

表層不均質構造における波動伝播過程

松島 潤（地質調査所）、デリバル・トルデ、六川修一（東京大学大学院）

1. はじめに

地殻の弾性的性質が不均質性を有しているという認識は一般的になり、不均質性を対象とした様々な研究が地震学の分野を中心に行われてきており、近年では物理探査の分野でも行われるようになった。

いま地殻を広い範囲で眺めてみると、不均質性のコントラストが最も大きいのは、表層付近における風化層と呼ばれる低速度層とその直下層との境界（以下では、この境界面を屈折境界面と呼ぶ）ではないだろうか（2~3倍のコントラストは珍しくない）。このような不均質性のコントラストが波動伝播過程に与える影響の大きさもさることながら、風化層自体が非常に低速度を呈する場合も多く、このことが特に地震波走時のゆらぎに大きな影響を与えると考えられる。

本研究では、不均質構造を有する風化層をモデル化し、そのモデルにおける波線・波動論的作用を解析し、その作用が反射法地震探査処理の中で重要な位置を占める静補正処理に及ぼす影響を考察することを目的としている。

2. 表層不均質構造における波線・波動論的作用とその反射法地震探査処理への影響

一般的には複雑な形状をしている屈折境界面をサイン波で展開表現する。数値実験に用いた数値モデルならびに発震・受振点配置を Fig. 1 に示す。Fig. 1 において、表層の低速度層部分とその下部層との境界をサイン波曲線で表現し、その振幅 a と空間波長 b をパラメータとし、これらパラメータを変化させる。また深度 465 m には反射係数が -1 である反射面が存在する。

2.1 表層の低速度層により反射波がどのようにゆらぐのか？

Fig. 1 に示したモデルにおいて、スカラー波動方程式の差分近似法により反射波の計算を行った。 $a=9$ m, $b=240$ m の場合について、反射面の存在するモデルにおいて計算された結果から、反射面の存在しないモデルで計算された結果を減算することにより、反射波を抽出した (Fig. 2)。Fig. 2 において入力波形の周波数を変化させている ((a) 10 Hz, (b) 5 Hz, (c) 2.5 Hz)。周波数が低くなるにしたがって反射波のゆらぎが小さくなっていく様子が見られる。これは表層不均質性の反射波への波動論的作用である。

2.2 表層の低速度層の情報をどれくらいの精度で求められるのか？

表層の低速度層の情報を得るためには、屈折法地震探査の手法が一般的に適用されている。

(a) アイコナル方程式の差分解法による初動走時計算（波線論的アプローチ）

Fig. 1 に示した数値モデルにおいて走時場を計算する手法として、アイコナル方程式を差分法で解く方法によった。具体的な計算手法としては、正方形領域に計算を進行させていく Vidale (1988) の手法を、波面伝播領域に計算を進行させるように改良した Qin et al. (1992) の手法を用いた。計算領域は 1200 m × 1200 m、グリッド数 400 × 400 個で、グリッド間隔は 3 m である。また発震・受振配置については、Fig. 1 に示すように両端に発震点 2 点を配置し、その内側を受振点 316 点が均等に配置している。初動走時にリックカー波形 (10 Hz) をコンボリューションした記録を Fig. 3 に示す。

(b) スカラー波動方程式の差分解法による初動波形計算（波動論的アプローチ）

Fig. 1 に示した数値モデルにおける波動論的作用を調べるために、スカラー波動方程式の差分解法を用いた。計算領域の端からの不要な反射波が記録に現れないように、計算領域を設定した。発震・受振配置については上述と同様である。Fig. 4 に計算結果を示す。屈折波が同定しやすいように直接波を除去し、表示も工夫している。Fig. 3 と Fig. 4 を見比べると Fig. 4 の方がゆらぎが小さいことがわかる。

ところで、屈折法により表層の低速度層の情報を得るためには、初動走時を利用した解析が一般的に行われる。しかし、もし初動走時がほとんど周波数依存性を有しないとすれば、Fig. 2 で示されたような周波数依存

