

## GPR を用いた CPTu 試験結果による透水係数の推定

### Estimation of coefficient permeability from CPTu test results using GPR

隅 大智\*, 西村伸一\*, 柴田俊文\*

Daichi Sumi, Shin-ichi NISHIMURA and Toshifumi SHIBATA

#### 1. はじめに

近年、日本ではパイピング現象による破堤がしばしば発生している。パイピング現象とは、浸透により土の侵食がパイプ状に連なる現象であり、破堤要因の1つである。パイピング現象は、地盤の透水性に大きく関わっており、これを防ぐためには透水係数の空間分布推定が必要不可欠である。しかし、従来の試験方法では透水係数を得るのに多くのコストと時間を要する。そこで本研究では短時間で多点計測が可能な CPTu 試験により得られたデータと透水係数の関係を明らかにすることを目標とする。これらの関係が明らかになれば短時間で多地点の透水係数を推定することが可能となる。著者らは、透水係数推定式を提案しており<sup>1)</sup>、ここでは新たに得た試験により、精度検証を行う。

#### 2. 実験概要

CPTu 試験とは棒状の試験装置を土中に貫入し、貫入中の試験装置に作用する抵抗や間隙水圧を連続的に計測する試験である。模型実験システムを図1に示す。コーンで先端抵抗  $q_t$ 、フリクションスリーブで周面摩擦  $f_s$ 、フィルターで間隙水圧  $p_w$  をそれぞれ計測する。このシステムを電動载荷装置に取り付け試料中に貫入しデータを計測する。貫入試験後、サンプルを採取し飽和させ、透水試験を行い、透水係数を得る。実験は、粒度の異なる3種類の試料を用いて、試料の含水比と締固め回数を変化させて実施している。

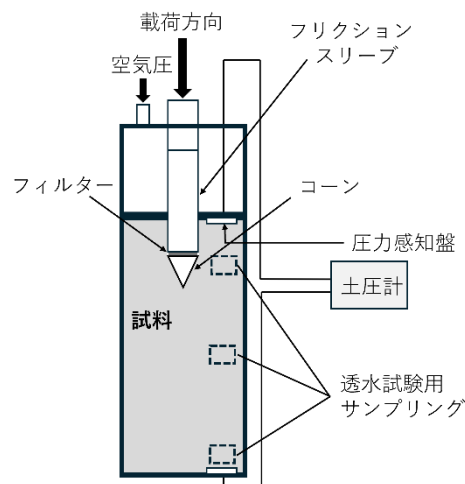


図1 模型実験システム  
Fig.1 Model experiment system

#### 3. 実験結果

計測データの例を図2に示す。図によると、先端抵抗  $q_t$  は含水比が小さく、深度が深いほど増加していく傾向にある。また、周面摩擦  $f_s$ 、間隙水圧  $p_w$  は深度が深いほど大きな値を示したが、含水比や締固め回数の違いによる様な傾向はなかった。

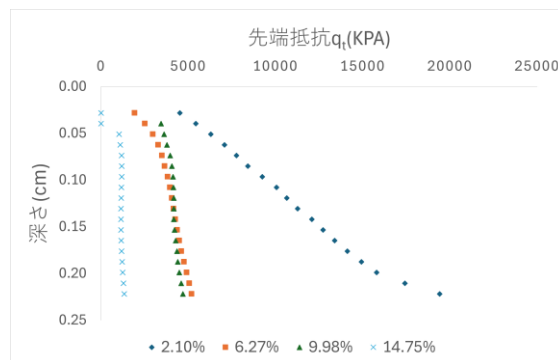


図2 先端抵抗  $q_t$  の挙動  
Fig.2 Tip resistance  $q_t$ 's behavior

\* 岡山大学 Okayama University

キーワード：ピエゾコーン貫入試験、透水係数、ガウス過程回帰

#### 4. 透水係数推定式

本研究ではガウス過程回帰(GPR)を用いて解析を行った。CPTu 試験データは深度ごとに連続的に計測されるため、解析の際はこれらのデータを平均値化して使用した。また、CPTu から得られた各パラメータを累乗、加算、新たなパラメータの使用など、様々な組み合わせを検討した結果、先端抵抗  $q_t$ 、周面摩擦  $f_s$ 、Robertson により提案された地盤分類指数  $I_c$  の3つのパラメータを説明変数として決定した。

