常時微動アレイ観測に基づく福井平野のＳ波速度構造の推定

○福井大学工学部　正会員　　　小嶋　啓介
(株)柿本商会(元福井大学大学院)　辻森　卓実
福井大学工学部　　　　　　　近藤　聡

１．まえがき

福井県では，福井地震断層の活動を想定した地震被害予測が実施されているが，福井平野周辺においても，Ｓ波速度などの動的地盤構造の解明を目的とした広域的な探査は実施されておらず，地震被害予測で利用された地盤モデル（ボーリング等に基づく地盤構造と呼ぶ）も，削泉情報，ボーリングデータ，微地形などを基に推定されたものであり，特に洪積層以深の地盤構造として信頼性が高いとは言い難い．本研究では計測が比較的容易で，広範囲の高密度観測が可能な常時微動アレイ観測を，福井平野の約 50 ヶ所（図－１）で実施し，空間自己相関法を適用して求められた観測位相速度に基づいて，各観測点直下のＳ波速度構造を同定するとともに，地盤統計手法を適用し，高密度な福井平野の三次元構造を推定し，既存資料との比較を行い，その信頼性を検討している．

２．アレイ観測とＳ波速度構造の推定

観測は正三角形の頂点と重心に配置された４台の加速度計を用いて上下動を観測し，表面波(Rayleigh 波)の伝播速度を求めようとするものである．ここでは，概ね 300m までに広がる第四紀層構造を推定対象としているため，アレイの半径は 5m，15m，40m の 3 種類を基本とした．位相速度の算出方法としては，多数の地震計を必要としないこと，算出できる周波数範囲が広いことなどを考慮して，空間自己相関法（SPAC 法）を採用した．

算出された位相速度から，その観測点直下の S 波速度構造を推定する方法としては，事前情報から設定した初期 S 波速度構造に基づき，層厚，S 波速度の修正率を,遺伝的アルゴリズムで探索する方法を適用した．初期 S 波速度構造の設定は長尾，紺野による位相速度と平均Ｓ波速度の関係を援用した．図－２は上記の方法で求めた観測点ごとの推定値と，ボーリング等に基づく地盤構造による沖積層および第４紀層厚との相関を示したものである．図からややばらつきは認められるものの，全体的には良好な相関があるのがわかる．

３．地盤統計手法に基づく推定

地盤統計手法(Kriging)とは鉱床の評価等に用いられてきたもので，ある空間内の未知の点における推定量を，既知のサンプルデータの数学的に最適な重み付け加重平均として推定する方法である．これにより，限られたアレイ観測点から，福井平野の地盤構造の推定が可能となる．サンプルデータとしては，1) アレイ観測点の推定地盤構造，2) アレイ観測と既存資料（PS 検層, P 波反射断面など）を用いる場合を設定した．

図－１　福井平野のアレイ観測点

対象領域は福井平野であり，東西，南北をそれぞれ 15 秒ごとの，40×60 の合計 2400 個の小領域(0.46km×0.37km)に分割し，それぞれの小領域の中心の S 波速度構造を推定した．なお，推定の際には標高が 20m 以上の領域は, 第 4 紀層が存在しないものとした．図－３(a)(b)はそれぞれ，アレイ観測のみに基づいた地盤統計手法により推定した，福井平野の沖積層厚分布と第４紀層厚分布である．以下，便宜上，この推定結果を[Array]，そして，アレイと既存資料の地盤統計手法の結果を[資料+Array]と呼ぶ．図から沖積層においては平野の東から西に向かうにつれ深くなり，第４紀層においては, 平野中央で深くなる傾向がみられる．

４．既存資料との比較

図－4(a)(b)は，それぞれ，福井県によるボーリング等に基づく地盤構造による沖積層厚分布，ならびに小林らによる高密度重力異常測定から推定された第４紀層厚分布を示したものである．なお，福井県によるボーリング等に基づく第４紀層厚については，基盤に達するサンプルが少なく，重力異常調査より信頼性が低いと考えら

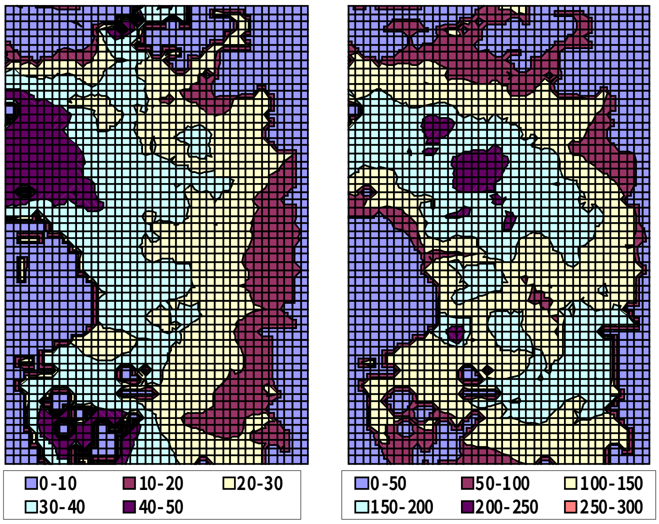
キーワード：福井平野，Ｓ波速度，第四紀層，常時微動アレイ観測，空間自己相関法，同定
連絡先：福井市文京 3-9-1　福井大学工学部　0776-27-8592

れることから，比較の対象にはしなかった．図から本研究の推定結果は沖積層，第４紀層厚分布のどちらにおいても，それぞれ，ボーリング，重力異常調査に基づく層厚分布と良好な対応が確認できる．

