

エンベロープインバージョンに基づく2003年十勝沖地震の短周期エネルギー輻射の推定 —前方散乱近似に基づく解析—

Envelope inversion for the short-period energy radiation of the 2003 Tokachi-Oki Earthquake

澤崎 郁^{1*}, 佐藤 春夫¹, 西村 太志¹

Kaoru Sawazaki^{1*}, Haruo Sato¹, Takeshi Nishimura¹

¹東北大学・理・地球物理

¹Geophysics, Science, Tohoku Univ.

2Hz程度よりも高い周波数帯域の地震波は地殻内部のランダムな短波長不均質構造による散乱を強く受ける。そのため、高周波帯域では地震波のエンベロープ形状に着目した震源解析が有効である。本研究では、前方散乱近似に基づいて新たに開発したダブルカップル型震源による理論エンベロープをグリーン関数として用い、2003年十勝沖地震の短周期エネルギー輻射量の空間分布と地盤増幅率を推定した。

短波長側の速度揺らぎのパワースペクトル密度がべき乗則にしたがうvon-Karman型のランダム不均質媒質の場合、パワースペクトル密度を特徴づけるパラメータは、速度揺らぎのRMS値 e_p 、相関距離、短波長成分の相対的な強さを決めるパラメータ κ で与えられる。地震波長が相関距離よりも十分短い場合、波動方程式に後方散乱を無視する放物近似と統計的マルコフ近似を適用することができる。伝播方向に直交する面内での2点間の波動場の相互相関関数がしたがう支配方程式を導出し、波数領域で表すと、波のエネルギーの伝播方向分布を表す角度スペクトルが距離とともに広がる様子を記述できる。エネルギーの伝播方向の変化を、モンテカルロ法を用いて再現することにより、ダブルカップル型震源の輻射特性を反映させた理論エンベロープを合成できる。理論エンベロープの方位依存性は、直達波到達直後は非等方な震源輻射特性を忠実に反映するが、経過時間の増加と共にその違いが小さくなることが示される。理論エンベロープの時間幅とS波初動からのピーク遅延時間は震源距離とともに増大し、この傾向は e_p が大きく相関距離が小さいほど顕著である。また、 κ が小さいほどエンベロープの周波数依存性が強く、内部減衰 Q_i^{-1} が大きいほど最大振幅の距離減衰勾配が増加することが示される。速度揺らぎの相関距離を5kmに固定したときの理論エンベロープを用いて、北海道地域で発生した小地震の速度3成分2乗和エンベロープ最大振幅の距離減衰勾配とエンベロープ幅からグリッドサーチによりパラメータを推定した結果、2-4, 4-8, 8-16Hz帯域で内部減衰はそれぞれ $Q_i^{-1}=1.1 \times 10^{-3}$, 1.0×10^{-3} , 0.8×10^{-3} , $e_p=0.07$, $\kappa=0.9$ と求められた。

推定したパラメータのもとで合成した理論エンベロープをグリーン関数として用い、2-16Hz帯域における2003年十勝沖地震のエネルギー輻射量の空間分布と地盤増幅率をエンベロープインバージョン法を用いて解析した。インバージョン解析にあたって、北海道のKiK-net地中観測点27点で得られた速度3成分2乗和記録に密度 2700kg/m^3 をかけたエネルギー密度のエンベロープを観測データとした。破壊開始点から等速度 $V_R[\text{km/s}]$ で破壊が広がり、設定したグリッド(20km間隔)の中心を破壊フロントが通過した瞬間から二等辺三角形の時系列にしたがいエネルギーが輻射されると仮定した。インバージョンを行った結果、破壊伝播速度は 3.4km/s と推定された。また、破壊開始点の北西側120km以内の領域で全体の60-80%のエネルギー輻射されたことが明らかとなった。特に強いエネルギーを輻射した領域(破壊開始点の20-60km北西)は、各観測点における最大振幅到達時刻から震源決定した輻射位置(破壊開始点の100km北西)よりも破

壊開始点に近い。これは前方散乱によるピーク遅延効果を反映させた理論エンベロープをグリーン関数として用いたためと考えられる。また、強いエネルギー輻射位置は余震が活発な領域とは重ならず、1Hz以下の波形バージョンにより求められたすべり量の大きい領域と重なった。エネルギー輻射量は2-4, 4-8, 8-16Hz帯域でそれぞれ 3.0×10^{14} J, 7.4×10^{13} J, 7.2×10^{12} Jと推定され、これらの値はオメガ2乗モデルを仮定して M_w 8.0の地震について計算したエネルギー輻射量とおおむね一致した。2-16Hz帯域でのエネルギー輻射関数のピークは破壊開始から23s後に現れ、1Hz以下の低周波帯域を解析して得られた震源時間関数のピーク到達時刻と一致した。インバージョンで推定された地盤増幅率はコーダ規格化法により求められた地盤増幅率とおおむね一致した。

キーワード:短周期強震動,前方散乱近似, 2003年十勝沖地震,高周波エネルギー輻射量

Keywords: short period strong motion, forward scattering approximation, the 2003 Tokachi-Oki Earthquake, high frequency energy radiation