

# コア土材料における透水係数の簡易推定式

(株) エイト日本技術開発 木 村 隆 行

## 1. はじめに

堤体材料の多くは、中間土であることが多く、特にフィルダムやため池などにおいて不透水性材料を選定する場合など、実用的な簡易推定式がないのが実状である。物理特性から推定する式の多くが  $D_{10}$  や  $D_{20}$ などを使用しているため、それらが得られない不透水性材料では適用できないことになる。そこで、不透水性材料を対象とした土質試験のデータを整理し、物理特性パラメーターから透水係数を推定する式を考案したので、ここに報告する。

## 2. 用いた試料の物理特性

使用した試料の物理特性を、表-1に示す。  
風化土を主体とした29箇所の不透水性材料で、粘土分は9～43%まで変化に富んでいるが、多くは  $D_{10} \sim D_{20}$  が得られない風化粘土～粘土質砂である。その締め固め時の透水係数  $k$  は、 $1 \times 10^9 \sim 3 \times 10^6 \text{ m/s}$  とばらついている。

表-1 用いた試料の物理特性

	範囲	平均
clay%	9～43	26
silt%	5～59	32
sand%	7～56	30
gravel%	0～61	12
WL%	26.5～69.1	49.1
$\rho_s$	2.566～2.738	2.640
$k$ (m/s)	$3.48 \times 10^{-6} \sim 1.33 \times 10^{-9}$	$1.81 \times 10^{-7}$

## 3. 現状の簡易推定式

良く使用される(1)(2)式は、透水性材料、特に砂質土を対象とした式であり、Kudouの(5)式のみ、砂礫を対象とした  $D_{30}$  の式である。

(3)式は、KomatsudaがHoughの相対密度とN値の関係を求めた図の近似解であり、均一球 ( $e_{\max}=0.9098, e_{\min}=0.3504$ ) を適用して、N値と間隙比  $e$  の関係を求めものである。また(4)式はCreagerの式が、 $e=0.634$ で  $N=22$ に対応するので、間隙比の2乗で補正する必要があるとした式である。ここで  $k_c$  は Creager の式で求めた透水係数を意味する。

(5)式は Poiseulle の式を  $D_{30}$  に適用し、形状係数  $C=0.00406$  を求めた Kudou の式で、砂礫が対象である。(6)(7)式は、同じく  $D_{30}$  に着目した Morita et al の式で、ユニークな点は締り度ランクを導入している点である。

$$\text{Hazen} \quad k=D_{10}^2/100 \quad (1)$$

$$\text{Creager 近似解} \quad k=0.359D_{20}^{2.37}/100 \quad (2)$$

$$\text{Komatsuda 近似解} \quad e=1.13-0.165 \ln(N) \quad (3)$$

$$\text{Komatsuda の補正} \quad k=(e/0.634)^2 \times k_c \quad (4)$$

Poiseulle・Kudou

$$k=0.00406(\gamma w/\mu)(e^3/(1+e))D_{30}^2/100 \quad (5)$$

Morita et al

$$k=0.052D_{30}^{1.5}Uc^{0.8}n^{4.4} \quad (6)$$

$$k=0.014D_{30}^{1.2}Uc^{1.0}(\text{締り度ランク})^{-2.0} \quad (7)$$

透水係数 :  $k$ (m/s)  
%粒径 :  $D_{10}, D_{20}, D_{30}, D_{50}$ , (mm)  
 $\gamma_w$  : 水の密度  $0.99910 \text{ g/cm}^3$   
 $\mu$  : 水の粘性係数  $0.0114 \text{ dyn} \cdot \text{S/cm}^2$   
n : 間隙率  $n = e/(1+e)$ , 1/100

表-2 締り度ランク (Morita et al)

締り度ランク	1	2	3	4	5
Terzaghi-Peck 相対密度	極めて 緩い	緩い	中位	密	極めて 密
N値	0~4	4~10	10~30	30~50	50~
相対密度(%)	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100

