

空間自己相関係数に基づく福井平野のS波速度構造の推定

福井大学 正会員 ○小嶋 啓介
 福井大学大学院 山本 将史
 (株)日本海コンサルタント 本 耕大

1. はじめに

地震被害予測を行う上で、的確なS波速度構造の想定が非常に重要である。弾性波探査やボーリング調査などは信頼性は高いが、多大なコストのため多くの地点で実施するのは困難であり、福井平野周辺でも実施例は少ない。本報告では、常時微動のアレイ観測から求められる空間自己相関係数に基づいて、Rayleigh 波位相速度を介さず直接S波速度構造を推定する方法を示すとともに、福井平野に適用した結果を検討する。

2. 空間自己相関係数に基づくS波速度構造の推定

従来、常時微動アレイ観測からS波速度構造を推定しようとする場合、SPAC法やFK法を適用して求められたRayleigh波の位相速度に基づいて、インバージョンにより地下構造を推定する方法が採用されている。しかしながら、地盤増幅特性の算出に必要なものは位相速度ではなくS波速度構造であること、位相速度の算出には手間と時間ならびに個人の判断が入る可能性があるという問題点がある。そこで本研究では、観測から直接求めることができる空間自己相関係数を比較対象とする逆解析により、S波速度構造の推定を試みる。具体的には、アレイ観測から求められた三成分空間自己相関係数を比較対象とし、次のような目的関数を設定し、地盤各層のS波速度および層厚を未知パラメータとし、遺伝的アルゴリズムにより目的関数を最小化するS波速度構造を推定する。

$$J = \frac{1}{F} = \sum_{r=1}^{N_R} \sum_{k=1}^3 \sum_{f=1}^{N_f} \left(\frac{\rho_{rkf}^o - \rho_{rkf}^c}{\sigma_{rkf}} \right)^2 \rightarrow \min$$

ここに、 J ：目的関数、 F ：適応度関数、 r ：アレイ半径、 k ：成分（半径、接線および上下）、 f ：周波数、 ρ_f^o ：観測空間自己相関係数、 ρ_f^c ： ρ_f^o

に対応する理論空間自己相関係数、 σ_f ：観測空間自己相関係数の分散を示している。

3. 適用結果

図-1は、福井平野周辺の地形図上に、アレイ観測地点を示したものである。アレイ観測は福井平野に散在する学校、グラウンドなど75箇所で行った。正三角形アレイを採用し、5、15、40mを基本とする3種類の半径によるアレイ観測を実施した。アレイ観測地点のS波速度構造モデルの推定にあたり、どの地点においてもS波速度が1800~2000m/sの第三紀基盤岩上に、沖積層2層と洪積層2層が堆積して

