

モンテカルロシミュレーションに基づく非等方多重散乱を考慮した3成分ベクトル弾性散乱波エンベロープ合成

Envelope synthesis of multiply-scattered three-component vector elastic waves based on the Monte Carlo simulation

前田 拓人 [1]

Takuto Maeda[1]

[1] 防災科研

[1] NIED

コーダ波の計算において、波動論に基づく散乱理論 (e.g., Sato, 1984; Yoshimoto et al., 1997) は弱い不均質の仮定の下で散乱の非等方性と不均質の統計的な特徴との関係を明らかにしている。だが、エンベロープの合成はあくまでも一次散乱近似に基づいて行われており、比較的短い経過時間の間のみしか適用できないという欠点があった。その一方で、近年の輻射伝達論の発展に伴い、多重散乱波の理論エンベロープ波形が合成されるようになってきた。輻射伝達方程式を解析的に解くのは一般には困難であるが、多数の粒子の統計的な振り舞いによってエンベロープ形状を計算するモンテカルロ法によって波動論から導出された非等方散乱を用いた多重散乱波エネルギーの解析が行われるようになった (Margerin et al., 2000; Przybilla et al., 2006)。本講演では Direct Simulation Monte Carlo (DSMC) 法 (Yoshimoto, 2000) によるエンベロープ合成法の枠組みの中に S 波の偏極方向の情報を付加することによって、非等方散乱を考慮した 3 成分エンベロープ形状を数値的に合成する方法を提示する。

ランダム媒質における S 波の非等方散乱は、散乱係数によって特徴付けられることが知られている (e.g., Sato and Fehler, 1998)。DSMC 法では多数の粒子の挙動でエネルギーを記述するので、非等方散乱を統計的に表す必要がある。そこで、散乱係数をその立体角積分で規格化することで、散乱が起きた際に散乱波が特定の方向に伝播する確率分布関数を散乱振幅の関数として表現した。分布関数の逆関数がわかれば一様乱数から上記の分布関数に従うランダムな散乱角を生成できるが、S 波散乱係数の場合、分布関数の逆関数は解析的に表現できない。そこで、実際の計算では予め 0.5 度のグリッド間隔で分布関数を計算しておき、乱数の値にもっとも近い分布関数値を与える角度を二分法により検索するという方法を採用した。

散乱角は入射 S 波の偏極方向から測られた角度であるため、実際に DSMC 法で粒子を散乱させるためには、偏極方向の情報が必要となる。そこで、伝播する S 波粒子ひとつひとつに偏極方向を表すベクトルを定義し、そのベクトル粒子の SV 波振動方向となす角によって偏極方向を特徴付ける。個々のエネルギー粒子の振動極性方向と S 波の振動基底ベクトルとから、その粒子のもつ単位エネルギーを 3 成分それぞれの方向への弾性波振動エネルギーに分割することが可能である。振動極性ベクトルと振動基底方向は散乱の度に变化するが、散乱後の振動方向は入射方向と散乱方向および入射波の振動極性から、3 次元空間内の回転変換によって解析的に表現可能である。すべての粒子についての 3 成分のエネルギーを加算することで、3 成分の MS エンベロープを評価することができる。

上記手法の検証のため、実際に数値計算を行った。震源としては座標系原点に等方 SH 震源を置いた。不均質構造としては、特徴的スケールと波数の積が 0.1 の指数型ランダム媒質を仮定した。震源から 1500 万個の粒子をランダムな方向に輻射させ、全散乱係数および刻み時間幅と一様乱数とから、時間刻み毎に散乱が起こるか否かを判断する。一定時間間隔毎に震源を含む水平断面内 (xy 平面) にメッシュを切り、各メッシュの中に含まれる粒子数とそれぞれの粒子の偏極方向とから、3 成分のエンベロープ振幅の空間分布を計算した。計算の結果、SS 散乱係数の逆数である平均自由行程だけ震源から離れた点における直達波では、波面における波の殆どがトランスバース方向に振動する SH 波であるため、x 成分は y 軸方向に、y 成分は x 軸方向に強い振幅を持つ。これは散乱が起こらない均質媒質においても期待される現象である。しかしながら、震源では輻射されていない z 成分の振幅も散乱によってわずかに生成されている。経過時間が増大し、コーダ波の部分になると、散乱によって偏極方向が乱され、水平面内の x, y 成分の振幅の違いは急速に減少する。経過時間が十分に経った後においては、z 成分まで含めて偏極方向が十分にランダムになり、3 成分の振幅が震源からの方向によらず等しくなることが明らかになった。