図－５は，福井県による福井平野東側断層帯の調査（図－１の春江から丸岡に至る東西方向約 6km の測線）の際に行われた P 波弾性波探査断面のうち比較的連続性の高い反射面Ⅰ，Ⅱ，Ⅳ，Ⅵと，ボーリング，重力異常調査結果と，地盤統計手法による 2 種類の推定結果を併せて示したものである．同図(ａ)は沖積層，(ｂ)は第４紀層の比較である．図から資料+Array はＰ波反射断面の層厚データをサンプルとして利用したため，反射面と推定構造がほぼ一致している．一方 Array のみの推定結果のうち，沖積層の推定結果については，ボーリング調査の結果より全体的に深めに推定されており，東側で反射面Ⅰより，やや深めに推定されているが反射面Ⅰに近いといえる．また，洪積層内の第一層と第二層の境界深度は，西側ではやや浅いが，全体的に反射面Ⅱに近く，第４紀層最下面の比較においては，東側で反射面Ⅳ,Ⅵの中間ぐらいに推定されているが，西側では反射面Ⅳ,Ⅵより浅く推定され，重力異常結果に近く推定されているのがわかる．

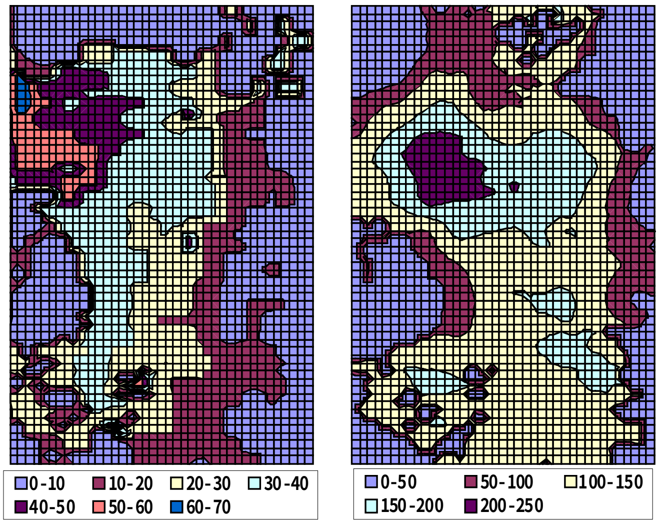
５．あとがき

本研究では福井平野の信頼性が高く，高密度な地盤構造の解明を目的として，常時微動のアレイ観測から推定したＳ波速度構造に地盤統計手法を適用し，福井平野の高密度な３次元 S 波速度構造の推定を行った．推定された構造は，既存資料と比較的良い対応がみられ，その信頼性が高いことが確認できた．



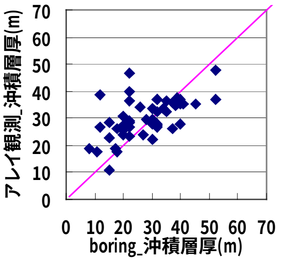
（ａ）　沖積層　　　　（ｂ）　第４紀層

図－３　地盤統計手法による推定層厚分布

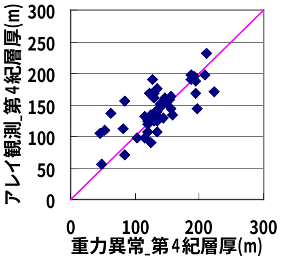


（ａ）　沖積層（ボーリング）　　（ｂ）　第４紀層（重力異常）

図－４　既存資料の層厚分布

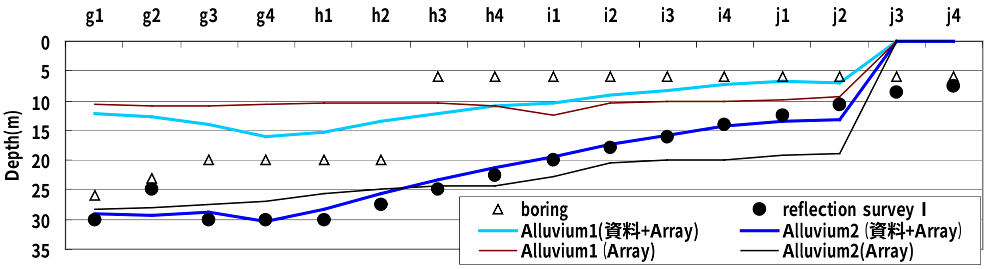


（ａ）　沖積層厚

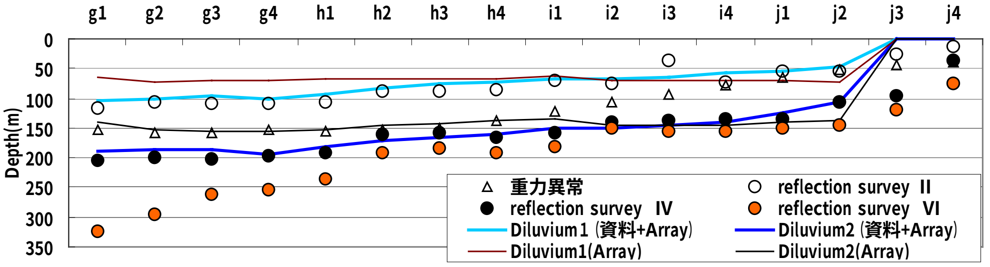


（ｂ）　第４紀層厚

図－２　第四紀層厚の比較



（ａ）　沖積層



（ｂ）　第４紀層

図－５　Ｐ波反射断面における推定層境界と反射面との比較