

学位論文題名

サブダクションゾーンにおける  
地震波減衰特性と震源特性に関する研究

学位論文内容の要旨

1995年の兵庫県南部地震によって震源近傍での強震動記録が観測されて以降、震源近傍の強震動に関する研究が日本においても盛んに行われるようになった。また、この地震を契機として、全国規模の強震観測網が整備されるとともに、将来に発生する可能性の高い地震(シナリオ地震)に対して、ある地点でどのような強震動が生ずるかを評価する強震動予測が本格的に行われるようになった。地震動の特性は、震源、伝播経路、地盤構造(サイト)に依存しており、高精度の強震動予測には、各特性の定量的なモデル化が必要である。北海道周辺ではプレート間地震やスラブ内地震といったサブダクションゾーンの地震が多発している。しかしながら、現在の強震動予測研究は、主として内陸地殻内地震を対象として行われており、サブダクションゾーンの地震を対象とした高精度な強震動予測は今後の課題となっている。本研究では、プレートの沈み込みに伴って発生するプレート間地震とスラブ内地震をサブダクションゾーンの地震と定義し、近年の高密度強震観測網で得られた記録を用いた解析から、サブダクションゾーンの地震による強震動に強く影響を及ぼしていると考えられる伝播経路特性(Q値)と震源特性の定量的な評価を行った。

まず、やや深発地震による強震動記録を用いて、伝播経路特性についての定性的な検討を行った。その結果、やや深発地震の強震動記録は震源と観測点との位置関係によってその特徴が大きく変化しており、大局的には火山フロントを境界として減衰構造が大きく変化していることを明らかにした。

次に、火山フロントの前弧側と背弧側、海洋プレート内部を解析対象領域として、Q値の推定手法として広く用いられているスペクトルインバージョン法(SI法)とコーダ規格化法(CN法)の二つの手法により各領域の $Q_s$ 値を推定した。火山フロント前弧側と背弧側の $Q_s$ 値の推定には陸上に展開されている高密度強震観測網の記録を用いた。また、プレート内部の $Q_s$ 値の推定には海底地震観測点のデータを用い、プレート内部の $Q_s$ 値のより直接的な推定を目指した。その結果、前弧側とプレート内部に対して、周波数依存性を持つ $Q_s$ 値が推定された。周波数依存性の強さは $Q_s$ 値の推定手法によっても若干異なっており、1~10Hzの周波数帯において、火山フロント前弧側では周波数の約1.2乗(SI法)と約1.0乗(CN法)、プレート内部では周波数の約1.0乗(SI法)と約0.7乗(CN法)に比例しており、SI法により推定された $Q_s$ 値の方がCN法によるものよりもやや周波数依存性が強い傾向を示すという結果が得られた。一方で、火山フロント背弧側では高周波数S波が大きく減衰された記録が多く観測されていることを高密度の強震観測網の記録から明らかにし、SI法やCN法によって背弧側の $Q_s$ 値を定量的に評価することが困難であることを示した。そこで、限られた記録から背弧側の $Q_s$

値を見積もり、前弧側に比べてその周波数依存性が弱いことを示した。

既往の研究によれば、海洋プレート内部は周囲のマントルに比べ  $Q_s$  値が大きな一様な領域であると考えられているが、本研究で推定された海洋プレート内部の  $Q_s$  値は、火山フロント前弧側の  $Q_s$  値に比べやや小さな値であった。また、サブダクションゾーンの地震では異常震域が観測され、この現象は地震波が低減衰の海洋プレート内部を効率よく伝播することにより生じていると考えられているが、本研究で推定された海洋プレート内部の  $Q_s$  値ではこの現象を説明することはできなかった。そこで、海洋プレートの2層  $Q$  構造モデルを提案し、本研究で推定された海洋プレート内部の  $Q_s$  値で表される領域をプレートの上部 50km の範囲に限定すれば異常震域を説明できることを示した。この海洋プレート上部の  $Q_s$  値は、陸上観測点の記録からでは推定することはできず、海底地震観測点の記録を用いることによって初めて推定されたものである。

$Q$  値を推定するためには観測記録に対して幾何減衰の影響を補正しなくてはならない。幾何減衰は波面の拡がりに伴う地震波振幅の減衰を表しており、均質媒質中では震源距離の逆数で表される。実際の地球内部は均質構造ではないが、 $Q$  値推定の多くの解析では震源距離を用いて幾何減衰の補正が行われている。そこで、波線追跡によって理論的に評価された幾何減衰と震源距離との関係について調べ、震源深さに比べ震央距離が大きくなるほど両者の差が広がることを示した。また、そのような地震に対して震源距離を用いて幾何減衰の補正を行うことにより、 $Q$  値が過小評価されることを示した。

