

ランダム不均質媒質中の非等方震源におけるベクトル波エンベロープ合成

Synthesis of vector-wave envelopes for a non-spherical radiation source in a 3-D random medium

澤崎 郁 [1]; 佐藤 春夫 [1]; 西村 太志 [1]

Kaoru Sawazaki[1]; Haruo Sato[1]; Takeshi Nishimura[1]

[1] 東北大・理・地球物理

[1] Geophysics, Science, Tohoku University

1Hz 程度よりも高い周波数帯の地震波はランダムな不均質構造による散乱の影響を強く受けるため、位相を含めた取り扱いが困難となる。そのため、高周波地震波を解釈するためには、地震波のエンベロープ形状を統計的に扱う手法が有効である。特に直達波近傍のエンベロープは、後方散乱と変換散乱の効果を無視したマルコフ近似を用いることで精度よく再現できることが知られており、短波長不均質構造の推定や強震動予測などに利用可能である。マルコフ近似に基づくエンベロープ合成は、等方震源の場合、放物型方程式に従う 2 周波数相互相関関数を解くことにより得られてきた。しかし、非等方震源を考慮した場合については、Sato and Korn (2005) が 2 次元球面波の場合についてモンテカルロ法を用いて合成を行っているものの、3 次元球面波への拡張は行われていない。我々は Stochastic ray path method (Williamson, 1972) を用いて、非等方震源の効果を組み込んだ 3 次元球面波についてのベクトル波エンベロープを初めて合成した。

地震波の波長が地震波速度ゆらぎの相関距離よりも十分短い場合、前方散乱が卓越し、後方散乱および変換散乱を無視することができる。このような条件のもとでは、地震波の大局的な伝播方向に直交する面内における波動場の相互相関関数 CCF が放物型方程式に従う。CCF をフーリエ変換して波数領域で表現した量は角度スペクトル ASF とよばれ、震源からの距離 r における波の伝播方向の分布を表す。距離 $r+dr$ における ASF は、距離 r における ASF と散乱角分布関数 Φ との畳み込みで表現される。ここで関数 Φ はランダム媒質のパワースペクトル密度関数 (PSDF) に依存し、前方散乱に卓越する形状を示す。したがって、震源から観測点までを厚さ dr の多数の球殻で分割し、球殻境界面上で ASF を順々に解くことにより、任意の震源距離における ASF を計算することができる。本研究では、震源から一方向にエネルギー粒子を射出させ、球殻境界面に到達するごとに Φ を用いて確率的に散乱角を与えて粒子の伝播方向を変化させ、これを観測点のある最外殻球面まで繰り返す。最外殻球面における粒子の到達位置の分布は震源からのエネルギー射出方向の分布と等価であると考えられるため、エネルギー粒子に震源輻射特性の重み付けを行うことにより、非等方震源の効果を取り入れる。また、最外殻における粒子の振動方向を radial, transverse, vertical 各成分の基底ベクトルに投影することにより、粒子のエネルギーを 3 成分に分配する。この計算を多数の粒子について行い、震源から最外殻球面までの走時の頻度分布を時間軸上で作成し、3 成分 MS エンベロープを計算する。

ランダム媒質の PSDF には von-Karman 型を用いた。この PSDF を規定する不均質パラメータを、速度ゆらぎの rms 振幅 0.05、相関距離 5 km、高波数側のべきを決めるパラメータ 0.5 と選び、ダブルカップル型震源について計算を行った。震源距離 100km、中心周波数 10Hz の場合、直達波近傍のエンベロープは震源輻射特性を強く反映するが、S 波走時の 1.2 倍を過ぎると震源輻射特性による方向依存性は見られなくなった。3 成分合成 RMS エンベロープの最大値は、方向により最大で 2.4 倍の差異が見られた。また、震源輻射特性の影響は震源距離が長くなるほど見られなくなり、この傾向は特に高周波のエンベロープで顕著であった。これらの特徴は、観測された小地震のエンベロープ記録の特徴と良い一致を示す。