

Ⅲ-A274

1次元浸透場における透水係数の不均質性

神戸大学大学院

学生員 岡野 誠二

神戸大学都市安全研究センター

正会員 齋藤 雅彦

神戸大学都市安全研究センター

正会員 川谷 健

1. はじめに

一般に、同一の土質と考えられる層内においても、透水係数は空間的に大きくばらつき、その不均質性の影響は不可避であることは経験上よく知られている。本研究では、透水係数の空間分布に関する理論的考察を行い、これに基づく1次元の数値模擬地盤の作成方法を提案するとともに、その性質を明らかにする。

2. 透水係数の空間分布に関する理論的考察

図-1に示した1次元飽和浸透モデルを取り上げる。

まず、供試体の全長 L についての等価透水係数を k^0 とし、 $k^0 = 1$ とする。次に、図-2に示すように供試体を中央で $L/2$ に分割する。これらの $L/2$ に分割された供試体の等価透水係数をそれぞれ k_L^1 および k_R^1 とする。もし、この供試体が完全に均質であれば、次式が成り立つ。

$$k^0 = k_L^1 = k_R^1 = 1 \quad (1)$$

一方、供試体が不均質であれば、上式が成り立つ保証は無く、一般に、

$$k_L^1 \geq k^0 = 1 \geq k_R^1 \quad (2)$$

または、

$$k_R^1 \geq k^0 = 1 \geq k_L^1 \quad (3)$$

となる。

また、これらの関係は、等価透水係数の算定式より、

$$k^0 = \frac{2k_L^1 k_R^1}{k_L^1 + k_R^1} = 1 \quad (4)$$

と表せる。

ここで、透水係数の空間的な変動量を表す無次元確率変数 α を導入し、

$$k_L^1 = \alpha k^0 = \alpha \quad (5)$$

とすると、式(4)より、

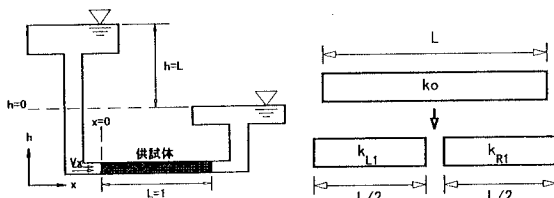


図-1 1次元浸透問題

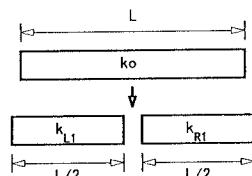


図-2 供試体の分割

$$k_R^1 = \frac{\alpha k^0}{2\alpha - 1} = \frac{\alpha}{2\alpha - 1} \quad (6)$$

式(6)、および、 $k_L^1 > 0$ 、 $k_R^1 > 0$ より、 α のとりうる範囲は、

$$\alpha > 0.5 \quad (7)$$

であることがわかる。

さらに、

$$k_m = \max(k_L^1, k_R^1), \quad k_n = \min(k_L^1, k_R^1) \quad (8)$$

および

$$k_m = \alpha_m k^0, \quad k_n = \alpha_n k^0 \quad (9)$$

とすると、

$$\alpha_m \geq 1 \quad (10)$$

$$0.5 < \alpha_n = \frac{\alpha_m}{2\alpha_m - 1} < 1 \quad (11)$$

となり、 α_m を与えることにより α_n も同時に定まる。

ここで、 α_m の統計的性質は現在のところ不明であるが、ここでは式(12)に示す平均値1、標準偏差 σ_{α_m} の片側正規分布に従うものと仮定する。

$$p(\alpha_m) = \frac{2}{\sigma_{\alpha_m} \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{(\alpha_m - 1)^2}{2\sigma_{\alpha_m}^2} \right\} \quad (\alpha_m \geq 1) \quad (12)$$

また、式(8)において、 $k_m = k_L^1$ となる確率は0.5とする。

キーワード：地下水、透水係数、不均質性、フラクタル

〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1 TEL 078-803-6435 FAX 078-803-6394