最後に、震源特性についての検討を行った。まず、火山フロント前弧側を対象とした SI 法により推定された  $Q_s$  値と各地のサイト特性を用いて、サブダクションゾーンの地震の震源スペクトルを推定した。震源スペクトルの形状については、スラブ内地震とプレート間地震による違いは見られなかったものの、加速度震源スペクトルの高周波数振幅レベルについては、同一規模の地震に対してスラブ内地震の方がプレート間地震よりも約 3 倍高いことを示し、スラブ内地震が同規模のプレート間地震よりも高周波数地震波を強く励起していることを明らかにした。また、Brune の断層モデルを仮定して推定された応力降下量がスラブ内地震とプレート間地震では異なっていることを示し、地震モーメントが  $3.0 \times 10^{24}$  dyne-cm 以上の地震では、スラブ内地震は約 300bar、プレート間地震は約 50bar の一定値を持つことを示した。

本研究によって得られた結果は、サブダクションゾーンの地震による強震動を評価するための基礎的ではあるが、不可欠な情報であり、この結果をもとにサブダクションゾーンの地震を対象とした高精度な強震動予測手法が確立されることが期待される。

# 学位論文審査の要旨

主 査 助 教 授 笹 谷 努  
副 査 教 授 西 田 泰 典  
副 査 教 授 小 山 順 二  
副 査 教 授 蓬 田 清

学 位 論 文 題 名

## サブダクションゾーンにおける 地震波減衰特性と震源特性に関する研究

日本列島のようなプレートの沈み込む地域（サブダクションゾーン）では、巨大地震の発生により大きな被害がもたらされている。2003年9月26日に発生した十勝沖地震（マグニチュード8.0）もその一例である。このような地震による震災軽減のためには、想定された地震による各地の強震動を予測し、それに応じた対策を講じることが必須である。地震動の特性は、震源、伝播経路、地盤構造の特性に依存しており、高精度の強震動の予測のためには、それぞれの特性を定量的に明らかにする必要がある。1995年の兵庫県南部地震による大震災以降、この研究は内陸地殻内地震を対象に進められてきたが、サブダクションゾーンの地震に対しては、その手法の確立が待たれている状況にある。

本論文は、このような状況にあるサブダクションゾーンの地震（プレート間地震及びスラブ内地震）による強震動の予測に関して、北海道東部地域を対象として、地震波伝播経路特性と震源特性を定量的に明らかにしたものである。

著者は、まず、高密度の観測点（K-NET）で観測された強震動記録を基にして、伝播経路特性について定性的な検討を行い、サブダクションゾーンの地震による強震動の特性が火山フロントを境にして大きく異なることを明らかにした。それは、火山フロント背弧側の観測点における高周波数地震波の大きい欠落で特徴づけられる。そこで、この特徴を定量的に評価するために、火山フロントの前弧側と背弧側における上部マントルのS波減衰構造（ $Q_s$ 構造）を明らかにした。その結果、火山フロントの前弧側では、周波数の約1.0乗に比例する $Q_s$ 値を得たが、その背弧側では、 $Q_s$ 値の周波数依存性が極めて弱いことを明らかにした。解析の手法としては、スペクトルインバージョン法（SI法）とコーダ規格化法（CN法）の二つを採用し、両者がほぼ同一の $Q_s$ 値を示したことから、得られた解の妥当性を確認している。

次に、海底地震計による記録を基に、SI法とCN法によりプレート内部の $Q_s$ 値を直接推定した。その結果得られた $Q_s$ 値は、従来考えられたものよりもかなり小さく、この値では、サブダクションゾーンで観測される異常震域現象を説明できないことを示した。この矛盾を解決するために、約50kmに境界を持つプレート内部の二層 $Q_s$ モデルを提唱した。このプレートの $Q_s$ 構造は、地震波データに基づいて初めて提唱されたものである。

最後に、上で得られた  $Q_s$  構造に基づき、S 波観測スペクトルから伝播経路特性を除去した震源スペクトルについて検討した。その結果、スラブ内地震の応力降下量がプレート間地震のそれよりもはるかに大きいことを明らかにした。これらの研究成果は、サブダクションゾーンの地震による高精度な強震動予測に役立つものと期待される。

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。