

学 位 論 文 題 名

局所的な地質構造が地震動に及ぼす影響に関する研究

学位論文内容の要旨

観測される地震動の特性や、地震被害と観測点近傍の地質状況の間に、深い関わりがあることは日本では昔から経験的に知られていたが、1980年代になって、いくつかの大地震による地震災害を契機として、あらためて表層地質が地震動に及ぼす影響の重要性が指摘されてきた。

このような背景のもとに地震防災上の観点から、定量的な地盤増幅特性(サイトレスポンス)の評価が求められるようになり、ESG(Effect of Surface Geology)研究が精力的に行なわれるようになってきた。これと共に、より質の高い地震記録を得るために、広帯域・広ダイナミックレンジの地震計が開発され、強震動観測網の整備が進められてきた。

このような中、強震動観測網の発展と共に、以前には観測されなかったような特異な強震動が観測され、新たな議論をよんでいる。例えば、ノースリッジ地震でタルザナで記録された1.8gの大加速度記録や、本研究で解析の対象とする観測点OTBの約1.6gの大加速度記録もその一つである。

近年になって今までにない大加速度の記録が得られているのは、観測計器の性能の上昇や観測点網の整備が進み震源近傍での観測が可能となったことも理由の1つであるが、北海道南西沖地震(本研究)とノースリッジ地震の両者とも、観測点近傍の地盤特性(サイトレスポンス)の影響が示唆されており、このような局所強震動ともいえるべき大加速度の発生要因を明らかにすることが、現在の地震工学上の緊急の課題となっている。

我々が観測する地震動は、震源の特性、伝搬経路の特性、観測点近傍の地盤特性の3つの影響を含んでいる。観測された地震記録からサイスミックモーメントやストレッドロップ等の震源情報を抽出するためには、伝搬経路の非弾性による減衰効果や、観測点近傍の地下構造の影響を評価し、取り除く必要がある。逆に、地盤の振動特性を知るためには、観測された地震動の特性の要因が、震源の特性によるものか、それとも観測点近傍の影響がどのようなものであるのかを明らかにする必要がある。

1999年7月12日、北海道南西沖を震源とする1993年北海道南西沖地震(M7.8)が発生した。その直後から、北海道大学理学部、東京大学地震研究所、京都大学防災研究所の3機関が緊急に合同余震観測網を展開した。本観測の当初の目的は震源の情報を得るためであったので、観測点は、1. 余震域を包囲するように、かつ、2. 表層地質が地震動に及ぼす影響が小さいと考えられる点であることを条件に探したが、緊急のことでもあり、全観測点でこの条件を十分に満たした場所を探すのは困難であった。余震域が海であることもあり、震源の十分近くとは、いえないが奥尻島の2点を含む全8観測点が設置された。

8月8日、最大余震($M_{JMA}=6.3$)が本震の余震域から東に外れた地域で発生し、新たな余震域を形成した。この余震域は、余震観測網のほぼ中央に位置し、各点の観測期間の違いもあり、多くの観測点で記録されたのは、この地域で発生した9地震である。

観測点 OTB では、最大余震で最大加速度が約 1.6g の強震動を記録した。OTB では、周波数 4Hz 付近のスペクトルが卓越する特異なサイトレスポンスを有していることが、最大余震とその他の余震の波形から予想され、1.6g の大加速度もサイトレスポンスと密接な関係があると考えられる。OTB におけるサイトレスポンスの要因を明らかにするために、以下の観測と解析を行なった。

観測された強震動記録から、震源の特性、伝搬経路の影響及び観測点近傍のサイトレスポンスの影響を分離するため、インバージョンを行なった。結果、求められたソーススペクトルは、最大余震を除き、ほぼ ω^2 モデルに一致する。最大余震が ω^2 モデルと整合的でないのは、複雑な震源過程のためである。

インバージョンで求められた OTB のサイトレスポンスは、OTB 周辺で行なった小地震観測、PS 検層、微動観測の解析結果と比較された。OTB 観測点は小さい岬の上であり、予想されるサイトレスポンスの要因は、1. 表層堆積物影響、2. 地形効果、3. 構造物との相互作用、4. 地盤の非線形効果である。

小地震を岬の基部と岬の上で観測しスペクトル比をとることで岬の地震応答が調べられた。この結果、インバージョンで得られた OTB のサイトレスポンスは、岬の地震応答に対応していることが分かった。また、岬内でもサイトレスポンスが大きく変化していることが示された。次に、PS 検層の結果得られた S 波速度構造をもとに、表層の理論伝達関数が計算され、小地震のスペクトル比と比較された。その結果、OTB の数 10m の範囲でサイトレスポンスが大きく変化していることが示され、また、OTB のサイトレスポンスの要因に地盤と構造物との相互作用が大きく寄与している可能性が示唆された。

