

## 自然電位インバージョンによる水頭分布と透水構造の推定

尾崎裕介\* (京都大学・日本学術振興会特別研究員 DC),  
三ヶ田均, 後藤忠徳, 武川順一 (京都大学)

### Estimation of water head and permeability structure with Self Potential inversion

Yusuke Ozaki\* (Kyoto Univ., JSPS Research Fellow),  
Hitoshi Mikada, Tada-nori Goto, Junichi Takekawa (Kyoto Univ.)

In this study, we developed a set of 2D inversion programs that estimates the water head distribution and the permeability structure from Self-Potential (SP) data. We applied these inversion programs to a synthetic SP profile that is simulated for a structure including the subsurface permeable anomaly. The permeability anomaly makes the water head distribution sparse and changes the visible feature of SP profile. We tried to reconstruct the water head distribution and the permeability structure from the SP profile distorted by the permeability anomaly. The inverted water head shows both smooth spatial variation in the distribution over the profile and subtle variation at the boundary of high permeability anomaly. The inverted distribution of permeability anomaly also appears at the same place as in the model assumed for the simulation. These results indicate that our two inversion algorithms would be useful to estimate the water head distribution and permeability structure.

#### 1. はじめに

自然電位は、主な発生原因が地下水流動であるために、主に地下水流動調査を目的として自然電位の観測が行われてきた。自然電位分布の定量的な解析手法については、近年では種々の方法が提案されている。ここで我々は自然電位分布中の透水構造の情報に着目する。地下水流動中に透水性の不均質構造が存在する場合、自然電位分布に異常が発生することが数値計算により確認されている(Sill,1989)。これは、透水性の不均質構造付近では水頭分布が急激に変化し、地中に自然電位ソースが発生するためである。このことより、自然電位分布を定量的に解析することで、透水性の不均質構造による水頭変化や透水構造を定量的に把握することが期待できる。本研究では Sheffer (2008)の手法を参考に自然電位分布から水頭分布を推定するインバージョンプログラムを開発した。また、地下水流動のインバージョン手法と組み合わせることで、自然電位分布から透水構造を推定するインバージョンプログラムも開発した。これらのインバージョン手法を、透水性の不均質構造が地下に存在する場合に地表で観測される自然電位分布に適用し、地下の水頭分布及び透水構造の再構築を試みた。

#### 2. 手法

地中の電流源が地下水流動のみに限定される場合、全電流の連続式が成立することより水頭と電位は式(1)で、地下水流動の基礎方程式は式(2)で記述される。

$$\nabla(\sigma(\nabla\phi)) = -\nabla(L\nabla h) \quad (1)$$

$$q = -\nabla(k\nabla h) \quad (2)$$

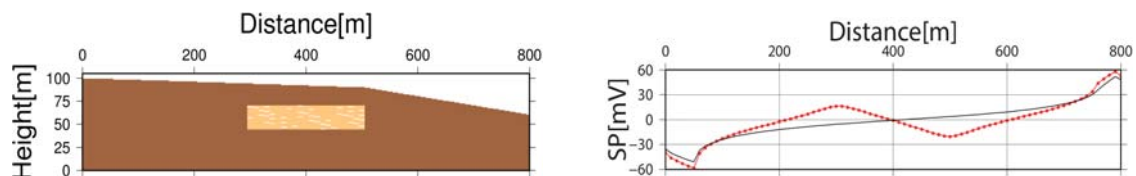


図1 シミュレーションモデルと入力に用いた自然電位分布。中心の四角形の位置に周辺よりも100倍高透水な不均質構造が存在する(左)。黒い線は透水構造が均質な場合に発生する地表面での自然電位分布で赤い線が入力に用いた透水性に不均質構造が存在する場合に発生する自然電位(右)。Figure1. The left picture shows the permeability structure model. The rectangle at the center of the model shows the permeability anomaly. The right picture shows the SP profile on the ground surface. The black line shows the SP profile when the subsurface permeability structure is uniform. The red line shows the SP profile when the permeability anomaly is included. The red line is used for the inversion as an observed data.

