

GPR を用いた CPTu に基づく地盤透水係数の空間分布推定  
 Estimation of spatial distribution of soil permeability  
 coefficient based on CPTu using GPR

○太田大希\*, 西村伸一\*, 柴田俊文\*, 珠玖隆行\*

OTA Taiki, NISHIMURA shin-ichi, SHIBATA Toshifumi and SHUKU Takayuki

## 1. はじめに

破堤の要因として、パイピング現象が挙げられる。対策をするために透水係数の空間分布推定が重要であるが、従来の透水試験では時間とコストを要する。そこで、短時間で多点計測が可能なコーン貫入試験 CPTu を用いて、CPTu 結果と透水係数の関係を明らかにし、ガウス過程回帰 GPR を用いて透水係数の空間分布を推定することを目的とする。

## 2. 実験概要

本実験では室内 CPTu 試験装置を用いて貫入試験を行い、先端抵抗 $q_t$ 、周面摩擦 $f_s$ 、間隙水圧 $\rho_w$ を測定する。貫入試験後、供試体から 100cc サンプルを 3 つ採取し、透水試験用試料とする。サンプリングされた試料は、1 日水中に静置し飽和状態にした後、変水位透水試験を実施する。

## 3. CPTu 結果と透水係数の関係式導出と実装

飽和透水係数  $k$  の常用対数を目的変数とし、説明変数の組み合わせを  $q_t$ 、 $f_s$ 、 $\rho_w$  と Robertson により提案された  $I_c$  を用いて、様々なカーネル関数を検討した。その式を式(1)に示す。 $x$  は  $(q_t, f_s, I_c)$  を要素とするベクトルである。

ここでは、CPTu 試験と透水試験のデータ 59 個のうち、40 個を訓練データに、19 個をテストデータに分け、モデルの性能を評価した。図-1 は実測値と理論値の比較を示している。テストデータの平均二乗誤差は 0.0104、決定係数は 0.81 である。

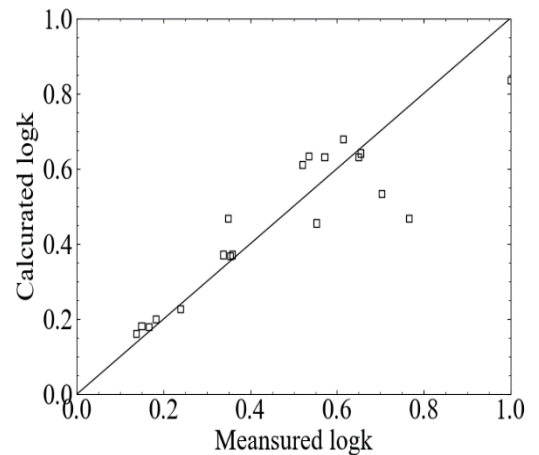


図-1 実測値と理論値の比較

$$k(x, x') = \sigma_1^2 \frac{2^{1-\nu}}{\Gamma(\nu)} \left( \sqrt{2\nu} \frac{|x - x'|}{l_1} \right)^\nu K_\nu \left( \sqrt{2\nu} \frac{|x - x'|}{l_1} \right) + \sigma_2^2 \left( 1 + \frac{|x - x'|^2}{2al_2^2} \right)^{-a} \quad (1)$$

$$\sigma_1^2 = 0.555^2, \sigma_2^2 = 0.0917^2, l_1 = 1.13, l_2 = 0.001, \nu = 1.5, a = 0.0237$$

$K_\nu$  : 修正 Bessel 関数の第二種,  $\Gamma(\nu)$  : ガンマ関数

\*岡山大学大学院環境生命自然科学研究科 (Graduate School of Environmental, Life, Natural Science and Technology, Okayama University)

キーワード：地下浸透・地下水流動

そして、この式を用いて、実際に透水係数の推定を行ったものが図-2 である。これは岡山県の西部、小田川河川敷の 1 区間で行われた CPTu 試験の 14 地点である。この地点の透水係数は各計測点で深度によって細かく変動しつつ、全体的に深度が大きくなるにつれ透水係数が高くなる傾向がある。