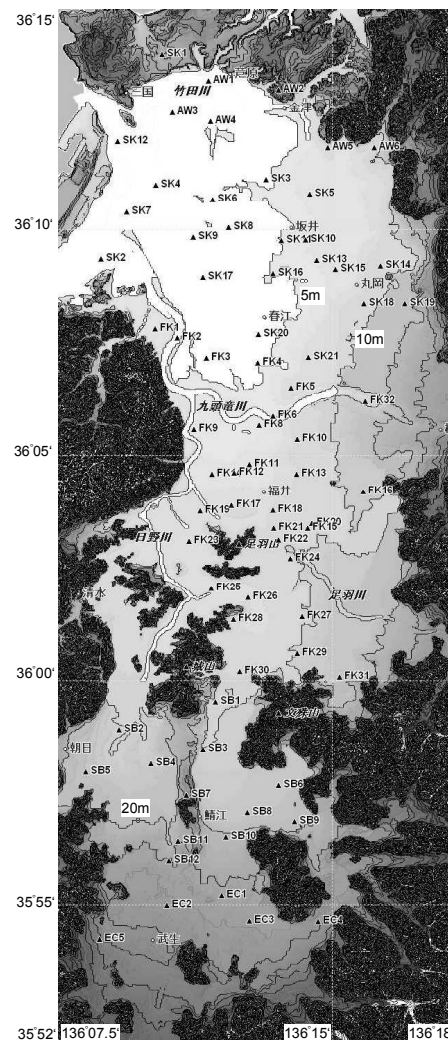


図1 アレイ観測地点

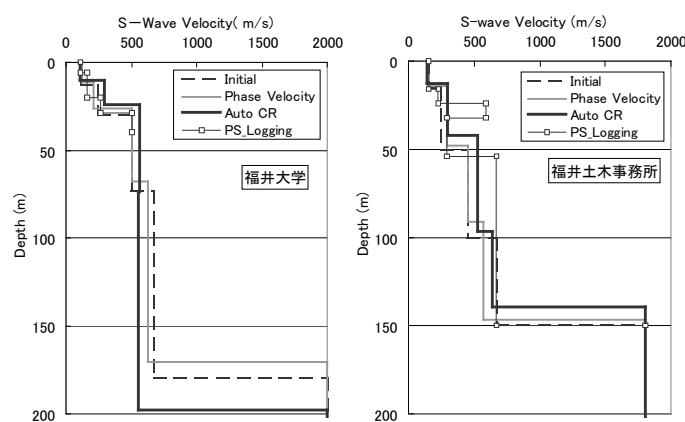


図-2 アレイ観測地点の推定S波速度構造

キーワード アレイ観測、空間自己相関係数、S波速度構造、同定、福井平野

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 TEL 0776-27-8592

いと仮定し、各層の層厚とS波速度を推定対象とし、密度は固定しP波速度はS波速度と連動させた。

図1の中央付近のFK11(福井大学)とFK20(福井土木事務所)では、PS検層が実施されている。図-2はこれらの地点に本手法を適用して得られたS波速度構造を、PS検層結果とともに示したものである。空間自己相関係数に基づいて推定されたS波速度構造は、従来のRayleigh波位相速度に基づいた推定結果に近いこと、薄い硬質土層を除きPS検層の結果とも調和的であることが確認できる。図-3のplotは、福井大学におけるアレイ観測による空間自己相関係数であり、灰色線が初期モデル、黒線は最適S波速度構造モデルによる理論値である。なお、空間自己相関係数の比較範囲は、低周波数側の最大値から最初の極小値までに機械的に設定した。最適化計算を行うことにより、観測空間自己相関係数が良好に再現されていることが確認できる。

福井平野全体の地盤構造を推定するために、アレイ観測地点の推定構造に地盤統計手法(Kriging)を適用して空間補間を行った。推定範囲は、図1に示す東経136度7.5分～18分、北緯35度52分～36度15分までの範囲で、25,000分の1地形図の範囲を、東西南北に20等分する約500mメッシュのS波速度構造を求めた。図4は沖積層厚分布を示し、左はアレイ観測から得られた空間自己相関係数をターゲットとするインバージョンから求められた構造、中央は位相速度をターゲットした場合、右は福井県が地震被害予測調査で採用した地盤モデルを示している。空間自己相関係数から推定された沖積層厚は、位相速度に基づく構造に比較して、厚さ20～30mの範囲が広く、逆に40m以上の範囲が狭く、全体的に均一的な構造が得られている。図5は同様に第四紀層厚さの比較である。左側の空間自己相関係数に基づく構造では、175m以上の範囲が狭い傾向が読み取れる。右側に示した福井県の地盤モデルとの対応は、従来のRayleigh波位相速度に基づく推定構造の方が近いことが確認できる。

