

## 物理探査データを利用した土質地盤の透水係数の推定 Soil permeability profiling using geophysical data

高橋 亨

Takahashi Toru

### 1. はじめに

一般に、土質地盤や土構造物の透水性を把握する場合、対象地盤や構造物にボーリング孔を掘削し、その孔内で現場透水試験を実施するか、または採取した土の試料を用いて室内透水試験を実施する。しかしながら、ため池堤や河川堤防のように広い範囲の透水性を把握する場合には、調査経費や時間による制約のため、少ないボーリングデータから対象とする地盤や構造物の透水性を推定せざるを得ず、その精度、信頼性の面で問題が生じる場合も多い。そのような場合に、非破壊的且つ広範囲を効率的に調査のできる物理探査による物性データから透水係数を推定することができればその利用価値は大きい。そこで、筆者たちは、物理モデルを物理探査データに適用して透水係数を推定する手法を提案している<sup>1)</sup>。本手法は、対象地盤や構造物を構成する土の間隙率と構成粒子の粒径から透水係数を推定するコゼニーカルマンの式<sup>2)</sup>を利用し、複数の物理探査データに物理モデルを適用、推定した間隙率と粒径を用いて透水係数を求めるという手法である。

### 2. 探査データを利用した透水係数推定法

コゼニーカルマンの式では、土質地盤のような粒状媒質の透水係数  $k$  は、その間隙率  $\phi$  と構成する粒子の粒径  $d$  を用いて以下の式で表される<sup>3)</sup>。

$$k = \frac{1}{72} \frac{\phi^3}{(1-\phi)^2 \tau^2} d^2 \quad (1)$$

ここに、 $\tau$  は流路の迂回率である。

本手法では、地震探査で得られる地震波速度に有効媒質モデルの1つとして広く利用されている未固結砂岩モデル<sup>3)</sup>を適用し、地震波速度と間隙率の関係を求める。また、電気探査で得られる比抵抗にグラバーの式<sup>4)</sup>を適用し、比抵抗と間隙率の関係を求める。これら2つのモデルを組み合わせて得られる地震波速度と比抵抗の関係から土の平均粒径を求める<sup>1)</sup>。間隙率は上述のモデルにより地震波速度あるいは比抵抗から推定できるので、(1)式によって透水係数を推定できる。

モデル計算例として、河川堤防を想定した諸特性値を用いて、上記流れでS波速度と比抵抗の関係性を求めた結果を図-1に示す。

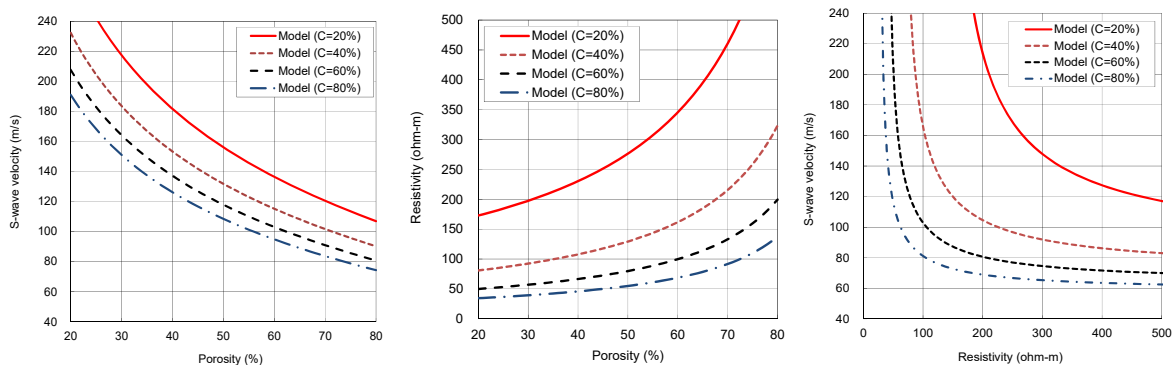


図-1 S波速度と間隙率(左)、比抵抗と間隙率(中)、S波速度と比抵抗(右)の計算結果(C:粘土含有率)

Fig. 1 Calculated relationships of S-wave velocity-porosity (left), resistivity-porosity (middle) and S-wave velocity – resistivity(right). C is the clay content.

