

海底ノイズ記録の自己相関関数に現れる反射 S 波： 数値シミュレーションからのアプローチ

利根川貴志（海洋研究開発機構）・武村俊介（横浜市立大学）

1. 反射 S 波の走時差の成因

海底地震計で観測される数 Hz 付近のノイズ記録の自己相関関数を計算すると、音響基盤（海底堆積物の底）からの反射 S 波が抽出されることがわかってきた(Tonegawa et al., 2013, JGR)。また、その反射 S 波の走時は S 波の振動方向によって変化しており、アウターライズ域では、その空間パターンから海底堆積物中のクラック配列の影響を受けていることが示唆された（利根川・他, 2014, JpGU）。しかし、その走時差が異方性構造以外のパラメータによって影響を受けるのかどうか、もう少し詳細に検討する必要がある。例えば、(1) 堆積層の底が傾斜している場合、反射 S 波の走時差に影響を与えないのか、(2) P 波・S 波の異方性の一方もしくは両方の影響を受けるのか、(3) ソース配置（入射波）が等方的か異方的であるか、などである。本研究では、異なる条件で反射 S 波を差分計算で再現し、それらの特徴を検証することで上記の項目を考える。

2. 異方性を取り入れた 3 次元差分法

変位一応力の差分計算を、空間・時間 2 次の精度で rotated staggered grid (Saenger et al. 2000) で行った。弾性定数は VTI (vertical transverse isotropy), HTI (horizontal transverse isotropy) の六方晶系を計算できるように 5 個設定し、対称軸の回転によって対称性が低くなったときは、それに応じて最大 21 個まで設定できるようにした。計算領域 (x-y-z) は $16 \times 16 \times 12$ km³ で、領域内に 2 層置き、グリッド間隔は 0.05 km、観測点は (x, y, z) = (6, 6, 0) に設置した (図 1a)。震源は中心周波数 0.71 Hz (最大 1.0 Hz) のリックカー波形で、深さ 5.5-8 km に図 1b のように配置し、各震源で水平のシングルフォースを加振した。その際に加振の向きは、図のように $\Delta \phi = 10^\circ$ ごとに回転させ、観測で記録する水平動の方位もソースの振動方向と一致するようにした。また、最小 S 波速度を 1.0 km/s と設定したので、1 波長あたり 20 格子とり、最大 1.0 Hz まで評価した。得られた波動場の自己相関関数を計算し、振動方向の関数で自己相関をプロットすることで、反射 S 波の走時の特徴を調べた。

3. 結果

(a) 等方性媒質：水平成層構造と傾斜面

観測点下、深さ 2 km に水平の境界面を置いた場合、自己相関関数のラグタイム 4.13 秒に反射 S 波が現れた。等方性媒質なので、振動方向による走時差はない。また、傾斜面（傾斜角度 5° ）を置いた場合は、3.94 秒に反射 S 波が現れた。この場合は、走時の絶対時刻が変化したが生、振動方向による走時差はなかった。

項目(1)：反射 S 波の走時差は反射面の傾斜の影響を受けない。

(b) 異方性媒質： $V_p = -2\%$, $V_s = -2\%$

上の層に HTI の異方性を入れた。ラグタイム 4.1-4.18 秒に反射 S 波が現れ、振動方向によって走時差が現れた。この走時差を測定すると異方性の大きさは 1.93 % となり、与えたパラメータと非常に良い一致を示した。

(c) V_p の異方性の影響は： $V_p = -10\%$

VTI の S 波の異方性をゼロにし、P 波の異方性を下向きから 30° 傾斜させた。その結果、反射 S 波の走時差（絶対走時は 4.05 秒）は無かった。

項目(2)：反射 S 波の走時差は S 波の異方性の影響のみ受ける。

(d) 異方的なソースの配置

(b)の場合の波形とほぼ一致し、異方性の大きさも 1.97 %と与えた構造と良い一致を示した。
 項目(3)：真下からの入射を確保していれば、反射 S 波とその走時を再現できる。

4. 結論

パラメータを変えた差分計算によって、観測で得られた反射 S 波の走時ゆらぎの成因について検討した。その結果、反射面の傾斜や P 波の異方性には影響を受けず、海底堆積物中の S 波速度異方性構造の影響を受けることがわかった。また、ソースに関しては、異方的な配置をしていても、真下に近い入射波が確保されていれば、与えた構造の異方性を反映したゆらぎが得られることがわかった。