性を有する反射波パターンの補正処理には適さないと思われる。松岡ほか(1999)は初動走時を用いるのではなく、初動波形を用いた屈折法を提案した。この手法の大きな利点は、松岡ほか(1999)でも述べられているように、初動走時ピックの作業が不要な点にある。それに付け加えて、初動波形を用いることは、波動論的な扱いをすることに相当し、波動論的な作用を受けた反射波パターンの補正には初動波形を用いた松岡ほか(1999)の方法が有効であると考えられる。

3. まとめ

もし初動走時がほとんど周波数依存性を有しないとすれば、初動走時を用いた屈折法解析は、波線論的アプローチに分類される。このアプローチに基づいて波動論的作用を受ける反射波パターンを補正する処理(静補正)は合理的ではないと考えられる。これに対して松岡ほか(1999)が提案した初動波形を用いる方法は、波線論的アプローチに分類され、反射波パターンの補正には合理的であると思われる。

参考文献

松岡俊文, 林 徹明, 芦田 譲 (1999): 屈折境界面のイメージング法, 物理探査学会第100回学術講演会論文集, 51-54.

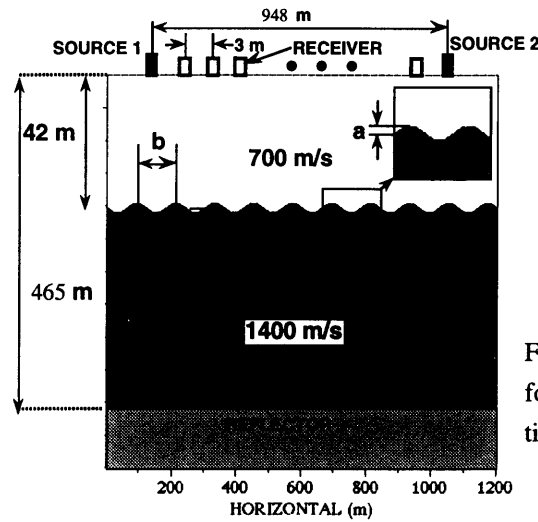


Fig. 1 Numerical simulation model for a seismic survey and the specifications of data acquisition.

