

学 位 論 文 題 名

A Study of the Characterization and Predictive
Modeling of Strong Ground Motion during
Earthquakes around Hokkaido, Japan

（北海道周辺の地震による強震動の特徴の抽出とその予測に関する研究）

学位論文内容の要旨

強震動予測の研究は、地震の震源過程、地殻中の波動の伝播、地盤応答各分野の研究成果を総合したもので、地震学とともに、地震工学の実用面においても重要である。従来、強震動予測は、既存のデータをもとにして、最大加速度値、最大速度値等を地震のマグニチュード、震央距離、地盤条件の関数とした経験式で評価してきた。しかし、複雑な地震動をその最大値のみで表わすことは不十分であり、また、構造物の動的応答解析においては強震動の時刻歴が要求される。本博士論文は、北海道周辺で発生した地震による強震動の特徴を抽出し、それをもとに強震動時刻歴の予測を試みたものである。

解析には、十勝平野中央部の帯広とその端部の茂寄（広尾）に独自に展開した強震観測点で得られた記録を用いた。これらは、広い周波数領域を有する速度型強震計で得られたものである。北海道周辺で発生した約30の地震（マグニチュード、 $M4 \sim 7.8$ ；深さ、 $40 \sim 110$ km）による水平動記録（高いS/N比を有するもの）を解析した。なお、加速度波形は、速度波形を微分して求められた。

まず最初に、点震源 ω^{-2} 震源スペクトルを仮定して、S波加速度スペクトル形状の特徴を、高周波数領域における振幅の減少を決めるパラメーター、 κ 、震源パラメーター（地震モーメント、 M_0 、コーナー周波数、 f_0 ）をもとに抽出した。 κ 値は、媒質の非弾性による減衰に関係した量で、それは震源距離とともに増大し、ま

た、観測点の地盤条件にも依存している。つまり、堆積層上の帯広の κ 値の方が岩盤上の茂寄のそれよりも大きい。震源パラメーターについては、 $M_o f_o^3 = \text{一定}$ というスケーリング則の成立することを発見した。これは、北海道周辺で発生する地震の応力降下量が、地震の規模に関係なく、約300バールであることを意味している。次に、これらのパラメーターをもとに理論的に加速度スペクトルを計算し、観測されたスペクトルと比較した。岩盤上の茂寄において両者が良く一致することから、S波加速度スペクトルが、 κ 、 M_o 、 f_o の3つのパラメーターによってモデル化されることを確認した。一方、堆積層上の帯広においては、周波数0.1から1Hzの間で、観測されたスペクトルの振幅が計算値よりも約6.5倍も大きいことがわかった。この相違は、帯広直下の厚い堆積層による地震波の増幅効果によると考えられる。

S波加速度スペクトルの特徴の抽出に続いて、S波加速度時刻歴の特徴を抽出した。加速度二乗包絡形状をもとに、継続時間、 T_w 、最大値出現時間、 T_m 、を推定した。これらの量は、地震の規模よりもむしろ、震源距離、地盤条件に強く関係している。特に、帯広の T_w 値は、茂寄のその約2倍である。この結果の物理的な解釈は現段階では不可能であるが、それは、加速度波形を構成する波が、散乱波等を含んだきわめて複雑なものであることを示している。以上の強震動の特徴の抽出を通して、観測点の地盤条件がそれに大きく影響していることを確認した。

抽出されたS波加速度の特徴をもとにして、Boore (1983)の方法によるその時刻歴の予測を試みた。この方法は、加速度波形のランダムな統計的性質を、平均=0、分散=1の白色ノイズで表わし、これにスペクトル形状、時刻歴形状の特徴を加味して予測するものである。具体的には、まず、白色ノイズ時刻歴を発生させ、それに T_w 、 T_m から作られる形状関数を乗じ、そのフーリエ変換を求める。次に、対象とする地震の M と震源距離を与え、スケーリング則から M_o 、 f_o 、観測点に応じた κ を選び、モデルスペクトルを求める。そして、先に求めたノイズのフーリエ変換にモデルスペクトルを乗じたあとで、その逆変換を行い目的とする加速度時刻歴を得る。また、帯広での予測においては、モデルスペクトルにさらに堆積層による増幅効果を加える必要がある。この方法による予測時刻歴が、観測された加速度時刻歴をうまく再現することから、その有効性を確認した。

