

地震波干渉法を用いた実体波の抽出と S 波スプリッティングの観測

宮澤理稔 (京大防災研)

Roel Snieder (Colorado School of Mines)

Anumapa Venkataraman (ExxonMobil)

カナダ，アルバータ州コールドレイクのボアホールにおいて記録された地表起源の人工・工業ノイズから，地震波干渉法を用いて地中に伝播していく P 波と S 波を抽出し，また S 波スプリッティングを観測した。

コールドレイクでは埋蔵量の豊富なオイルサンドを採掘するために，油井が地表からオイルサンドの堆積層まで掘られている．オイルサンドは常温では流動性が殆どないために，油井を通じて高温高压の蒸気を注入することで粘性を減らした後，同じ油井から汲み上げられる．このプロセスは繰り返し行われて，1 サイクルあたり数ヶ月を要する．この際，蒸気や生成されたオイルが通過することに伴うケーシングの破壊は，周辺土壌の環境汚染に繋がる．従って破壊をモニターして蒸気注入をコントロールするために，鉛直のボアホールが掘られ，ジオフォンが設置されている．

本研究で用いたオイル生産パッドでは，深さ約 420–470 m にオイルサンドが堆積し，放射状に広がる 28 本の油井の中央付近にモニタリング用の鉛直井戸が掘られている．そこには 8 つの三成分型ジオフォンが深さ 190 m から 370 m の間に設置され，2 kHz サンプリングで記録が連続収録されている．蒸気注入中に記録された最上部センサーの波形と，他の深いセンサーの波形との相互相関をとり，センサー間を伝播する波の P 波成分と S 波成分の推定を行った (図 1)．但し相互相関関数にはノイズの震源関数の情報が含まれている．15 秒のタイムウィンドウ毎に 2 点のノイズ波形の相互相関を取り，計約 1 ヶ月間の相互相関関数を各成分と組み合わせ毎に全て足し合わせた．用いたノイズ記録からは，誘発地震やケーシングの破壊の波形は取り除いている．その結果，高速 (~2.2 km/s) 高周波 (~20 Hz) の波と低速 (~0.7 km/s) 低周波 (~10 Hz) の波が，地表から鉛直下向きに伝播していく様子が鉛直成分と水平成分から見つかり，これらはそれぞれ P 波，S 波と同定された (図 2)．地表に向かって真上に伝播していく波は確認されなかったが，これはオイルサンド堆積層上部での上方反射が弱いことや，また堆積層を伝わる波の減衰も大きいため，上方伝播する波は下方伝播する波に比べて極めて振幅が小さいことを意味している．

更にこの鉛直下向きに伝わる S 波について詳細に調べると，東北東-西南西方向に偏向した S 波は，北西-南東方向に偏向した S 波よりも約 1.9 % 早い伝播速度を持っていた．但し伝播速度の差は 0.2 % より高い精度で決定される．S 波の早く伝わる方向は，周辺の水平最大主応力軸から約 40 度時計回りに回転していた．本研究は構造パラメータを精度良く決定するために，地震波干渉法が有効な手法であることを示した．

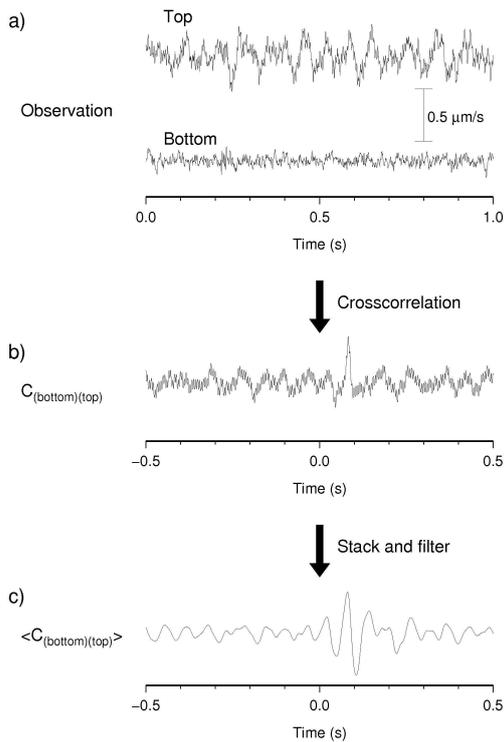


図1：地震波干渉法のシグナル解析手順。
 (a) 最上部，最下部のセンサーで観測されたノイズの上下成分速度波形。浅い観測点ほど，ノイズの振幅も大きい。生波形なので60 Hzの電気ノイズも含まれている。
 (b) 2つのノイズ波形の相互相関関数。実際には15秒のタイムウィンドウを利用している。0.08秒辺りにシグナルが見える。
 (c) 約1ヶ月分の相互相関関数をスタックし，10-55 Hzのバンドパスフィルタをかけた波形。(b)で示したシグナルがより明瞭に見える。これは最上部のセンサーから最下部へのセンサーへの伝播するP波を示している。

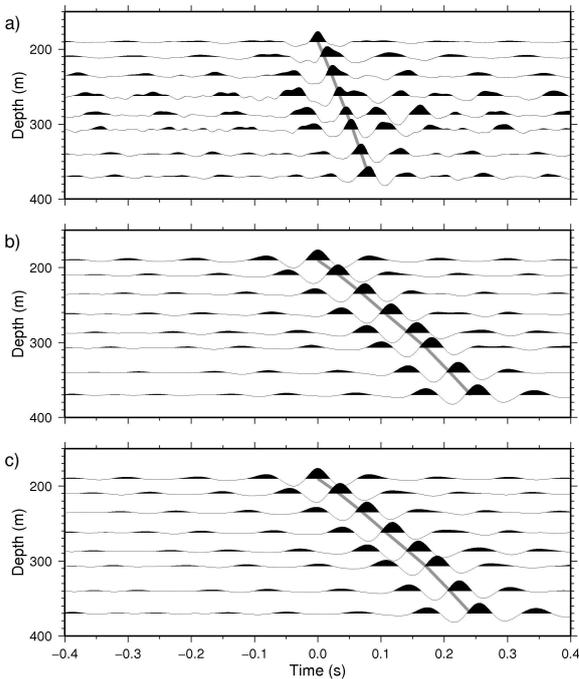


図2：最上部センサーと他のセンサー（最上部を含む）との相互相関関数。波形は相互相関を取る相手波形が観測されたセンサーの深さにプロットしている。(a)上下成分，(b)東西成分，(c)南北成分。それぞれ最上部の波形は，自己相関関数でもある。(a)の最下部の波形は，図1(c)と同一である。シグナルが下方に伝播している様子が見える。灰色のカーブは，鉛直下向きに伝播するP波走時(a)，S波走時(b,c)を最上部の到達時刻で減じたものである。P波，S波の伝播速度構造は別途求められている。

(図は Miyazawa *et al.* (2008)より)

Reference

Miyazawa, M., R. Snieder, and A. Venkataraman (2008), Application of seismic interferometry to extract P and S wave propagation and observation of shear wave splitting from noise data at Cold Lake, Canada, *Geophysics*, **73**(4), D35-D40, doi:10.1190/1.2937172.