構造物の屋内外の微動観測とモデル計算に依り、相互作用の影響が評価された。その結果、OTB のサイトレスポンスの主たる原因は、表層堆積物の影響と、地盤と構造物の相互作用であることが示された。最後に、地形効果と、非線形効果について検討がなされ、影響は大きくないもののその存在の可能性が示唆された。

学位論文審査の要旨

主 査	教 授	岡 田	廣
副 査	教 授	西 田	泰 典
副 査	助教授	笹 谷	努
副 査	助教授	森 谷	武 男

学 位 論 文 題 名

局所的な地質構造が地震動に及ぼす影響に関する研究

大地震による被害の局所性と表層地質構造との強い相関は、日本においては、古くから定性的に認められていた。世界的にその問題の重要性が再認識されたのは、1985年のミチオアカン地震によるメキシコ市（湖性堆積物上に発達した都市）での構造物への大被害である。その後、世界の大地震の発生度に、この問題がクローズアップされ、表層地質が地震動に及ぼす影響を定量的に解明することが、地震工学における緊急課題の一つとなっている。

1993年7月12日に北海道の南西沖を震源とする大地震 ($M=7.8$) が発生し、主に津波により、奥尻島、北海道南西部沿岸に大被害をもたらした。この地震の発生後、ただちに余震を対象とした臨時の強震観測点（8点アレイ）が3大学（北海道大学理学部・東京大学地震研究所・京都大学防災研究所）共同で展開され、多くのデータが得られた。8月8日に発生した最大余震 ($M=6.3$) の際に乙部町（OTB）観測点において、世界的にも最大級である $1.6g$ という異常な大加速度が観測され、関連学会において大いに話題となった。本研究は、この大加速度の発生要因を定量的に解明したものである。

まず、申請者は、多くの観測点で同時に得られたデータからS波の加速度スペクトルを求め、インバージョン法を用いて、それらを地震の震源特性、伝播経路の影響、観測点近傍の影響（サイトレスポンス）に分離した。得られた震源特性、伝播経路の影響は、従来の結果と矛盾するものではなかった。これは、各地で観測されたスペクトルの特徴が、主に、サイトレスポンスによるものであることを意味している。特に、大加速度を観測したOTBでのサイトレスポンスは、約 4 Hz に鋭いピークを有するきわめて特異なものであることを明らかにした。

OTB観測点は、日本海に突き出た小さな岬（鮪の岬）の付け根にある小学校（鉄筋コンクリート2階建）の一階に設置されていた。鮪の岬（高さ約 50m ）

は柱状節理の発達した安山岩から成り、段丘堆積物がその表面を覆っている。このような状況下で観測された OTB での特異なサイトレスポンスの要因を定量的に解明するために、申請者は、その観測点近くにおいて以下の特別な調査、観測を実施した。1) ボーリング調査と P S 検層、2) 岬の下部 (BSE) と上部 (OTB 観測点とそこから約 30 m ほど離れた地盤上の観測点 FRF) における小地震の同時観測、3) 建物 (小学校) の地震動への影響を調べるための微動のアレイ観測。ボーリング調査と P S 検層の結果、岬には厚さ約 8.6 m の軟弱な堆積層が存在し、その S 波速度は 100 ~ 400 m/s であることがわかった。この堆積層と基盤 (S 波速度約 2000 m/s) は、約 7 Hz で 12 倍ほどの S 波の増幅効果を示し、それは、岬上部・地盤上と岬下部で観測された小地震のスペクトル比 (FRF/BSE) を十分に説明する。岬上部・建物内と岬下部との小地震のスペクトル比 (OTB/BSE) は、インバージョンで得られたサイトレスポンスと同様に 4 Hz で数 10 倍もの増幅を示し、これは、堆積層の影響のみでは説明できない。つまり、OTB でのサイトレスポンスには、地盤の増幅効果以外の影響も含まれていることを意味している。これを確かめるための微動のアレイ観測と簡単な相互作用のモデル計算により、OTB 観測点でのサイトレスポンスには、建物 (小学校) と軟弱な地盤との相互作用が大きく影響していることがわかった。

申請者は、その他に岬の地形効果等についても検討を行い、その影響の小さいことを確かめ、最終的に、OTB での特異なサイトレスポンスは、地盤の増幅効果と地盤と建物との相互作用によるものであると結論した。そして、最大余震時に観測された大加速度 1.6 g もこれらの効果の結果であることを明らかにした。

このように、申請者は、特異な強震動記録の要因を定量的に明らかにした。審査員一同は、申請者が博士 (理学) の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。