価した強震動生成域の大きさは、既往の研究で示されている地震モーメントとアスペリティの面積との関係と調和的であり、本震が過去の地震と比較して平均的なものであったことを明らかにしている。

第5章では、以上の検討を踏まえて、強震動予測の対象とした愛知県内の地震観測点において、位相特性を含めた経験的なサイト特性を考慮し、断層運動を取り入れた震源モデルを用いて、東南海地震および猿投一高浜断層帯地震の強震動予測を行っている。ただし、東南海地震については、中央防災会議の震源モデルを、猿投高浜断層帯地震は強震動予測レシピにより構築したものをを用いている。

本研究で開発した手法により、各対象地点において高精度な時刻歴波形を予測し、この地域の強震動特性を明らかにしている。

第6章は以上の結論を述べている。

以上のように本論文は経験的なサイト特性および震源特性を用いた高精度強震動予測手法を開発したものであり、強震動予測に関する研究として工学的に有用である。今後、地震災害軽減対策に活用され社会的にも貢献することが期待される。よって、博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。

(平成20年3月19日受理)