

常時微動アレイ観測に基づくS波速度構造の合理的推定法

福井大学 正会員 ○小嶋 啓介
越前市役所(元福井大学) 上良 紗代

1. まえがき

常時微動のアレイ観測から地盤のS波速度構造を求める場合、観測位相速度をターゲットとし、事前に設定した層厚とS波速度の最適化を行うことが多い。しかしながら、周辺の地盤情報が不足している場合には、地盤構造の設定が困難であること、層厚とS波速度にはトレードオフが発生する場合もあり、一義的な最適モデルが得られないことがある。ここでは、アレイ観測によるRayleigh波の位相速度から直接的に初期S波速度モデルを設定し、その最適化を行うS波速度構造推定法について検討する。

2. 位相速度に基づくS波速度構造推定の定式化

常時微動のアレイ観測からS波速度構造を推定する方法は、1) 複数の半径によるアレイ観測を行う。2) 空間自己相関法などによる半径ごとのRayleigh波位相速度を一つにまとめた観測位相速度を求める。3) 周辺の地盤情報を参考に層分割し、各層の厚さ、密度、S波速度などを設定した初期地盤モデルを作成する。4) 観測位相速度をターゲットとし、層厚やS波速度の最適化を行う、という段階からなることが多い。上記の内、2)は個人的判断に依存する場合があります、時間と手間がかかる傾向もある。また、3)においても、周辺に適当な地盤調査情報が存在せず、試行錯誤的に初期モデルを設定する場合も多い。また、アレイ観測の本来の目的が、観測地点のS波速度構造の算出にあるとの立場からは、周辺の地盤情報を必要とすることは本末転倒ともいえる。この問題に対処するため、上記の2)段階以降を次のように修正する。2)半径ごとの位相速度曲線から、有効と思われる周波数範囲を切り出し、波長一位相速度関係を求める。この際、多価関数となる場合には、位相速度の小さい方を採る。位相速度の分散を基準として半径ごとの位相速度から1本の位相速度曲線を求める。3)深さZまでの平均S波速度が式(1)、(2)のように、波長 λ の位相速度で近似できること¹⁾を利用して、深さ $Z = Z_{\min} \times 10^{(\alpha \times \log_{10}(i/N))}$ のS波速度を求める。ここに、 $Z_{\min}$:最小深さ、 N :分割数、 α :最小深さと分割数から決まる係数である。4)2)で求めた位相速度をターゲットとして、深さZのS波速度の最適化を行う。

$$\bar{V}_{S_Z}^T = Z / \left(\sum_{i=1}^{N-1} \frac{H_i}{V_{S_i}} + \frac{H_N}{V_{S_N}} \right) \cong C_\lambda \leftrightarrow \lambda = 1.33Z + 1.73 \quad (1)$$

$$\bar{V}_{S_Z}^H = \left(\sum_{i=1}^{N-1} H_i V_{S_i} + H_N V_{S_N} \right) / \sum_{i=1}^N H_i \cong C_\lambda \leftrightarrow \lambda = 2.22Z \quad (2)$$