ここで、 $\sigma$  は電気伝導度、 $\phi$  は電位、 $L$  は流動電位係、 $h$  は水頭、 $q$  は地下水の流入出量、 $k$  は透水係数である。式(1)に有限要素法を用いると、水頭分布と電位分布の線形関係式を得る。得られた関係式とラプラスアンスムースネス制約を用いて水頭分布の推定を行った。同様に式(2)に有限要素法を適用し、式(1)に有限要素法を適用して得られる線形式に代入すると、電位と透水係数の関係式を得る。得られた関係式とスムースネス制約を用いて透水構造の推定を行った。

### 3. 結果

本研究では、数値シミュレーションにより得られた自然電位分布を観測データとしてインバージョンを行った。図1は、シミュレーションに用いた透水構造モデルとインバージョンに入力した自然電位分布である。モデルの左右両端の地表面に標高と同じ高さの水頭を配置した場合に発生する自然電位分布をインバージョンの入力に用いた。図2は、水頭分布のインバージョン結果である。浸透流解析により得られた結果と同様に涵養から湧水に滑らかに変化する水頭分布が再現されている。また、不均質構造周辺では、高透水性の不均質構造による疎な水頭変化も再現されている。図3は、透水構造のインバージョン結果である。不均質構造を与えた周辺で、与えたモデルの半分程度の値の高透水性異常が再現されている。

### 4. まとめ

本研究では、Sheffer (2008)の手法を参考に、自然電位分布から水頭分布を推定するインバージョンを開発した。さらに、これに地下水流動のインバージョンと組み合わせることで、自然電位分布から透水構造を推定するインバージョンプログラムも開発した。数値計算により予測した自然電位分布に水頭分布推定のインバージョンを適用したところ、推定された水頭分布は浸透流シミュレーションの結果のパターンと概ね一致した。このことより、数点の井戸の水位情報と自然電位分布から水頭分布が推定できることが期待できる。また、透水構造のインバージョンの結果に関しても、シミュレーションを行ったモデルと類似したモデルを再構築することもできた。自然電位分布と地下水の流入出量から、透水構造も推定できることが期待できる。

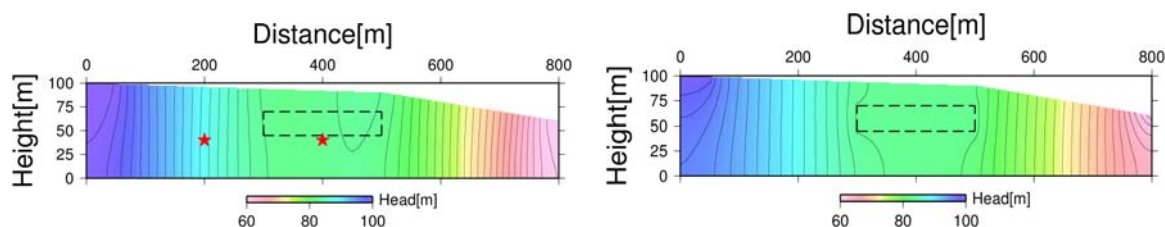


図2 水頭分布のインバージョン結果。星は、先見的に水頭データを与えた位置を示す (左)。浸透流解析により得られた真の水頭分布。黒い点線は、不均質構造の位置を示している (右)。Figure2. The left picture shows the inversion result of water head distribution. Two head data shown by star are given to the inversion a priori. The right picture shows the exact head distribution. The black dashed line shows the location of permeability anomaly.

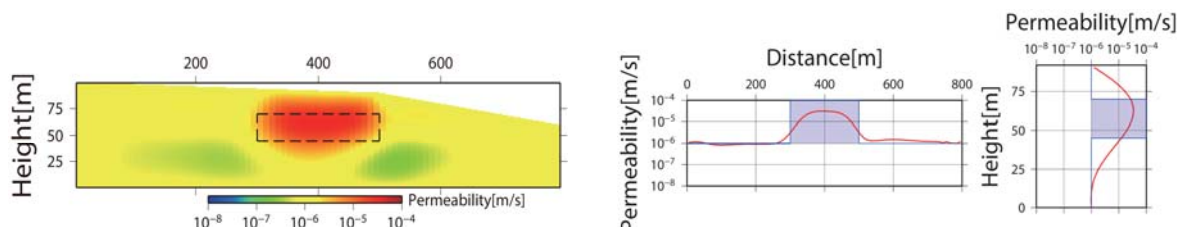


図3 透水係数のインバージョンの結果。黒い点線は、不均質構造の位置を示している (左)。水平距離400mでの鉛直方向の透水係数の変化と標高49.5mでの水平方向の透水係数の変化。青く塗られた位置に、不均質構造が存在する (右)。Figure3. The left picture shows the inversion result of permeability structure. The black dashed line shows the location of permeability anomaly. The right picture shows the horizontal and vertical variation of estimated permeability at the horizontal distance of 200m and the height of 49.5m, respectively. The blue area shows the location and value of permeability