4. あとがき

本研究では常時微動のアレイ観測による三成分空間自己相関係数から、直接S波速度構造を求め、その空間補間による福井平野の3次元S波速度構造を求めた結果を検討した。空間自己相関係数から推定された福井平野の第四紀層厚構造は、Rayleigh波位相速度をターゲットする従来の方法に比べて、全体的に均一化されやや浅いという系統的な差異が認められた。その要因のひとつとして、機械的に設定した空間自己相関係数の比較範囲の偏りがあると考えられ、その改善条件などを検討していく必要があると考えられる。参考文献：小嶋他、アレイ観測による3成分空間自己相関係数に基づくS波速度構造の推定、28回日本自然災害学会学術講演会、2009。

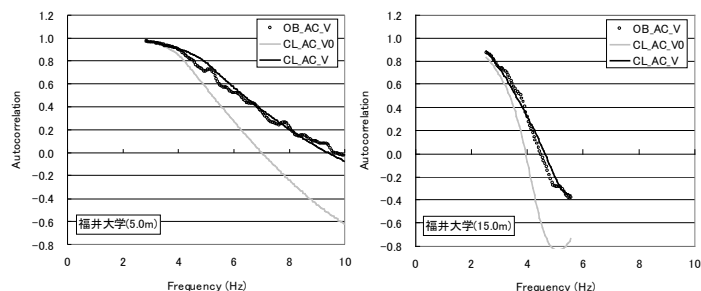


図-3 空間自己相関係数の比較

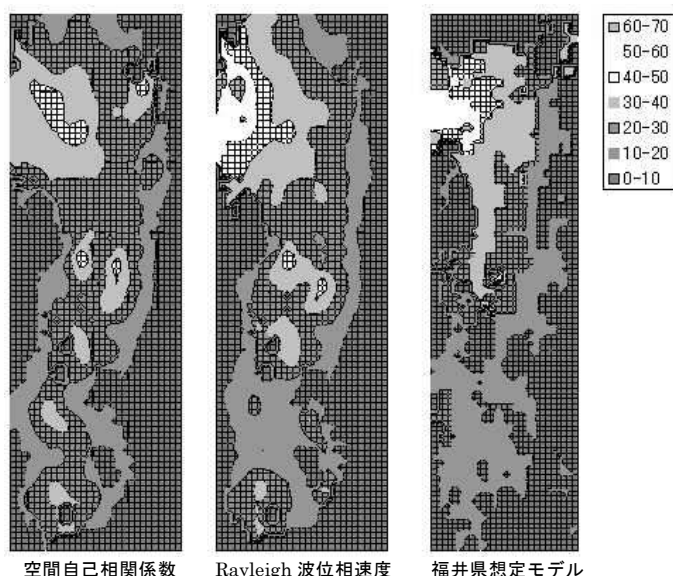


図4 福井平野の沖積層厚分布の比較

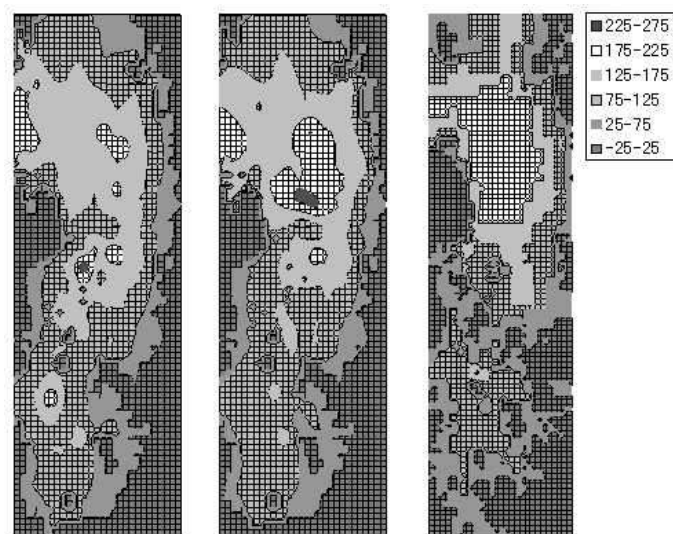


図5 福井平野の第四紀層厚分布の比較