公益財団法人深田地質研究所 Fukada Geological Institute

キーワード：土質地盤、透水係数、物理探査、物理モデル

### 3. 河川堤防における適用例

本手法の適用性を評価するために、実際の河川堤防での物理探査で得られた S 波速度と比抵抗のデータを用いて透水係数の推定を行い、堤体の土質試料の室内透水試験で得られた実測値との比較検討を行った例を紹介する<sup>1)</sup>。

図-2 は、高さ約 5m、幅 30m の堤防の横断測線で実施した 3 次元電気探査による比抵抗断面と S 波屈折法トモグラフィによる S 波速度断面である。この 2 種類の探査データに本手法を適用して作成した推定土質断面図と透水係数断面図を図-3 に示す。この堤防では過去に樋門調査のために開削が行われ、土質構成や透水係数等の諸特性が得られている。探査の対象とした堤体は、主に砂質土と粘性土の 2 層からなり、開削面で採取された試料の室内透水試験により、砂質土層は平均値として、 $8.22 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 、粘性土層は、 $1.21 \times 10^{-5} \text{cm/s}$  という透水係数が得られている。図 3 に示す推定透水係数断面によると、砂質土層は  $10^{-3} \sim 10^{-2} \text{cm/s}$ 、粘性土層は  $10^{-5} \sim 10^{-4} \text{cm/s}$  の値が得られており、本手法によりほぼ 1 桁以内の精度で透水係数が推定されていることがわかる。

### 4. おわりに

筆者たちは、複数の物理探査データに物理モデルを適用し、土質地盤の間隙率と粒径を求め、コゼニーカルマンの式で透水係数を推定する手法を提案した。河川堤防上で実施した物理探査で得られた S 波速度と比抵抗データに適用し、ほぼ 1 桁以内の精度で透水係数を推定できることを示した。この結果は、物理探査とボーリング調査を併用することにより、広域の土質地盤や土構造物の透水性を効率的に把握できることを示している。

### 参考文献

1) 高橋亨, 相澤隆生, 村田和則, 西尾英貴, 松岡俊文 (2015) : 統合物理探査データを用いた河川堤防の浸透性プロファイリング, 物理探査,

68, 167-175.

2) Carman, P.C. (1956): Flow of gases through porous media, Academic Press Inc., Butterworths Sc. Pul., London.  
 3) Mavko, G., Mukerji, T. and Dvorkin, J. (2009): The Rock Physics Handbook, second edition, Cambridge University Press.  
 4) Glover, P.W.J., Hole, P.J. and Pous, J. (2000): A modified Archie's law for two conducting phases, Earth and Planetary Science Letters, 180, 369-383.

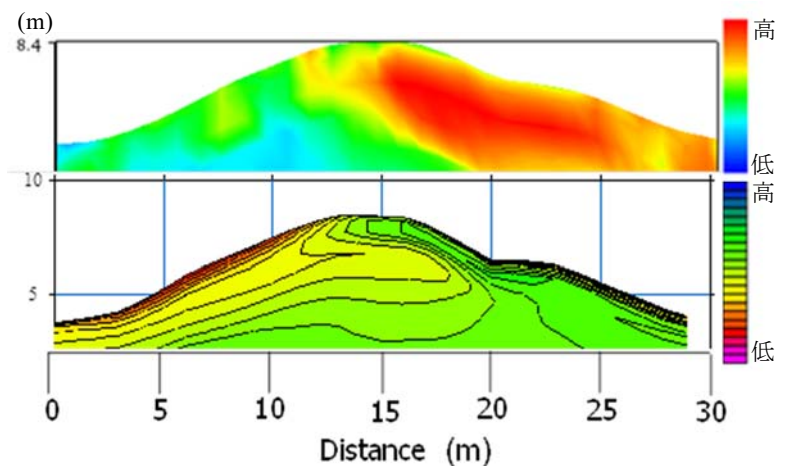


図2 探査で得られた比抵抗(上)と S 波速度断面(下)  
 Fig.2 Resistivity(upper) and S-wave velocity profiles(bottom)

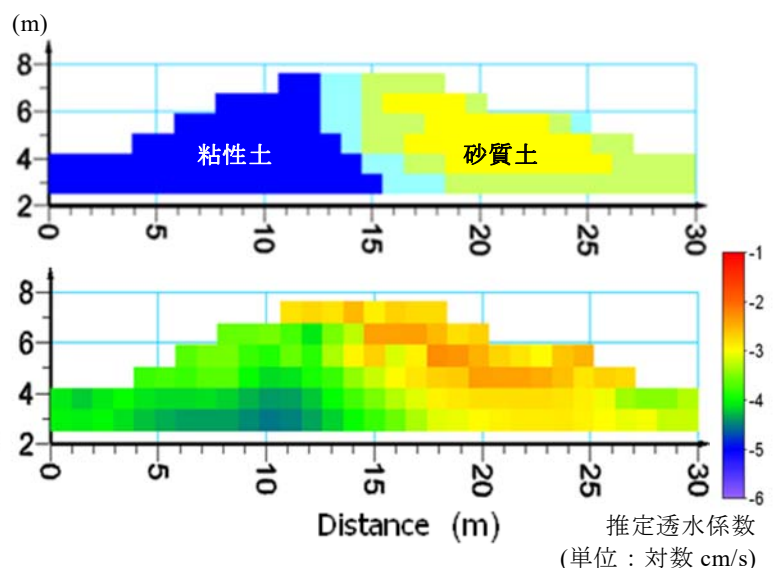


図3 探査データから推定した土質(上)及び透水係数断面(下)  
 Fig.3 Estimated Soil (upper) and permeability profiles(bottom)