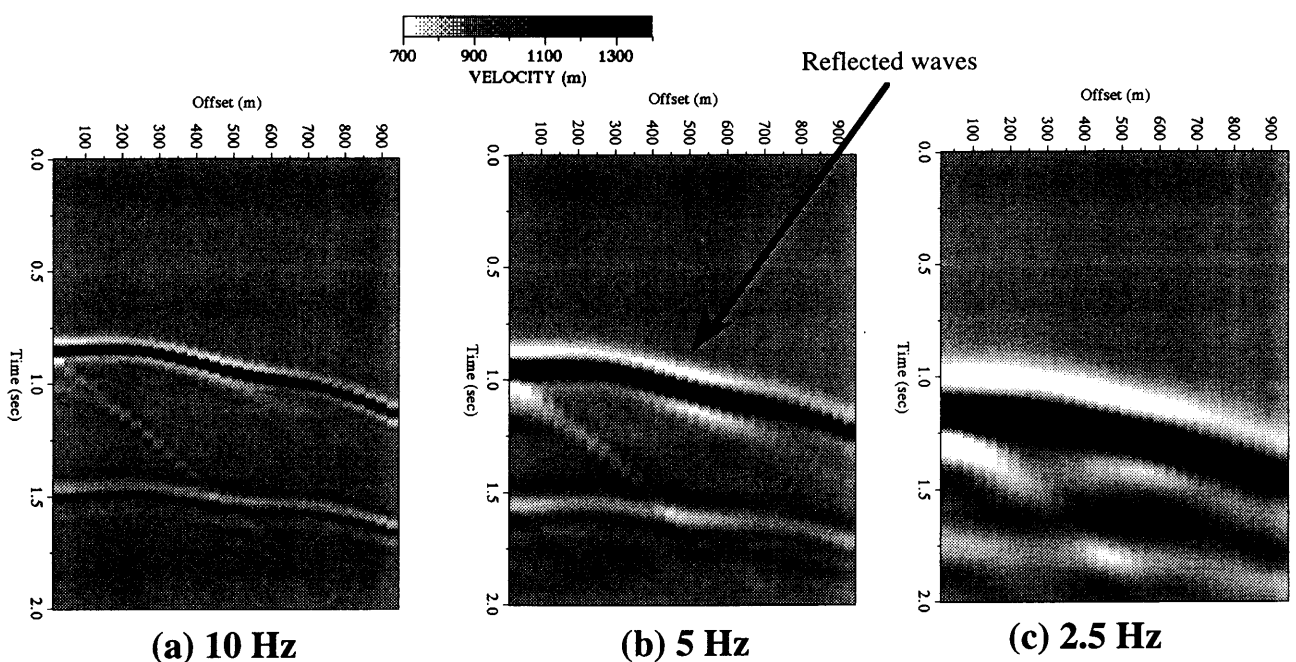
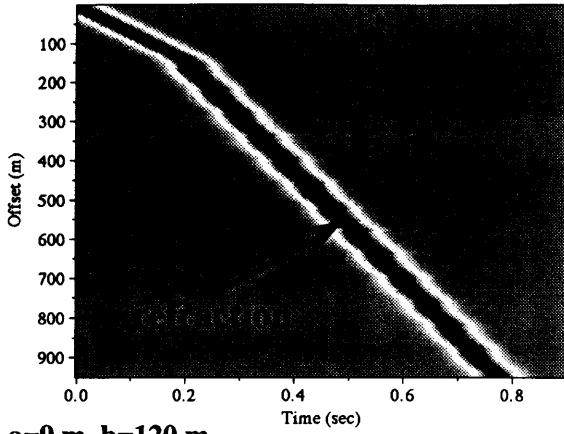
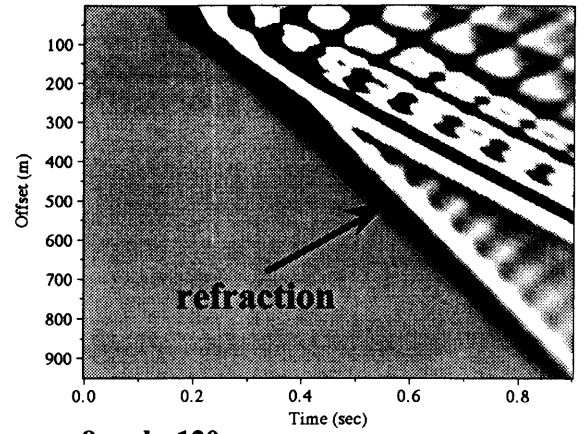


Fig. 2 Finite difference solution to the scalar wave equation(10 Hz). Reflected waves were extracted.