推定に必要なカーネル関数は(1)を使用した。式中  $x$  は、説明変数  $q_t, f_s, I_c$  を表す。

$$k(x, x') = \sigma^2 \frac{2^{1-\nu}}{\Gamma(\nu)} \left( \sqrt{2\nu} \frac{|x-x'|}{l_{\text{matern}}} \right)^\nu K_\nu \left( \sqrt{2\nu} \frac{|x-x'|}{l_{\text{matern}}} \right) + \sigma^2 \left( 1 + \frac{|x-x'|^2}{2al_{\text{RQ}}^2} \right)^{-\alpha} \quad (1)$$

透水係数の常用対数  $\log k$  目的変数として、過去のデータ<sup>1)</sup>を訓練データ、新たに実施したデータをテストデータに入力し、推定を行った。

その結果を図3に示す。決定係数 0.0286、最小二乗誤差 0.8297 であり、カーネル関数のハイパーパラメータは、 $\partial = 1.1284$ ,  $l_{\text{matern}} = 0.001$ ,  $\nu = 1.5$ ,  $\alpha = 0.102$ ,  $l_{\text{RQ}} = 0.262$  として決定されている。推定精度の低い結果となった。

そこで、過去に得られた  $\log k$  が -6 以下のデータ、今年度<sup>2)</sup>に得られた透水係数の精度が低いものを除外し、訓練データ、テストデータに入力するデータをランダムに選び推定に用いた。その結果を図4に示す。カーネル関数は、決定係数が 0.8211 の時、ハイパーパラメータは、 $\partial = 1.1877$ ,  $l_{\text{matern}} = 0.923$ ,  $\nu = 1.5$ ,  $\alpha = 0.107$ ,  $l_{\text{RQ}} = 0.00569$  として決定されている。図によると、推定結果は良好である。

#### 5. 結論

模型 CPTu 試験を実施し、GPR を利用して、CPTu 試験結果から飽和透水係数を求める式を確定した。この推定式を、現地の CPTu 試験結果に適用することにより、ため池堤体や河川堤防の透水係数の空間分布を推定することができる。すなわち、この技術の完成は、パイピングリスク推定に大きく貢献できることが期待できる。

#### 引用文献

1) 太田大希・西村伸一・柴田俊文・珠玖隆行：GPR を用いた CPTu に基づく地盤透水係数の空間分布推定, 2024 年度（第 73 回）農業農村工学会大会講演会（2024 年 9 月 10 日-9 月 13 日）pp.453-454(2024.9.12)

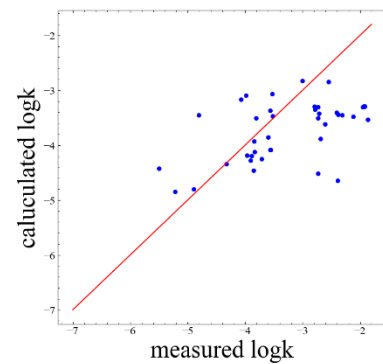


図3 実測値と推定値の比較

Fig.3 Comparison of measured and estimated values

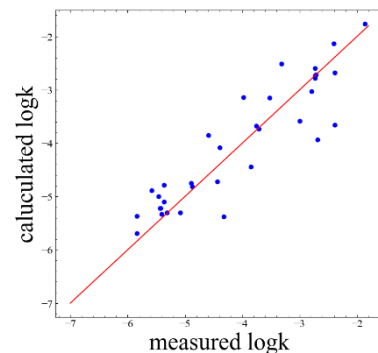


図4 実測値と推定値の比較  
Fig.3 Comparison of measured and estimated values