以上のような操作を N 回繰り返すことにより、供試体は 2^N 個の要素に分割され、各要素ごとに透水係数が与えられる。

3. 解析結果と考察

模擬地盤の作成の際に必要なパラメータは、確率変数 α_m の標準偏差 σ_{α_m} のみである。ここでは、 $\sigma_{\alpha_m} = 0.5$ とした。

また、2種類の分割数を用いてその結果を比較する (Case-1～Case-2)。各ケースの分割数は、Case-1; $n=64$ ($N=6$)、Case-2; $n=512$ ($N=9$)であり、それぞれ乱数系列を変えて5回実施した。

図-3に、各ケースにおける透水係数（対数値）の頻度分布の一例を示す。（図中において、頻度は確率密度に換算済）

模擬地盤の作成にあたって、透水係数の頻度分布に関する情報は、一切与えていないにもかかわらず、いずれのケースにおいても、ほぼ対数正規分布に従っていることがわかる。

換言すれば、3章で述べた方法により作成された模擬地盤の透水係数の確率分布は、必然的に対数正規分布に従うことを示している。

図-4は、各ケースにおける透水係数（対数値）の変動のパワースペクトルである。

これより、この地盤の透水係数の空間変動は、概ね $1/f$ 型スペクトル (= pink noise) となっている。

$1/f$ 型スペクトルは、自然現象に限らず、様々な分野で観測されているが、特に地盤工学の分野では、脇田ら¹⁾が不同沈下の現場観測例からそのスペクトルが $1/f^{\beta}$ 型であること、すなわちフラクタル的性質を有することを明らかにしている。

このことは、自然地盤が空間的に自己相似性を有することを示唆するものであり、透水係数の空間分布もフラクタル的であることが推察される。

図-5に、水頭分布の計算結果を示す。ここで、太線で表したものは、図-3～図-4に示した透水係数分布により得られた水頭分布である。

微視的には、分割数が大きいほど、細かい凹凸があらわれが、巨視的には各ケースによる水頭分布の差異は見られない。すなわち、水頭分布の概形を知る上では、多くの分割を必要としないことがわかる。

また、何れのケースにおいても、使用する乱数によって水頭分布は、大きく異なっている。

このことは、同じような統計的性質を持つ地盤であっても、透水係数の空間的なゆらぎのため、一定の範囲内で様々な水頭分布が生じる可能性があり、一意的には定まらないことを示している。

参考文献

- 1) 脇田, 松尾: 不同沈下のフラクタル的性質とそれを応用した沈下推定, 土木学会論文集, No.529/Ⅲ-33, pp.69-81, 1995.

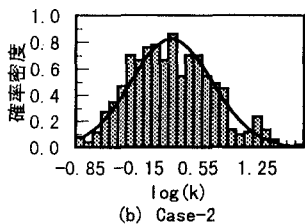
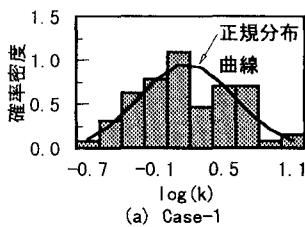


図-3 透水係数の頻度分布

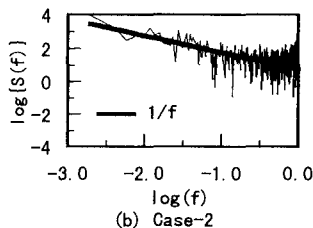
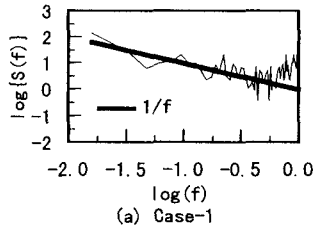


図-4 透水係数の変動パワースペクトル

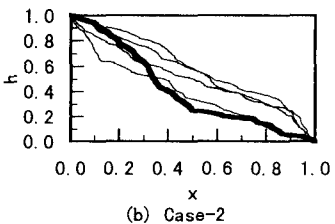
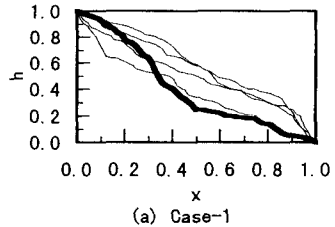


図-5 水頭分布