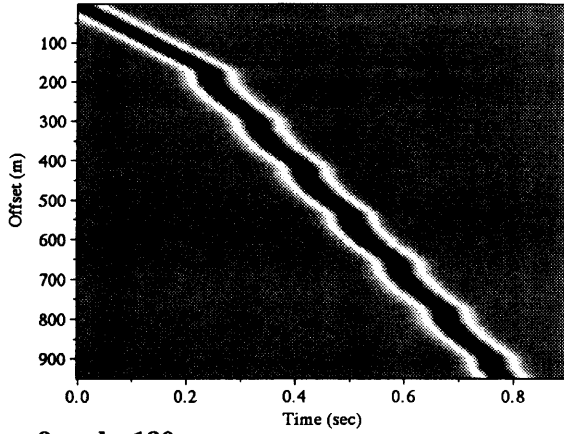
a=9 m, b=60 m



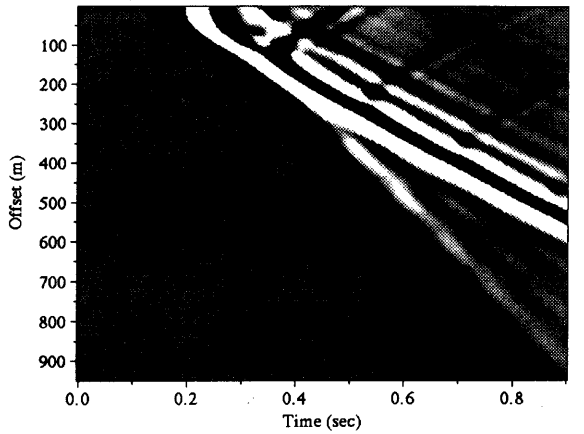
a=9 m, b=60 m



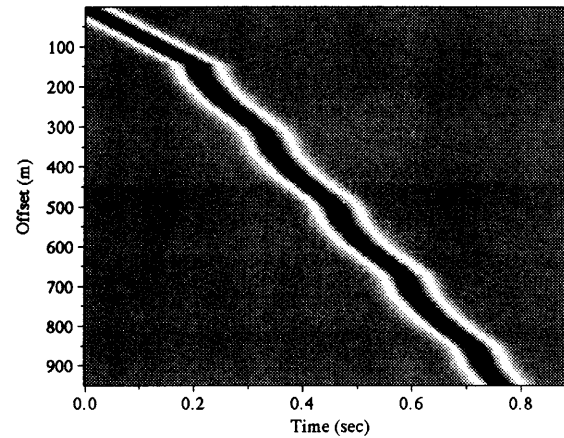
a=9 m, b=120 m



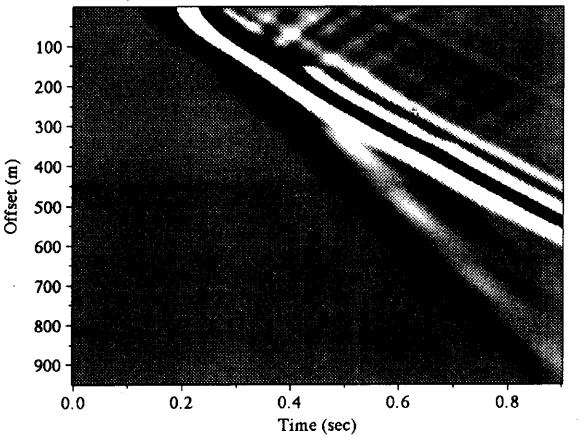
a=9 m, b=120 m



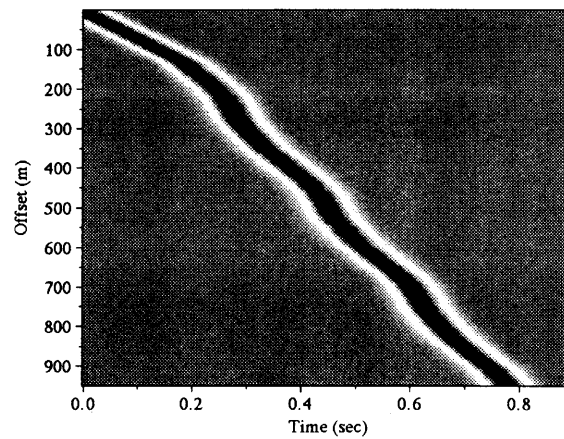
a=9 m, b=180 m



a=9 m, b=180 m



a=9 m, b=240 m



a=9 m, b=240 m

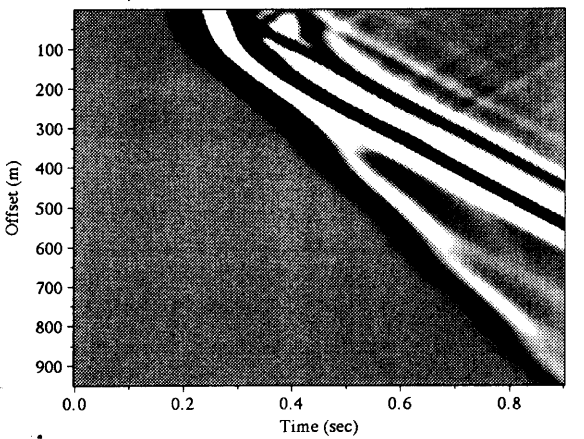


Fig. 3 First arrival traveltimes computed by a finite difference solution to the eikonal equation were convolved with Ricker wavelet(10 Hz).

Fig. 4 Finite difference solution to the scalar wave equation(10 Hz).