

論文内容の要旨

論文題目: A study of the seismic wave transfer functions around
the rupture zone of the Mid Niigata prefecture Earthquake in 2004

(2004 年新潟県中越地震の破壊域周辺における
地震波動伝達関数の研究)

氏名: 村 上 理

本研究では、2004 年新潟県中越地震の破壊域における、地震波動伝達関数の時空間変化を調べた。地震が発生することにより地殻の状態が変わって地震波速度や減衰の程度を表す Q^{-1} の変化が検出されたという報告がある。また、岩石内で破壊が進行するにつれ減衰が強くなるという室内実験の結果もある。しかし、地震後に伝達関数の時間変化が検出されたという例はほとんどない。近年日本で発生した他の内陸地震に比べ、より長い期間で $M > 4$ の比較的大きなイベントが継続した新潟県中越地震の一連の余震を地震波発生源として用いて、伝達関数を詳細に調べた。

まず、double-difference 法により震源再決定を行い、余震カタログを作成した。このカタログを用いて、互いに 1 km 以内に位置し、似た震源メカニズムを持つイベントクラスターを抽出した。クラスター内の 2 つのイベントの、同じ観測点における地震波のスペクトルの比をとると、波線とサイトの影響はキャンセルされる。波線経路がほぼ同一であるとみなせるためである。このスペクトル比は、2 つのイベントの震源スペクトルの比を表していることになる。震源スペクトルがオメガ二乗モデルで近似されると仮定し、 N 個のイベントからなるクラスターについて、 $N(N-1)/2$ 個のスペクトル比を用いて各イベントの震源スペクトルのコーナー周波数を最小自乗法的に求めた。そして、各イベントの観測スペクトルを、このように求めた震源スペクトルで除すことにより、震源と観測点間の地震波伝達関数を推定した。

得られた伝達関数を用い、それぞれのイベント観測点ペアについて Q を推定した。本震の西側の領域の Q は、東側の領域の Q よりも有意に低いことがわかった。それは、西側の領域には厚い堆積層があるためだと考えられる。

伝達関数の時間変動を調べるために、各伝達関数の 10 - 30 Hz の周波数範囲における平均レベルを求め、その時間変化を見る。まず、本震後 1 ヶ月間における変動を 48 個のクラスター観測点ペアについて調べた。多くのクラスター観測点ペアで伝達関数の 10 - 30 Hz の平均レベルは、時間とともに減少する傾向が見られた。いくつかのクラスター観測点ペアでは増加が見られたが、特に系統的な空間依存性はなかった。各クラスター観測点ペアにおける 10 - 30 Hz の平均レベルの変化について、直線でフィットさせその回帰直線の傾きを調べたところ、傾きは平均的に負であり、片側 t 検定の結果、統計的に有意であることが確かめられた。よって、本震後 1 ヶ月間に伝達関数の平均レベルが減少したことがわかった。

次に、この減少がどれくらいの期間に及んでいたかを調べるため、初めの 30 日間についての解析と同じ解析を本震の 1 ヶ月後以降のいくつかの期間について行った。余震活動が低下したため、本震後 1 ヶ月間に比べデータ量は少なくなったが、18 ないしは 19 個のクラスター観測点ペアについて時間変化を調べることができ、平均的には 10 - 30 Hz の平均レベルが増加している傾向が見られた。特に、本震発生 120 日後から 840 日後の期間について、線形回帰直線の傾きは非常に高い有意性で正を示した。より多くのクラスター観測点ペアのあった最初の 1 ヶ月間における傾向に比べれば不確かさが大きいものの、初めの 1 ヶ月の減少がその後中長期に渡り継続していたわけではないこと、本震発生後数百日間では増加する傾向に転じていたことが明らかになった。また、はじめの 30 日間における減少量とその後 840 日後までの回復量とはほぼ同程度であった。さらに、比較的大きな余震断層を透過する波線経路のみを取り出して、その余震発生前後のデータを含めて見れば、1 ヶ月間の減少がより顕著に現れるのではないかという視点で、11 月 8 日に発生した Mw5.6 の余震について詳細に調べた。予想とおり、このイベント発生前後で断層面を透過する波線経路の伝達関数は、特に波線経路を限定しなかった場合の 5 倍もの減少を示した。

観測された時間変化パターンを説明可能な 2 つの仮説について議論した。1 つは、1984 年長野県西部地震後に同様な現象を見出した Ohtake [1987]により提唱されたものであり、本震により生じたクラックに水が流れ込み、その飽和度の変化により説明するモデルである。このシナリオは、Winkler and Nur [1979]による室内実験に基づいている。彼らの実験は、岩石が dry のときに Q_p は最大で、飽和度が高まるにつれ Q_p は減少し 95 % 飽和で最小値に達するが、95 % 以上では増加に転じ完全飽和に至るまで増加が続くことを示した。中越地震について見いだされた、本震後 1 ヶ月間における Q の減少はこのモデルで説明できるかもしれないが、その後 1 年以上かけて回復する変化をわずか 5%の飽和度の変化におしつけるのは難しいと考えられる。

そこで別の仮説をたてて検討した。余震によるダメージの増加と、その後の時間依存するヒーリング過程によると考える。考えているダメージとは余震によって生成されるクラック、および余震の断層面そのものがすべり破壊することであり、余震が発生するたびに瞬間的にダメージが増加し、減衰が強くなる。最初の 1 ヶ月で観測された伝達関

数の減少は、この期間で生じた余震が活発であったせいであろう。1カ月後以降の伝達関数の回復は、余震活動が低下したため、余震によるダメージの生成よりもヒーリングがまさったためと考えれば、説明できる。M5.6の余震による変化が大きかったことも、この仮説を支持する。