#### 4. 透水係数の空間分布推定

さらに、式(2)を用いて小田川河川敷の試験区間全域の透水係数の空間分布を推定した。x, z はそれぞれ水平方向、鉛直方向の距離に相当する。図-3 に推定した透水係数の空間分布図を示す。水平距離 75-100m, 140-175m 地点の深さ 4m 以下では透水係数の高い領域が見られ、パイピングが発生するリスクが高い箇所と考えられる。これは、水が容易に流れることが出来るため、内部浸透流が強くなり、それに伴って土粒子が流出しやすくなるためである。

特に表層に近い領域ほど透水係数が高くなるとそのリスクは高くなるだろう。

$$k((x, z), (x', z')) = \sigma_1^2 \exp\left(-\left(\frac{|x - x'|^2}{m_x^2} + \frac{|z - z'|^2}{m_z^2}\right)\right) + \sigma_2^2 \exp\left(-\left(\frac{|x - x'|}{l_{x2}} + \frac{|z - z'|}{l_{z2}}\right)\right) \quad (2)$$

$$m_x = \sqrt{2}l_{x1}, m_z = \sqrt{2}l_{z1}$$

$$\sigma_1^2 = 0.219^2, \sigma_2^2 = 0.253^2,$$

$$l_{x1} = 32.5, l_{z1} = 1.54, l_{x2} = 12.69, l_{z2} = 0.422$$

#### 5. まとめ

- (1) CPTu 試験から透水係数を推定する式を提案した。
- (2) 透水係数の空間分布を推定し、パイピングの危険性が高い箇所を特定した。
- (3) 今後の課題として、より透水係数の細かな挙動を推定するために、条件付きシミュレーションを行い、様々なシナリオにおける透水係数の分布をシミュレートする必要があるだろう。

#### 参考文献

西村伸一他：CPTu に基づいた堤体材料の透水係数推定，第 58 回地盤工学研究発表会，12-11-1-07 (2023)。

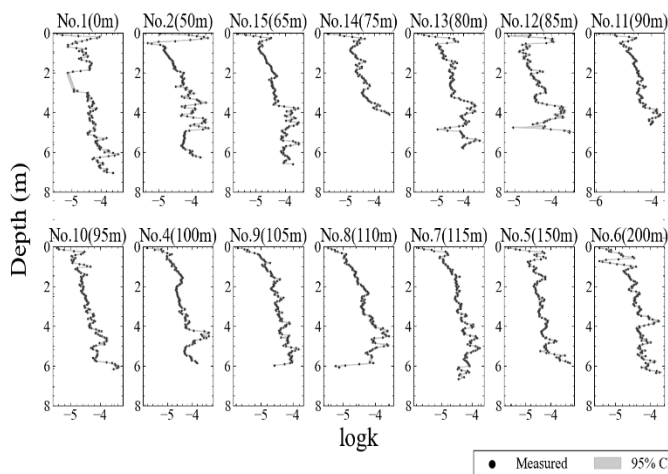


図-2 透水係数の推定グラフ

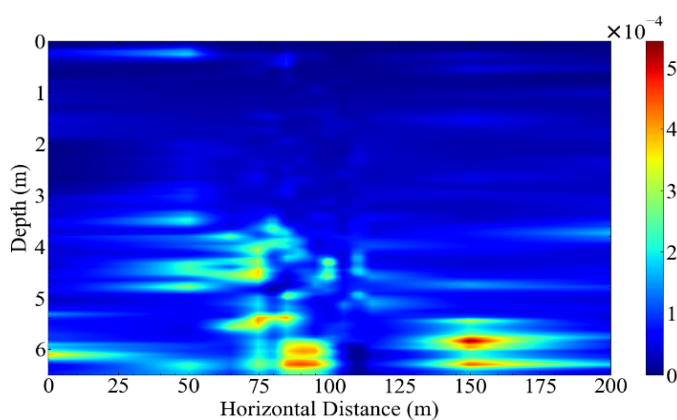


図-3 透水係数の空間分布