学位論文題名

濃尾平野の地盤構造と地震動特性に関する研究

学位論文内容の要旨

日本は世界屈指の地震被災国の一つであるが、大地震の発生する前に、その地震によるある地域の強震動予測を高い精度で行えるようになれば、それを基に地震災害軽減の対策を講じることが可能になると考えられる。近年発生した地震による教訓から、このような強震動予測は、最大値や最大震度だけでなく、震源断層と深層地盤構造の特性を含んだ時刻歴波形を求めることが必要不可欠であることが明らかになっている。

現在、濃尾平野では、近い将来起こると考えられている東海・東南海地震による深刻な地震災害が懸念され、精度の高い強震動予測の実施が緊急の課題となっている。当該平野では近年地方自治体を中心となって大規模な地盤構造探査が行われるとともに国、自治体、大学による地震観測記録が蓄積され始めている。本研究では、現在までに得られている地盤構造探査結果と地震記録を用いて、濃尾平野の地盤構造と地震動特性について検討すると同時に、強震動予測に向けた地盤構造モデルの構築を行った。

本研究では、まず、濃尾平野の地盤構造に関して、濃尾平野上で実施された既往の物理探査結果を整理するとともに、これまで地盤構造データが欠落していた平野東部および北東部のS波速度構造を微動アレイ探査により明らかにした。さらに、平野南部において実施された高密度微動アレイ探査結果に多地点同時インバージョン解析を適用して基盤の不整形形状を検討した。

S波速度構造推定の際には、既往の物理探査結果を事前情報として用いると共に地震記録に見られるPS-P時間差の情報を組み込んで、それらの観測結果と整合性の取れるS波速度構造が推定された。これらの検討によって、地盤構造について以下のことを明らかにした。

1. 既往の物理探査より濃尾平野西端部では、基盤が2~2.5kmの段差を持つような形状で沈み込み、そこから北東に向かって徐々に深度が浅くなるという結論が得られているが、平野中央部から東部・北東部にかけて基盤深度は特に急変することなくそのまま平野端部につながってゆく。
2. 平野南部(名古屋市南西部)では、基盤形状の急変が見られ、そこでは、基盤に局所的なくぼみがある。
3. 濃尾平野の堆積層は上層よりS波速度が約0.2km/s、約0.3km/s、約0.7km/s、約0.9km/s、約1.3km/sの5層に分けられる。特に1.3km/sの層は平野西部では層厚が0.2km程度で、平野北東部や東部では見られない。また、平野東部の丘陵地帯では、0.9km/sの層が見られない。
4. 地震観測記録に見られるPS変換波とP波との到達時間差は平野南西部で最も大きく、北東に向かって徐々に小さくなっており、物理探査結果から得られる基盤深度の分布と調和的である。

さらに、これらの結果から、濃尾平野の3次元地盤構造モデルを構築した。その地盤構造モデルは、平野内で観測されたPS-P時間差をほぼ満足するものであった。

次に、濃尾平野で観測された地震観測記録から、平野上での地震動特性について検討し

た。まず、フィルター波形を用いて、各地点の波形の特徴および増幅特性を調べると同時にS波以降の後続波動の特性について検討した。次に、平野東部に位置する観測点におけるアレイ地震観測記録の解析から、S波到達以降に見られる地震動の性質を調べた。最後に、これらの解析結果を考慮して東西に並ぶ観測点において、表面波の伝播について検討した。これらの検討によって、濃尾平野上での地震動特性について、以下のことを明らかにした。

1. 1Hz以下の周波数成分の波の増幅は、基盤深度と密接に関連しており、平野西部で約10倍で、平野北西部に向かうにつれて、徐々に増幅が小さくなる。また、1Hz以上の周波数成分については、臨海地域や河川流域で大きな増幅を示す。
2. 1Hz以下の低周波数成分の波で大きな振幅を持つ部分は、平野内の観測点で到達時間が異なっており、その主成分は表面波である。
3. 平野東部におけるアレイ地震観測点では、S波以降の部分で東から西に向かって伝播するRayleigh波とLove波が検出された。これらは、平野東端部で二次的に生成された表面波である。
4. 平野西部で発生した地震の記録では、平野西端部で発生した表面波、平野の東側で発生した地震による記録では、平野東端部で発生した表面波の伝播が平野内を東西に横切る測線上で確認された。

最後に、差分法を用いた三次元地震動シミュレーションにより、濃尾平野の東西で発生した2地震に対して、本研究で構築した地盤構造モデルの妥当性と問題点について調べた。理論と観測の波形の比較結果より、以下の結論が得られた。

1. S波部分については、波形および振幅が多く地点で観測とよく対応しており、平野内における最大振幅分布のパターンは2地震で良好に再現された。
2. 多くの観測点で、観測波形に見られたS波に続く振幅の大きな表面波が再現されたが、平野南部の基盤の形状にくぼみが見られた付近の観測点では、波形の再現が悪い。
3. 平野西端部で生成されたRayleigh波では、理論と観測で位相のずれが目立ったが、平野北側の観測点よりも中部の観測点のほうが位相ずれが大きい。
4. このRayleigh波の伝播速度は、モデルの3層目のS波速度に対して敏感である。
5. 平野内を伝播する表面波の伝播方向は基盤形状に影響される。
6. 平野端部で発生する二次生成表面波の伝播方向には平野と基盤の境界形状が大きな影響を与える。

