

学位論文題名

地盤の非線形応答が地震動に与える影響及び

その予測に関する研究

学位論文内容の要旨

平成12年(2000年)に発生した鳥取県西部地震、平成13年(2001年)芸予地震、平成15年(2003年)十勝沖地震、平成16年(2004年)新潟県中越地震、平成17年(2005年)福岡県西方沖の地震など、被害地震が引き続いて起こっている。これらの地震被害の対策を考える場合、地表での地震動の大きさの予測は基本的で最も重要なものとなる。この地表での地震動は、断層での震源特性、震源から地震基盤までの伝播特性および地震基盤から地表までのサイト特性の3つに影響される。

本研究ではこの3つの特性のうち、サイト特性、特に工学的基盤以浅の表層地盤の増幅特性についてとりあげ検討を行った。この増幅特性については、入力地震動が大きくなるにつれて増幅度が小さくなるというような非線形応答が一般的に認識されている。しかしながら、この非線形応答を確認する適切な鉛直アレイ観測点(地表および地中の同時観測点)が少なく、観測記録に基づいた研究が行われておらず、地表地震動に与える非線形応答の影響を的確に予測することは現在でも難しい状況である。

非線形応答の影響を的確に予測するためには、鉛直アレイ観測記録があること、精度の高い観測点のS波速度構造およびQ値(減衰特性)構造があることが必要である。本研究では、独立行政法人防災科学技術研究所が設置した鉛直アレイ観測網:基盤強震観測網(KiK-net)で観測された平成15年(2003年)十勝沖地震の記録を用いて解析を行った。まず、北海道内全観測点の地表と地中地震観測記録のフーリエスペクトル比から、非線形応答特性が明確に現れているTKCH07(豊頃)、TKCH08(大樹)およびKSRH10(浜中)の3観測点を抽出した。次に、3観測点の精度の高いS波速度構造及びQ値構造を得るために、多数の弱震動の地表/地中フーリエスペクトル比を平均し、それをターゲットスペクトル比として遺伝的アルゴリズム(GA)を用いた逆解析を行い、S波速度構造及びQ値構造を求めた。

地盤の非線形応答を考慮した増幅特性を計算する地震応答解析として、種々の手法が提案されているが、手法により入力パラメータ値の設定の難易、解析結果の精度などにそれぞれ問題がある。今回は、大きく分類すると、周波数領域で計算する等価線形法と、時刻歴で計算する非線形全応力法の2種類を採用し、同定解析した3観測点のS波速度構造及びQ値構造を使用して計算を行い、地表観測波形と比較して手法の優劣を検討した。

まず弱震動による線形応答解析により地表波形を計算し、遺伝的アルゴリズムで同定したS波速度層構造を用いたものが、現地調査のPS検層のS波速度層構造そのまま用いるより、地表観測波形との対応がよいことを確認した。強震動による地盤の非線形応答を考慮した解析では、従来の等価線形解析において欠点とされてきた

2Hz～10Hz 程度の高周波数領域の増幅特性の落ち込みを改良する新しい手法を提案した。また時刻歴で解析する非線形全応力解析では、TKCH07（豊頃）観測点の近傍のボーリング調査で得られた不攪乱試料を用いた室内動的変形特性試験結果を入手し、これを入力パラメータとして計算した。この結果、非線形全応力解析では、パラメータとして入力する動的変形特性曲線に、解析結果の計算波形が非常に影響を受けることを示した。従って、標準的な動的変形特性試験曲線を用いた非線形全応力解析では、等価線形解析より、観測地表波形との対応が悪くなることを示唆した。

最後に、提案した改良型等価線形解析手法を、地盤の非線形応答の影響が現れている平成 16 年(2004 年)新潟県中越地震の KiK-net 観測点、NIGH12（湯之谷）の記録に適用し、地表加速度波形を精度よく予測できることを明らかにした。

学位論文審査の要旨

主 査	助教授	笹 谷 努
副 査	教 授	小 山 順 二
副 査	教 授	蓬 田 清
副 査	助教授	森 谷 武 男

学 位 論 文 題 名

地盤の非線形応答が地震動に与える影響及び その予測に関する研究

地盤工学の分野では、地表を構成する地盤（砂、粘土、礫など）の動的変形特性がひずみ依存性を示すことは、実験的に確かめられている。この特性は、地震による強震動時に地盤の非線形応答（地動加速度の減少、ある時には地盤の液状化）として現れる。しかし、強震動時の地盤の非線形応答を的確に予測することは、現時点でも難しい問題であり、世界的にその確立が望まれている状況にある。

本論文は、このような状況にある強震動時の地盤の非線形応答について、主に 2003 年十勝沖地震の本震（M8）と余震による多数の地震記録の解析から、その現象の解明と予測手法の確立を目的としたものである。著者は、まず、北海道内における 112 の KiK-net 観測点（この観測点は、地表と地中約 100m に地震計を有している）の記録の解析から、簡便な手法（S 波の地表/地中スペクトル比を強震動時と弱震動時とで比較）で地盤の非線形応答を明確に示した 3 地点（TKCH07（豊頃）、TKCH08（大樹）及び KSRH10（浜中））を抽出した。つづいて、著者は、この非線形応答を定量的に解明するために、弱震動時の S 波の地表/地中スペクトル比データを基にして、3 観測点の S 波速度構造を同定した。そして、この同定された構造と地中記録を基に地表の記録を推定し、それらが実際に地表で観測された弱震動記録を再現することを確かめている。

最後に、著者は、標準的な地盤の動的変形特性と同定した S 波速度構造を基にして、本震時（強震動時）の地中記録から地表記録を推定し、実際に観測された記録と比較することにより、地盤の非線形応答の予測手法の評価を試みた。最初に、既往の地盤の非線形応答予測手法（等価線形法、SHAKE）を本震時の強震動記録に適用し、その有効性を検討した。その結果、この手法は、地表での地動加速度を過小評価することを明らかにした。そして、この過小評価の要因について検討し、地盤の動的変形特性がひずみの大きさのみならず周波数にも依存することがその要因であることを明らかにした。これらの検討から、2003 年十勝沖地震時の地盤の非線形応答を説明するために、周波数依存型の等価線形法を新たに提案した。また、2004 年新潟県中越地震時の KiK-net 観測点（NIGH12、湯之谷）記録に提案した手法を適用し、それが有効であることを確かめた。

これを要するに、著者は、強震動時の地盤の非線形応答について、地盤の動的変形特性はひずみの大きさのみならず周波数にも依存すると言う新知見を得たものであり、さらに、それに基づき地盤の非線形応答の予測手法を新たに提案した。この成果は将来の大地震による強震動時の地盤の非線形応答の予測に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（理学）の学位を授与される資格あるものと認める。