

水平成層構造中の不均質による2次元SH散乱波の波形合成 蓬田 清 (北海道大学大学院理学研究科)

Waveform synthesis of 2-D SH scattered seismic waves in layered media

Kiyoshi Yomogida

(Division of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Hokkaido University
Sapporo 060-0810, Japan: yomo@ep.sci.hokudai.ac.jp)

著者らは、これまで境界積分法を用いて高周波地震波の散乱・減衰を波形を決定論的に議論してきた (e.g., Yomogida et al., 1997) が、より現実的な水平成層構造中での散乱による波動場の合成を本研究では試みる。散乱体としての M 個の空隙がある層の2次元SH波動場を以下のように表現する:

$$u(P) = \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N a_{ji} G(P, Q_{ji}) + \sum_{i=-K}^K \eta_d(k_i) \exp(ik_i x + i\gamma_i z) + \sum_{i=-K}^K \eta_u(k_i) \exp(ik_i x - i\gamma_i z)$$
$$\gamma_i = \left(\left(\frac{\omega}{\beta} \right)^2 - k_i^2 \right)^{1/2}$$
$$\text{Im } \gamma_i \geq 0$$

空隙からの散乱波は空隙境界に沿って分布する N 個の強さ a_{ji} の人工震源からの解析的グリーン関数 G (無限均質媒質の場合のハンケル関数) で、上下境界面からの寄与は波数 k_i での強さ η_d の down-going と η_u の upgoing の平面波の足し合わせで表現する (波数積分についても人工震源と同様に、離散化して $(2K+1)$ 個の和で近似する)。Bouchon (1985) らは類似の問題ですべて平面波分解の形で表現したのに対し、本研究では、散乱体からの寄与はこれまでと同様に線震源で表現する一方で、水平境界面からの寄与のみを平面波分解の形を用いることで、それぞれの散乱波の特徴を生かした表現形式になっている。

散乱体がある層以外では、通常水平成層構造で用いられる propagator matrix 等を利用した平面波分解で波動場を表現する。波数毎の表面での変位と最下層での downgoing の平面波の強さが未知数となり、上の a_{ji} , η_d , η_u を合わせた5種類の未知数は、散乱体を含む層の上下の境界面上で変位と traction が連続であることから、この誤差を最小二乗法的に最小になるように決める。未知数の総数の次元の連立方程式を解くことに帰着する。安定した計算結果を得るには、人工震源はこれまでの研究より、考えている波長の1/4以下程度で十分である。また波数についてはBouchon (1985) らの研究で議論されているように、波数間隔は aliasing による相が合成波形の時間内に入らないように細かく、表面波動的 inhomogeneous wave は本研究のモデルではほとんど無視できるので、これを若干拾う程度の波数の範囲 K でよいことが予想され、実際の計算結果でも確認された。この方法は成層構造部分では平面波分解を用いているので、散乱体を含む層がひとつあるいは少数の場合なら、多層構造でも記憶容量と計算時間が著しくは増加しない。

図は、上の表現を用いて、20個の空隙がある媒質で鉛直下方からの平面波入射の場合の波形を示す (速度等は無次元化した)。まず、半無限媒質の左上図では、半無限媒質のグリーン関数を用いて上式の右辺第1項だけで表現するこれまでの結果と十分な精度で一致することを確かめた。右上図は3層の水平成層構造の真ん中の層に空隙がある場合の結果である。半無限媒質の場合の波形と比べて、表面での速度が遅いために空隙からの散乱波そのものが若干増幅している。また、水平成層の境界面からの反射・透過による相が、多重反射も含めていくつか見られる。半無限媒質の波形と比較すると、水平成層構造による相が単に重なっただけでなく、散乱波そのものが層境界からの反射・透過の影響との干渉による影響で、増幅や変調を受けている点が、最も重要である。これは散乱体を境界面により近づけたモデルの波形によって、この相互作用がより顕著であることも示すことも確認した。

さらに、この定式化は境界面からの寄与を多くの波数の平面波の足し合わせとして表現しているため、空隙を含む層の上下境界面が弱く凸凹してもそのまま応用できる (Aki and Larner, 1970)。境界面の「弱い」不規則性とは、波長との兼ね合いで Rayleigh-Ansatz error 等が無視できる条件であり、その適応範囲は十

分に調べられている。左下図は、右下図の実線のように上側の境界面に凹凸を導入した媒質での波形である。水平成層構造での波形に比べて、境界面での反射・透過での波形の乱れがさらに入っている。実際の地球内部で散乱が強い部分は成層構造が無視できないような場合も多く、またその境界面も不規則であることも予想される (e.g., モホ面、核・マントル境界)。本研究の手法をP-SV波そして3次元モデルへと拡張できれば、そのような場合に観測される散乱波形を定量化できる可能性がある。

引用文献

- ・ Aki and Larner, *J. Geophys. Res.*, 75, 933-954, 1970.
- ・ Bouchon, *J. Acoust. Soc. Amer.*, 44, 1-5, 1985.
- ・ Yomogida, Benites, Roberts and Fehler, *PEPI*, 104, 175-192, 1997.