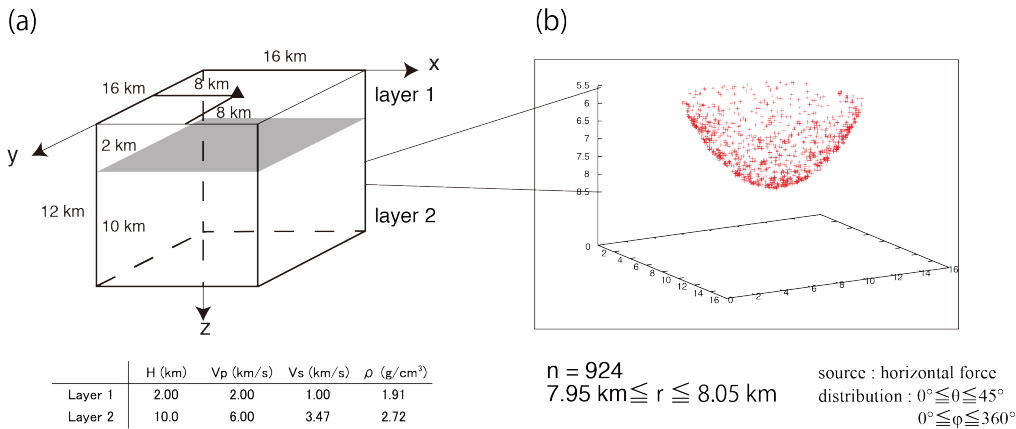


図 1 (a) 2層構造の計算領域, (b) ソースの配置

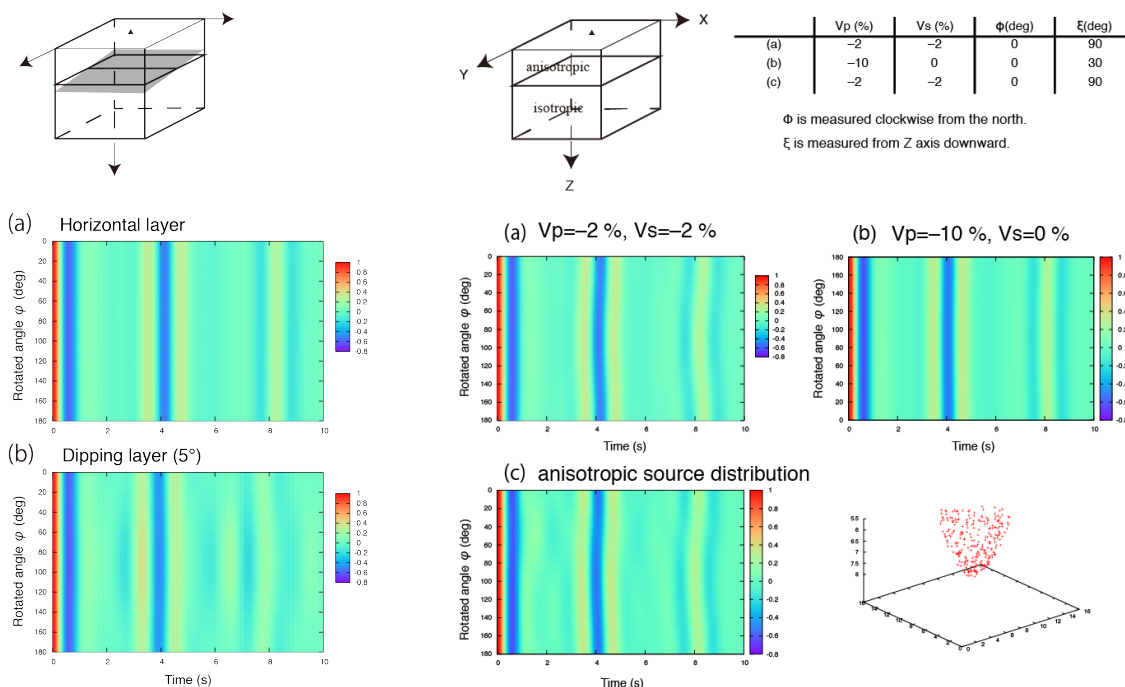


図 2. 等方性媒質の場合.

(a) 水平境界面, (b) 傾斜 (5°) 面の場合.
 横軸は自己相関関数のラグタイム、
 縦軸は振動方向を表す。

図 3. 異方性媒質の場合.

図 2 と同じ. (a) $V_p = -2\%$, $V_s = -2\%$ の異方性を入れた場合.

(b) $V_p = -10\%$ の異方性だけを入れた場合.

(c) ソース配置が異方的な場合. 右図はソースの配置

1 象限のみに配置 ($x, y > 8 \text{ km}$)

. 異方性のパラメータは右上の表に記載.