

速度ゆらぎ及び内部減衰が空間非一様に分布するランダム媒質中における最大振幅の距離減衰

Attenuation of maximum amplitude of direct wave due to spatially non-uniform distribution of random inhomogeneities and absorption

高橋 努 [1]

Tsutomu Takahashi[1]

[1] 海洋研究開発機構

[1] IFREE, JAMSTEC

高周波数地震波 (> 1Hz) は媒質の持つランダムな速度ゆらぎによる散乱の影響を強く受け、伝播距離の増大とともに振幅が減衰し主要動継続時間が増加する。我々はこれまで、散乱の影響を最も強く反映する最大振幅到達の時間遅れ(以下、ピーク遅延時間)に着目した解析を行い、第四紀火山群下などで特に速度ゆらぎが大きいことを明らかにしてきた(例えば、高橋・他, 2007 連合大会)。この結果はマグマダイアピルなどの存在によって速度ゆらぎが大きいことを反映していると考えられるが、より詳しく議論するには媒質の内部減衰について明らかにする必要がある。従来行われてきた減衰構造推定では、散乱と減衰を分離して三次元構造を求めることは困難であり、両者の寄与を含めた見かけの減衰因子が未知数とされてきた。しかし、ピーク遅延時間解析から求めた速度ゆらぎを用いることで、散乱による見かけの振幅減衰を適切に考慮できるようになる。よって多重前方散乱以外の効果による減衰項を Q 値として定義することで、この Q 値のみを構造の未知数としたインバージョン解析が可能になると考えられる。本研究では、速度ゆらぎ及び Q 値がそれぞれ空間非一様に分布する媒質を仮定し、数値シミュレーションにより最大振幅の距離減衰の特徴を明らかにするとともに、解析的に最大振幅を評価する方法を提案する。

エンベロープの計算には、stochastic ray-path method と呼ばれる手法を用いた (e.g., Sato & Korn 2007)。この手法は、放物型波動方程式に対するマルコフ近似法に基づいて速度ゆらぎによる地震波の散乱角の確率密度関数を求め、Monte Carlo 法によりエネルギー粒子の伝播を再現する。震源を中心とした薄い球殻の集まりによって媒質を表現し、各層に速度ゆらぎのパワースペクトル密度関数 (PSDF) を特徴づけるパラメータを与える。従来は粒子のエネルギーが常に一定という条件でシミュレーションが行われてきたが、今回は各層内で Q 値による指数関数的な減衰を与えた。速度ゆらぎは von Karman 型の PSDF によって特徴づけられると仮定した。なお、von Karman 型の速度ゆらぎが空間一様に分布し Q 値による減衰がない場合、最大振幅は距離の $2.0 \sim 2.7$ 乗で減衰し、べきの大きさは短波長域におけるスペクトルの勾配にのみ依存する (Saito et al. 2002)。

波線経路に沿って速度ゆらぎが変化し Q 値による減衰がない場合、距離減衰のべきの大きさは地震波が伝播してきた経路上の速度ゆらぎの PSDF を特徴づけるパラメータ全てに依存するという特徴が見られた。例えば波線経路上に異なる PSDF で特徴づけられる二つの媒質が存在する場合、入射する波の波長に対応するスケールでの速度ゆらぎが波線経路上で強くなると、距離依存のべきは一様媒質でのスペクトルの勾配からの予測よりも大きくなる。この特徴は非一様媒質中のピーク遅延時間と類似している。ピーク遅延時間の評価方法として提案した recursive formula (Takahashi et al. G.J.I., in press) を幾何減衰項を補正した最大振幅に適用した結果、構造の変化が滑らかな媒質中において振幅の距離減衰の特徴を説明できることがわかった。

また Q 値による減衰を入れた場合のエンベロープの最大振幅は、上述の手法で予測した振幅に伝播距離と Q 値を用いて指数関数的な減衰を与えるだけでは系統的に振幅を過大評価する傾向が見られた。これは媒質の速度ゆらぎによって最大振幅到達が遅れること、つまりピーク遅延時間が増大することによる平均的な伝播距離の増加の影響である。この影響を考慮し Q 値による減衰を評価することで、速度ゆらぎと Q 値が空間非一様に分布する場合の振幅減衰の特徴を説明できることがわかった。

以上より、ピーク遅延時間解析から求めた速度ゆらぎの三次元分布を用いることで、 Q 値が空間非一様に分布する媒質における最大振幅を解析的に得ることができ、多重前方散乱による振幅減衰を考慮した Q 値の推定が可能になると考えられる。実データ解析に本手法を適用した場合に得られる Q 値は、内部減衰の他に広角度散乱による振幅減衰も含むことになるが、速度ゆらぎの PSDF から後方散乱の Q 値を評価することによって、内部減衰に関する議論が可能になると考えられる。