

ランダム媒質の自由表面におけるベクトル波エンベロープの導出 マルコフ近似理論

Synthesis of vector-wave envelopes on the free surface on a random elastic medium: Markov approximation

江本 賢太郎 [1]; 佐藤 春夫 [1]; 西村 太志 [1]

Kentaro Emoto[1]; Haruo Sato[1]; Takeshi Nishimura[1]

[1] 東北大・理・地球物理

[1] Geophysics, Science, Tohoku University

固体地球の内部を伝播する地震波は不均質な速度ゆらぎによる散乱の影響を受けるため、震源ではパルス的であっても、伝播距離の増大に伴って継続時間が拡大してゆくことが知られている。この現象は、ランダムな速度ゆらぎを持つ媒質を伝播する地震波を統計的に扱うことで説明される。特に地震波の波長が媒質の相関距離よりも短い場合には、マルコフ近似を用いてベクトル波のエンベロープを導出することが出来る。ここでマルコフ近似とは、後方散乱を無視し、前方散乱の効果のみを考慮した統計的なエンベロープの直接導出法である。ランダムな速度ゆらぎがガウス型自己相関関数で表される無限媒質の場合、ベクトル波のエンベロープは解析的に導出されている [Sato (2006)]。しかし実際の観測は地表で行われるため、自由表面上におけるベクトル波形エンベロープを正確に求めることが重要であろう。本研究では、マルコフ近似を用いたエンベロープ合成に自由表面の効果を取り入れ、その影響を調べる。

振幅の2乗平均エンベロープは、進行方向に垂直なトランスバース面上で定義された2周波数相互相関関数の角周波数に関するフーリエ変換によって表される。無限媒質での2乗平均エンベロープは、初動到達から少し遅れて最大値を持ち、時間の経過とともに徐々に減衰していく。2周波数相互相関関数のトランスバース面上における空間座標に関するフーリエ変換は、波数ベクトルの角度分布、即ち角度スペクトルを与える。無限媒質の場合、角度スペクトルは初到着直後には進行方向へ鋭いピークを持つ分布であるが、時間が経過するにつれてピーク値は小さくなり、分布の裾野は広がっていく。本研究では、P波速度 6.0 km/s、S波速度 3.46 km/s、速度ゆらぎ 5%、媒質の相関距離が 5 km のガウス型自己相関関数で特徴付けられる2次元ランダム媒質において、P波とS波に相当するパルスの平面波が深さ 100 km からそれぞれ地表へ鉛直に入射する場合を想定する。ここでは、2成分の2乗平均エンベロープの和の時間積分が1になるように規格化した。無限媒質において、各時刻で角度スペクトルを水平方向、鉛直方向にそれぞれ射影し、波数領域で積分することによって成分毎の2乗振幅エンベロープが求められる。自由表面を設定した場合、角度スペクトルに入射角に応じた水平方向と鉛直方向の増幅係数を掛け、波数領域で積分すればよい。この積分は数値的に行う。P波入射の場合には地表で反射されるP波と変換されるSV波を考慮し、S波入射の場合にはSV波の反射とP波への変換を考慮した増幅係数を用いた。なお、ここでは表面波の励起は考慮しないこととした。無限媒質の場合、P波入射とS波入射では鉛直方向と水平方向への寄与が逆になっているだけで、対称性がある。しかし自由表面での増幅率はそれぞれ異なるため、この対称性は崩れる。

無限媒質での2乗平均エンベロープは、P波入射の場合、鉛直方向と水平方向で最大値の到着は初動到達からそれぞれ 0.1s と 0.4s であり、その値は 1.72 と 0.08 であった。また、S波入射の場合には、鉛直方向と水平方向でそれぞれ初動到達から 0.6s と 0.2s に最大値をとり、その値は 0.05 と 0.99 であった。P波入射の場合、初動到達から 0.1s 後の時刻で角度スペクトルを求めると、入射角分布のピークは0度で、半値幅で約 26 度の広がりを持っている。地表での2乗平均エンベロープは、P波入射の場合、最大値の到着時刻は無限媒質の場合と変わらないが、最大値は鉛直方向と水平方向それぞれ 6.86 と 0.42 であった。つまり、それぞれ無限媒質の 4.0 倍と 5.1 倍となる。また、S波入射の場合、最大値の到着時刻は鉛直方向では初動到達から 0.5s であったのに対し、水平方向では変化がなかった。最大値は鉛直方向と水平方向でそれぞれ 0.22 と 3.91 となり、これはそれぞれ無限媒質の場合の 4.6 倍と 3.9 倍である。つまり、P波入射、S波入射ともに2乗平均エンベロープの最大値の増幅率は、鉛直方向と水平方向で異なる。たとえばP波入射の場合、水平方向のエンベロープの最大値の2成分の和のエンベロープの最大値に対する地表での比は、無限媒質での比より約 27 % 大きい。エンベロープを形成している散乱波の入射角は一定ではなく時間経過と共に変化するため、自由表面を設定した場合、その上では単に振幅が2倍になるわけではなく、エンベロープの形状が歪み、最大値をとる時刻もずれることがわかる。