

群遅延時間の分散スペクトルによる位相特性のモデル化（その12）波線理論に基づく異方散乱モデルによる分散群遅延時間スペクトル

Modeling of Phase using Variance Spectrum of Group Delay Time-Part 12: Variance Spectra by Ray-based Anisotropic Scattering Model

澤田 純男[1], 片岡 慶太[2]

Sumio Sawada[1], Keita Kataoka[2]

[1] 京大・防災研, [2] JR東日本

[1] DPRI, Kyoto Univ., [2] JR East

地震動の位相特性に対する伝播経路の異方多重散乱の影響を調べるために、波線理論に基づくシミュレーション手法を開発した。従来はエネルギー粒子理論に基づく解析法がよく行われていたが、この方法では位相特性を正しく把握することは難しく、さらに内部減衰を導入することが困難などの問題点があった。開発された手法によって、異方散乱パラメータとQ値によるパラメータスタディを行った結果、観測記録から得られた分散群遅延スペクトルを説明できる異方散乱パラメータとQ値の複数の組があることがわかった。

1. はじめに

地震動の位相特性に対する伝播経路の異方多重散乱の影響を調べるために、波線理論に基づくシミュレーション手法を開発した。従来はエネルギー粒子理論に基づく解析法がよく行われていたが、この方法では位相特性を正しく把握することは難しく、さらに内部減衰を導入することが困難などの問題点があった。開発された手法によって、異方散乱パラメータとQ値によるパラメータスタディを行った結果、観測記録から得られた分散群遅延スペクトルを説明できる異方散乱パラメータとQ値の複数の組があることがわかった。

2. エネルギー粒子理論

Hoshiya(1991, 1993, 1995)によるエネルギー粒子理論に基づくシミュレーションは、震源からエネルギー粒子を多数放出し、これらがランダムに存在する散乱点で運動方向が変化する、いわゆるブラウン運動的な振舞いをするとして、観測点の単位面積を通過する粒子数の時系列をカウントする。散乱点からの距離を s とし、次の散乱点に達する確率を

$$P(S) = g \exp(-gS)$$

と与える。ここに g は平均自由行程の逆数である。また異方散乱特性を、前の散乱点から現在の散乱点を結ぶ直線と、現在の散乱点から次の散乱点を結ぶ直線のなす角を θ とし、

$$f(\theta) = \exp[-\mu \sin^2(\theta/2)]$$

の形で与える。幾何減衰は観測点の単位面積の、震源と観測点の直線距離を半径とする球の表面積に対する割合が低下することによって表現される。

3. 波線理論に基づく解析法

波線理論では、震源と観測点を結ぶ多数の波線を確定したのちに、それぞれの波線の振幅や位相に従って重ね合わせることによって、グリーン関数を得る。波線の長さに反比例する振幅を与えることによって幾何減衰を与え、別に内部減衰を付加することもできる。最終散乱点までの波線の経路は、エネルギー粒子理論と同じ方法で与えることができるが、最終散乱点から観測点までの波線の決定方法が問題となる。

エネルギー粒子理論では、最終散乱点から観測点に至る経路についても、それ以前と同様にブラウン運動させた結果、観測点における単位面積を通るかどうかが、その粒子がカウントされるかが決まる。しかしながら波線理論では最終散乱点から観測点まで強制的に結ばなければならない。しかしながら無条件に最終散乱点と観測点を結ぶと、最初に仮定した散乱点から次の散乱点までの距離 S の分布に合致しなくなる。また、仮定した異方散乱特性とも遊離する。

そこで本研究では、最終散乱点から観測点まで波線が到達するかどうかの確率を、次式で与える。

$$\Pr(S_r, \mathbf{r}) = \exp(-gS_r) f(\mathbf{r})/E$$

ただし、 S_r と \mathbf{r} は最終散乱点から観測点までの距離と方向、 E は \Pr の定義域全体の積分値を1にするための係数である。右辺の \exp の項は、最終散乱点から観測点までの距離 S_r 間にもう一つ散乱点が存在しない確率を表している。最終散乱点から観測点までは \Pr に従った波線数だけを考慮することとし、その他の波線は無視する。このようにして得られたグリーン関数を2乗積分したエネルギー分布は、エネルギー粒子理論から求められたものと、ほぼ一致した。

4. 解析結果

グリーン関数をフーリエ変換して求められた位相スペクトル () の傾きである群遅延時間スペクトル $\text{tgr}()$ を、オクターブ幅の長方形フィルターによって移動平均と分散を求めたものを、それぞれ $M()$ と $S^2()$ として、

$$S^2() \sim () R^2$$

と考えた時の係数 () について調べる。R は震源距離である。伝播速度 3.5km/s, 平均自由行程 10km として、 $\mu=1, 2, 3, 4, 8$ の場合について $Q=50, 100, 150, 200$, とした時の () を求めた。内部減衰が無い場合には、() は低周波から高周波になるに従って大きくなり、0.2~0.5Hz 付近で多少上下するものの一定となる傾向があるのに対し、減衰がある場合には 0.2~0.5Hz 付近で最大値をとったあと Q 値の大きさによって高周波数になると再び小さくなる。減衰が大きいほど最大値の大きさも小さくなり、高周波数側で小さくなる早さも早くなることがわかった。澤田他(1999)や k-net 能勢観測点記録から求めた () と傾向が合致するパラメータは、 $\mu=1$ の時 $Q=100$ 程度、 $\mu=4$ の時 $Q=150$ 程度と、複数の組が考えられることがわかった。低周波側での観測記録による結果がノイズなどの影響で信用できないこともあり、() の低周波数領域での挙動は、さらに詳細な検討が必要と考えられる。