

地震波や電磁波など波動現象のフルウェーブフォーム解析による探査法の研究

三ヶ田 均*・武川順一*¹¹・亀井志織*²²

1. 研究の目的

地下を非破壊で可視化する物理探査には、反射法地震探査や電磁気探査などの波動現象を利用する手法がある。どちらの場合にも、地下に向けて何らかの信号を射出し、その入力に対する地下の応答を記録する手法となる。地震波や電磁波といった波動の入力に対する地下からの応答が、地下の物性や構造の変化を伝える手法である。波動現象を利用したフルウェーブフォーム解析（以下 FWI と略称する）では地下の速度構造、電磁波を利用する FWI では、地下の比抵抗構造が探査の対象となり、対象に合わせた信号源および受振（受信）位置が決定される。人工的な構造物や地下構造により、探査対象に関する応答を得ることが困難な場合もある。本研究では、地震波干渉法を応用し、電磁波および地震探査双方で、仮想的な信号源の設置およびその仮想的な信号源に対する地下の応答が得られることを確認することを目的とした。

2. 研究の方法

本研究では、GPR などの電磁波を用いる調査における干渉法の有効性を確認するため、数値実験を実施した。まず時間領域 (FDTD) の有限差分法を用い、TE モードを仮定したマクスウェル方程式を解いた。その後、いくつかの単純な数値モデルによって取得された合成データセットに干渉法を適用した。図 1 に半無限媒質中に空洞のあるモデルを示す。地表には電磁センサがアレイ状に並べられている。モデルに与えた比誘電率および比透磁率は、空気および空洞に対しともに 1.0、地下を構成する媒質にはそれぞれ 4.0 および 1.0 を与えている。また信号の周波数は 6MHz とした。図 2 および 3 に、上方進行平面電磁波に対する干渉法適用後の記録、そして図 1 の仮想信号源位置に実際に信号源を置いた場合の記録を示す。波形に差異が見られるものの、干渉法の適用により、あたかも仮想信号源に実際の信号源があるかのような記録が得られることがわかる。

地震波探査の数値実験では、海洋における反射法探査を想定し、海中のモノポール音源および海底に設置した 1 点の三成分地震計を用いた海底下の S 波探査の実現の数値実験を行なった。海水などの流体では、剛性率は零であり、S 波は伝播しない。その水中で発震する震源がモノポールであ

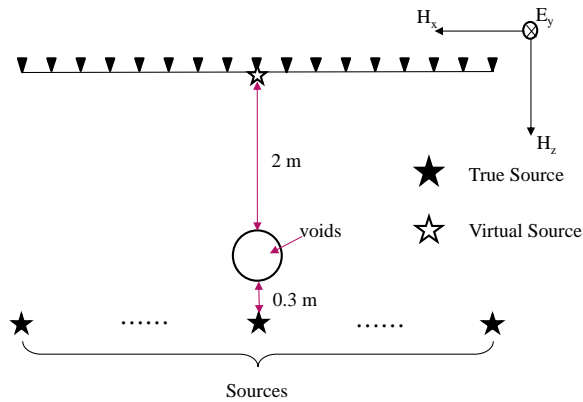


図 1 空洞を含む半無限媒質に下方から電磁平面波が入射するモデル。白抜き星印は仮想信号源位置を示す。

*京都大学・教授, *1 同・助教, *1 同・教務補佐

ることから、S波を発生させることは極めて困難である。この条件で、海底下のS波探査を、地震波干渉法で実現する試みを行なっている。数値計算モデルに対し、時間二次精度、空間四次精度のスタガード格子を用いた二次元有限差分法 (Virieux, 1986; Levander, 1988) を適用した。データ処理は図 3-2 に示した通りである。数値シミュレーションで得られた受振点における圧力変動および水平動変位のデータについて、まず直達波ミュートや予測デコンボリューションによるホワイトニング処理の後、発震点の異なるデータ全てに干渉法を適用した。

3. 得られた成果

図 2 の元となる干渉法適用前の信号は、下方から上方に向かい伝播する電磁波であったにも拘らず、干渉法適用後の記録は地表信号源に対する反射波記録となる。このことは、干渉法の適用により、複数の受信器のどれかを信号源とする記録を容易に得られることを示している。

また海洋における 1 点の海底設置三成分地震センサを用いた数値実験では、地震波干渉法を用い、海洋では困難と考えられてきた S 波反射法探査の実現可能性を確認することができた。たとえ 1 点の受振器であっても、相反定理を用いることにより、震源位置が複数あれば干渉法の適用が可能である。また、隣り合う震源の極性を離れた記録間の差を取ることで、仮想的なダイポール震源の記録も作成可能であることが判明した。

4. 謝辞

本研究は、株式会社地球科学総合研究所の委託研究として遂行された。関係各位に篤く御礼申し上げる。

発表論文

Ozasa, H., Asakawa, E., Murakami, F., Hondori, E.J., Takekawa, J., Mikada, H., 2020, Survey performance of deeply-towed marine seismic vibrator-Comparative Study with imaging results from an airgun array, SEG International Exposition and Annual Meeting 2019, 57-61. doi: 10.1190/segam2019-3215492.1

Watanabe, Y., Mikada, H., Takekawa, J., 2020, Seismic estimation of spatial distribution of subsurface stress field - analysis of shear wave anisotropy caused by non-hydrostatic stress components, Offshore Technology Conference Asia 2020, OTCA 2020.

参考文献

Levander, A.R., 1988, Fourth-order finite difference P-SV seismograms, *Geophysics*, 53(11), 1425-1436. doi: 10.1190/1.1442422

Virieux, J. 1986, P-SV wave propagation in heterogeneous media: velocity-stress finite-difference method, *Geophysics*, 51 (4), 889-901. doi: 10.1190/1.1442147

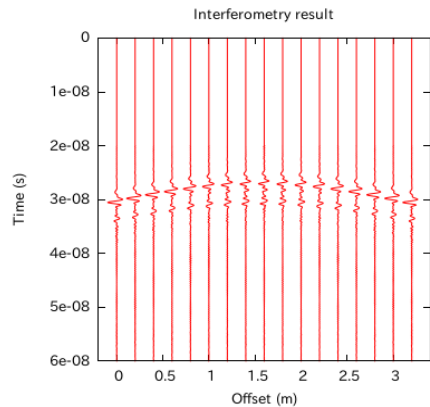


図2 図1の仮想信号源位置に対する干渉法記録。

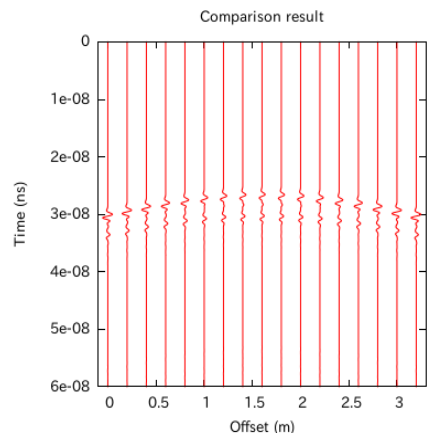


図3 図1の仮想信号源位置に、実際に信号源を置いた場合の記録。