最後に、1993年1月15日に深さ107kmで発生したM7.8の釧路沖地震について詳しく解析した。この大きい地震のスペクトルは、多くのM6クラスの地震のそれとは違って、2つのコーナー周波数を有している。これは、この地震の震源過程がきわめて複雑で、不均質な破壊過程であったことを示している。これを2つの ω^{-2} 震源スペクトルでモデル化し、上述の方法で時刻歴を予測した。予測時刻歴は観測されたそれと良い一致を示すが、これは、この地震がMに比べて小さい震源域を有していたため、点震源の仮定が妥当であったことによると考えられる。大きい震源域を有する地震の強震動予測においては、その複雑な破壊様式を考慮する必要がある。いずれにしても、M8クラスの強震記録の解析はこれのみであり、大地震による強震動の特徴について一般的な結論を出すためには、大地震による強震記録をより多く解析する必要がある。

学位論文審査の要旨

主 査	教 授	岡 田	廣
副 査	助教授	森 谷	武 男
副 査	助教授	笠 原	稔
副 査	講 師	笹 谷	努

学 位 論 文 題 名

A Study of the Characterization and Predictive Modeling of Strong Ground
Motion during Earthquakes around Hokkaido, Japan

(北海道周辺の地震による強震動の特徴の抽出とその予測に関する研究)

強震動予測の研究は、地震の震源過程、地震波動の地殻中の伝播、その地盤応答各分野の研究成果を総合したものである。従来の強震動予測では、既存の観測データをもとにして、最大加速度値、最大速度値等を地震のマグニチュード(M)、震央距離、地盤条件の関数とした経験式で評価してきた。しかし、複雑な地震動をその最大値のみで表わすことは不十分であり、また、構造物の動的応答解析においても要求されているように、強震動の時刻歴の予測が重要な課題である。

本研究は、北海道周辺で発生した約30個の地震(M4~7.8; 深さ、40~110km)による強震動の特徴を抽出し、それをもとに強震動時刻歴の予測を試みたものである。解析には、十勝平野中央部の帯広(堆積層上)とその端部の茂寄(広尾; 岩盤上)で得られた記録を用いている。

まず、申請者は点震源 ω^{-2} 震源スペクトルを仮定して、S波加速度スペクトル形状の特徴を、高周波数領域における振幅の減少を定めるパラメーター、 κ 、震源パラメーター(地震モーメント、 M_0 、コーナー周波数、 f_0)をもとに抽出した。 κ 値は、媒

質の非弾性による減衰に関係した量で、それは震源距離とともに増大し、また、観測点の地盤条件にも依存していることを明らかにした。震源パラメーターについては、 $M_0 \cdot f_0^3 = \text{一定}$ というスケーリング則の成立することを発見した。次に、これらのパラメーターをもとに理論的に計算された加速度スペクトルと観測されたスペクトルとの比較から、S波加速度スペクトルが、 κ 、 M_0 、 f_0 の3つのパラメーターによってモデル化されることを明らかにした。ただし、帯広においては、直下の厚い堆積層による地震波の増幅効果を加味する必要があると言う。

続いて、S波加速度時刻歴の特徴の抽出として、加速度二乗包絡形状をもとに、継続時間、 T_w 、最大値出現時間、 T_p 、を推定した。これらの量は、地震の規模よりもむしろ、震源距離、地盤条件に強く依存していることを発見した。以上の周波数・時間領域における強震動の特徴の抽出を通して、観測点の地盤条件がそれに大きく影響していることを明らかにした。

抽出されたS波加速度の特徴をもとにして、次の方法によってその時刻歴の予測を試みた。まず、加速度波形のランダムな統計的性質を、平均 = 0、分散 = 1の白色ノイズで表わし、それに T_w 、 T_p から作られる包絡形状関数を乗じ、そのフーリエ変換を求める。次に、対象とする地震のMと震源距離を与え、スケーリング則から M_0 、 f_0 、観測点に応じた κ を選び、モデルスペクトルを求める。そして、先に求めたノイズのフーリエ変換にモデルスペクトルを乗じたあとで、その逆変換を行い目的とする加速度時刻歴を得た。この方法による予測時刻歴が、観測された加速度時刻歴をうまく再現することを明らかにした。

最後に、1993年1月15日に深さ107kmで発生したM7.8の釧路沖地震について詳しく解析した。この大地震のS波スペクトルは、M6クラスの地震のそれとは違って、2つのコーナー周波数を有していることを発見した。これを2つの ω^{-2} 震源スペクトルでモデル化し、上述の方法で予測した時刻歴が、観測されたそれと良い一致を示すことを明らかにした。

以上、申請者は北海道周辺の地震による強震動の特徴の抽出とその予測に関する研究で、優れた研究成果を挙げた。

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。