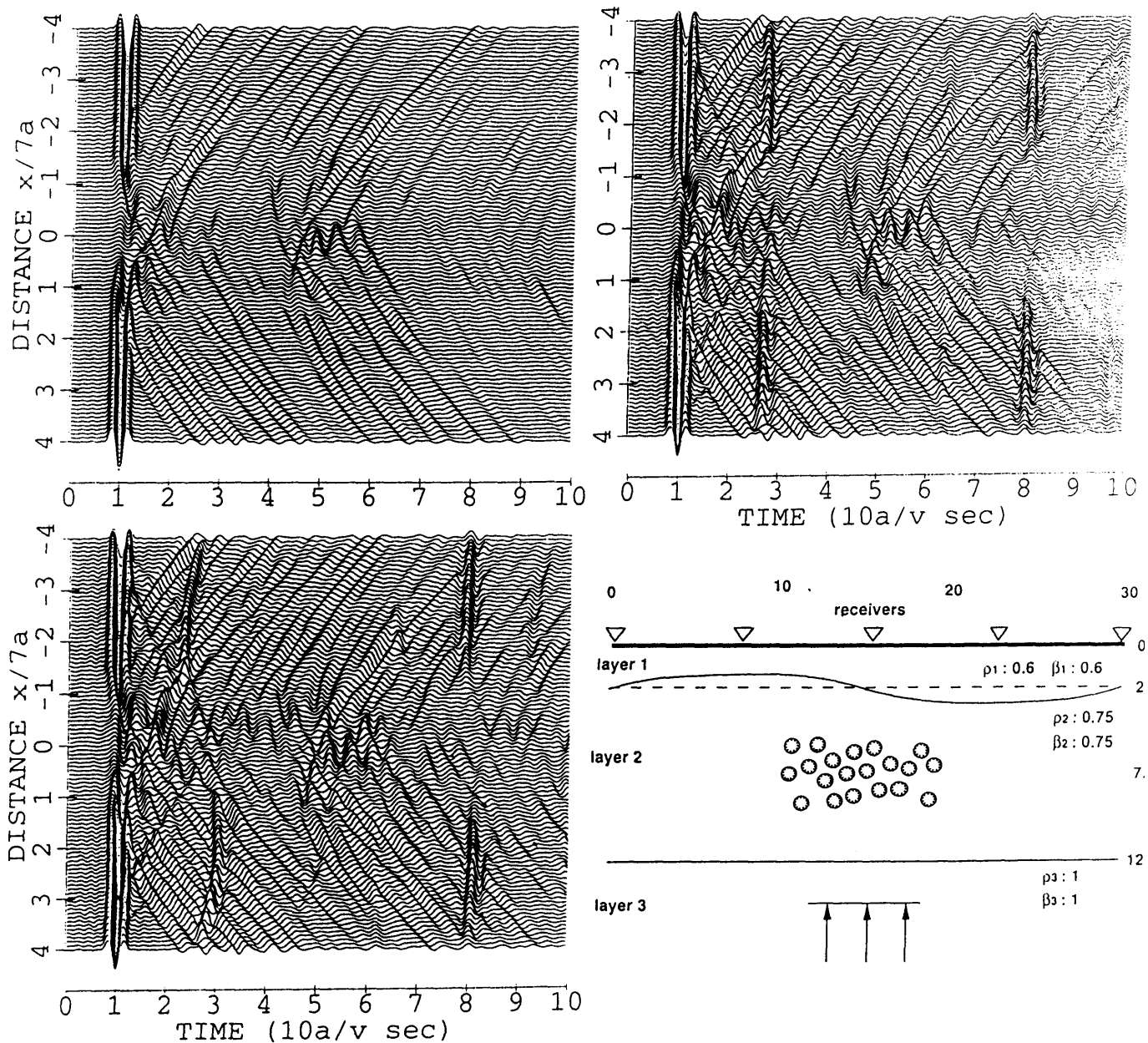


図 不均質性としての空隙 (半径 0.5、以下無次元化した値で扱う) が 20 個分布した媒質に鉛直下方から中心周波数が 0.5 のリカー波を震源関数とする 2 次元 SH 平面波が入射した場合 (右下) の表面での合成波形。(左上) 半無限一様媒質 (S 波速度 0.75)、(右上) 水平 3 層媒質、さらに (左下) 第 1 層と第 2 層の境界面が平らでない (振幅 0.5、波長 30) 媒質。時間軸の全体の幅は 50。