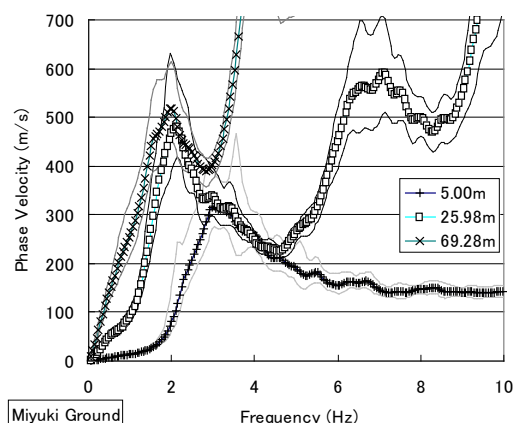


図-1 アレイ半径ごとの観測位相速度

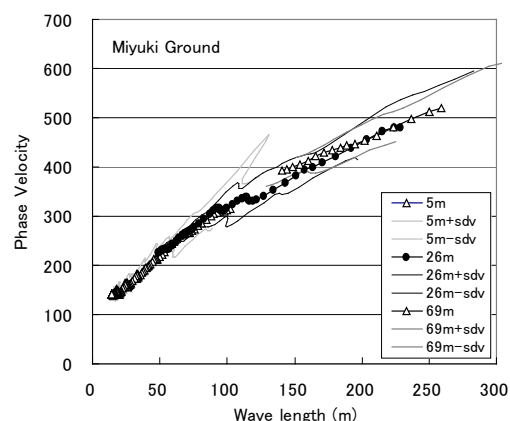


図-2 アレイ半径ごとの波長一位相速度

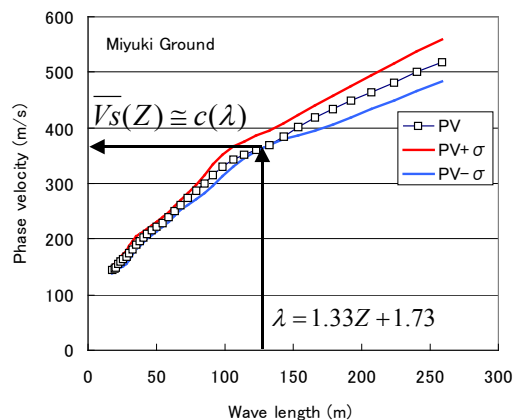


図-3 位相速度に基づくS波速度の算定

キーワード アレイ観測, Rayleigh波位相速度, S波速度構造, 同定

連絡先 〒910-8507 福井市文京3-9-1 福井大学建築建設工学専攻 T E L 0776-27-8592

3. アレイ観測と適用結果

常時微動のアレイ観測は正三角形配置とし、アレイ半径としては 5, 15, 40m を標準とする 3 種類を設定し、中心と頂点間および頂点同士の同時観測記録に空間自己相関法 (SPAC 法) を適用した。図-1 は福井市の御幸グラウンドにおける観測位相速度の一例である。同図のプロットと上下の細線は、位相速度の平均値と標準偏差を示している。図-1 の結果から、アレイ半径ごとの有効と思われる周波数範囲を取り出し、波長と位相速度の関係に書き直したものが図-2 である。150m 程度より小さい波長では、半径ごとに得られた位相速度が、同一の波長に対し複数存在する多価関数となっている。位相速度の平均±標準偏差が求まっている波長範囲を、対数表示で等間隔に分割した波長ごとに、位相速度の最適値を取り出したものを図-3 に示す。この際、同一のアレイ半径で、波長ごとに複数の位相速度が求まっている場合には最小値を採り、複数のアレイ半径によって位相速度が求まっている場合には、標準偏差の小さいアレイ半径の値を採用した。

図-4 および 5 は、図-3 に示した観測位相速度に基づき、式 (1) と (2) の走時および層厚平均 S 波速度との近似式を用いて算出した S 波速度構造である。図中の太線は、御幸グラウンドから約 300m 離れた地点で実施された P S 検層による S 波速度分布を示している。走時平均 S 波速度から求めた S 波速度は、全体的に変化が激しいが、P S 検層の S 波速度が増大する深度付近で急増する傾向が認められ、層厚平均 S 波速度から求めた S 波速度は、設定できる深度が浅く、速度変化深度に若干のずれがあるが、安定的で P S 検層に近い S 波速度分布が得られている。上記の結果を考慮し、浅部は層厚平均を、深部は走時平均 S 波速度に基づく推定値をもって、S 波速度の同定に際しての初期 S 波速度とする。図-6 の○で示す観測位相速度をターゲットとして、遺伝的アルゴリズムにより、S 波速度の最適化を実施した。図-7 の□と●が初期および最適 S 波速度構造であり、図-6 の灰色線と実線は対応する理論位相速度である。P S 検層による S 波速度とその理論分散曲線を、図-7 の灰色線および図-6 のドットで示す。検層地点が若干離れているため厳密な比較はできないが、本手法により、P S 検層に近い S 波速度に修正され、事前に設定していなかった層境界も結果的に求められていると判断できる。