なお、3と4の結果に濃尾平野で実施されたPS検層結果を加えると、濃尾平野内における地盤のS波速度は微妙に変化している可能性が示唆された。

これらの結果から、本研究において提案した濃尾平野の地盤構造モデルは0.5Hz以下の周波数範囲内においては、平野南部を除くと、大局的にはほぼ妥当なものであるが、詳細については改善の余地が残されていることが示された。なお、平野南部では、重力探査結果および本研究で検討した高密度微動アレイ探査結果より基盤の急変が示されているが、そこでは大幅なモデルの改良が必要である。この部分については、更なる地盤構造探査の実施が望まれる。

学位論文審査の要旨

主査	助教授	笹谷	努
副査	名誉教授	西田	泰典
副査	教授	小山	順二
副査	教授	笠原	稔
副査	助教授	森谷	武男

学位論文題名

濃尾平野の地盤構造と地震動特性に関する研究

濃尾平野内に位置する大都市名古屋では、近い将来発生すると考えられている東海・東南海地震による深刻な地震災害が懸念されている。名古屋都市域における地震防災対策を講じるためには、これらの地震による精度の高い強震動予測の実施が緊急な課題である。そのためには、濃尾平野の三次元地盤構造モデルの構築が必須である。しかし、濃尾平野においては、部分的に地盤構造の探査は行われているが、強震動予測に必要な三次元地盤構造モデルは構築されておらず、さらに、平野の地震応答についての詳細な研究も行われていない。

本論文は、このような状況にある濃尾平野を対象として、三次元地盤構造モデル（地震波速度構造モデル）の構築、観測された地震データに基づく地震応答特性の解明、そして、平野周辺で発生した地震に対する地震動のシミュレーションから地盤構造モデルの検証を目的としたものである。

著者は、まず、濃尾平野における既存の地質データ、物理探査データ（重力測定結果、PS 検層結果、反射法地震探査結果、微動アレー探査結果等）をコンパイルした。これらのデータは平野の西部及び中央部に偏っている。そこで、これまで地盤構造データが欠落していた平野東部、北東部及び南部の 22 地点において、微動アレー探査法により S 波速度構造を新たに推定した。遺伝的アルゴリズムを用いたインバージョンによる構造の推定に際し、微動観測データから求められた Rayleigh 波の位相速度のみならず、観測地震記録に見られた P 波と PS 変換波の到達時間差（PS - P 時間）も同時に満足する構造となるように工夫した。そして、これらの結果及び既存の物理探査データを総合して、濃尾平野の三次元地盤構造モデル（40km x 60km の領域）を構築した。

次に、濃尾平野内外の多点（約 70 点）で観測された地震記録の解析から、平野内の地震動特性について検討した。まず、岩盤地点の記録を基準として、平野内の地

震応答を面的に比較した。その結果、1Hz以下の周波数領域では、S波の増幅が堆積層の厚い平野南西部で最も大きい（約10倍）こと、そして、この増幅度は堆積層の厚さ（基盤深度）と対応していることを明らかにした。続いて、S波以降に見られる長周期（約2秒の卓越周期）後続波の性質を理解するために、平野東部に位置する名古屋大学東山キャンパスにおける高密度アレー地震観測記録を解析した。その結果、この後続波は、平野東端部で励起されて東から西に向かって伝播するRayleigh波であることを明らかにした。一方、平野西部で発生した地震の場合、平野を東西に横切る線形アレー観測点における波形解析から、西から東に向かって伝播するRayleigh波を検出した。以上から、濃尾平野の地震応答は、基盤深度に応じた長周期S波の増幅、さらに、平野両端部における二次的な表面波の励起で特徴づけられることを明らかにした。

最後に、有限差分法を用いた三次元地震動シミュレーションを、濃尾平野の東と西で発生した二つの地震（平野南東部地震、1999/11/29、M4.7、深さ51km；養老地震、1998/4/22、M5.5、深さ5km）に対して実施し、本研究で構築した地盤構造モデルの妥当性について検討した。その際に、大規模な領域を計算するために、不等間隔格子手法と不連続格子手法を併用して大幅な省メモリ化を実現した。理論波形はバンドパス・フィルター観測波形（約60観測点）と比較された。多く観測点で、理論波形のS波部分は観測波形を良好に再現している。また、両地震によって平野端部で表面波が生成され、それが平野内部を伝播することも定性的には再現されているが、平野中央部において、その出現時刻に若干の差異が存在した。これらの結果から、本研究において構築された濃尾平野の地盤構造モデルは、0.5Hz以下の周波数範囲内において、詳細については改善の余地が残されているが、大局的にはほぼ妥当なものであることがわかった。

これを要するに、著者は、濃尾平野の地盤構造と地震動特性の新知見を得たものであり、当地における地震災害軽減に貢献するところ大なるものである。

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。