4. あとがき

アレイ観測による Rayleigh 波の位相速度曲線に基づき、初期 S 波速度構造の設定と最適化計算をルーチン的に実施する方法を示した。今後、適用事例を増やし精度の検証と実務への応用を検討する予定である。

参考文献：1) 長尾・紺野，常時微動のアレイ観測に基づく表層地盤の平均 S 波速度推定精度に関する研究，土木学会論文集，696，2002，2) 安井・西川，福井県の KiK-net 観測地点の速度構造と減衰特性の検討，建築学会 2009 年度学術講演梗概集。

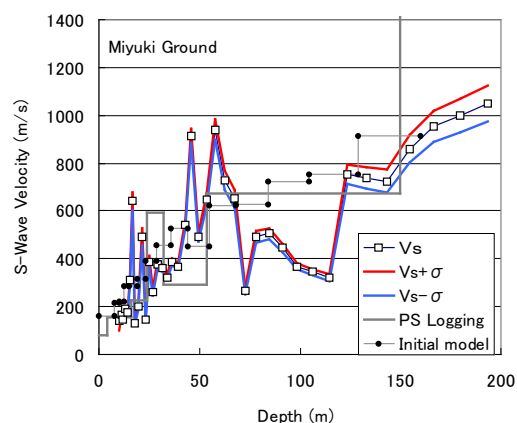


図-4 走時平均による初期 S 波速度構造

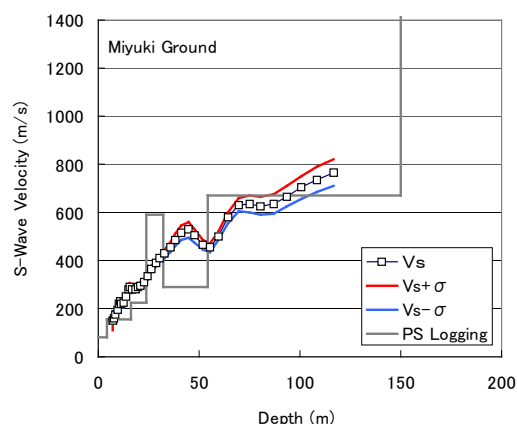


図-5 層厚平均による初期 S 波速度構造

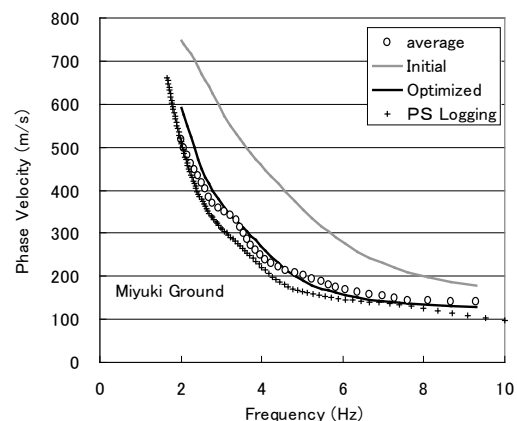


図-6 位相速度の比較

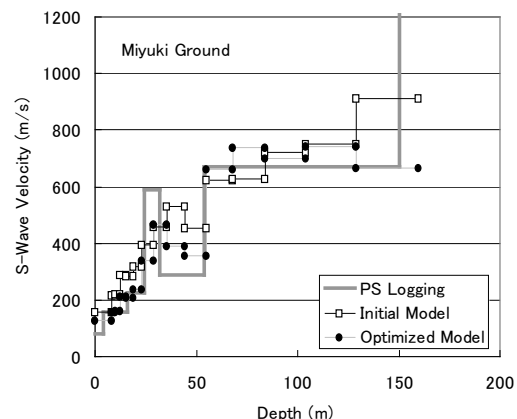


図-7 推定された S 波速度構造