これらの簡易推定式で、 $D_{10}$  や  $D_{20}$  を使用していないのは、唯一、(5) 式のみである。しかし、砂礫の式であり、実際に粘性土に適用すると、2 ~ 3 オーダー程度ばらついてしまう。

#### 4. 透水係数を支配する要因

透水係数を支配する主な要因は空隙であり、流体が移動する程度の大きさを保持しているマクロポアの量に依存すると考えられる。また、締り度により、マクロポアから潰れていく現象は、圧密試験の水銀ポロシメーターによる計測からも知られており、マイクロポアはなかなか潰れないし、流体移動にも影響しないと考えられる。

つまり、透水係数を支配する要因は、大まかに下記のふたつで表現可能といえる。

- (a) マクロポアの絶対量 (ゆる詰め)
- (b) マクロポアの減少量 (締り度)

ここで、(a) の表現方法として、砂分(S)と粘土分(C)の比を考えたものが図-1、粘土分の逆数(1/C)を考えたものが図-2である。いずれも透水係数(logk)との相関はあまりよくはないが、粘土分逆数の方がより相関が高く、この指標で(a)を代表させることとする。

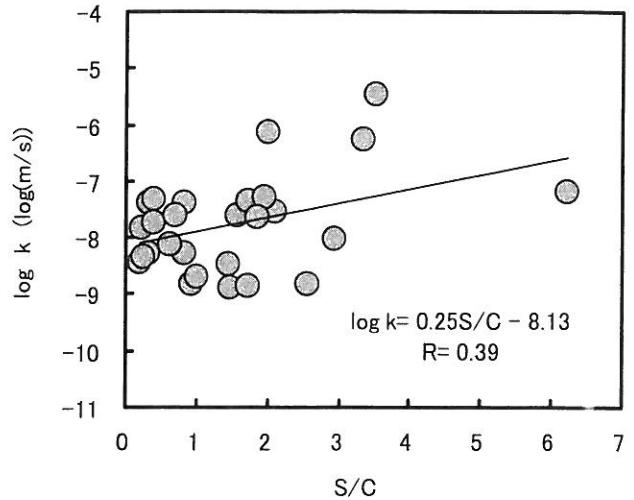


図-1 S/C と logk の相関図

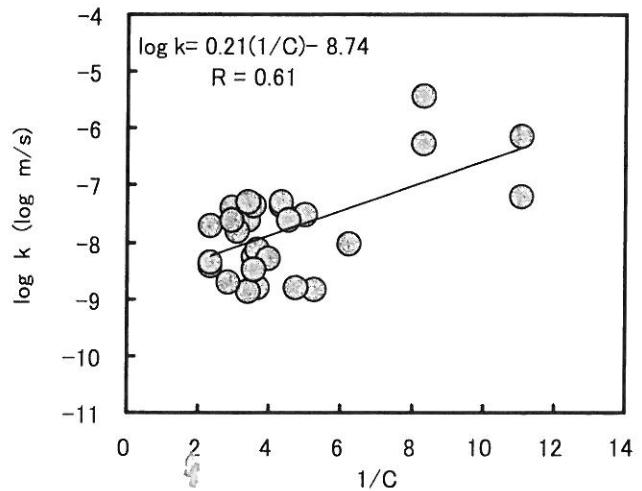


図-2 1/C と logk の相関図

(b) の表現方法として、正規化間隙比  $e/e_L$  と間隙率  $n \{=e/(1+e)\}$  があり、それぞれ透水係数 logK との相関を図-3 と図-4 に示した。いずれも相関はあまりよくない。

一般的に締り度と関係する間隙比  $e$  や間隙率  $n$  に対して、透水係数そのものはかなり敏感であり、1 ~ 3 オーダーは変化することが多い。そこで、この (a) と (b) の組み合わせとして、 $e$  や  $n$  がべき乗的に関与すると仮定し、相関をとったものが図-5 と 6 である。その結果、図-6 が良好な相関を示し、(8) 式を得た。

$$\log k = 1.57(1/C)^{\{e/(1+e)\}} - 10.76 \quad (8)$$

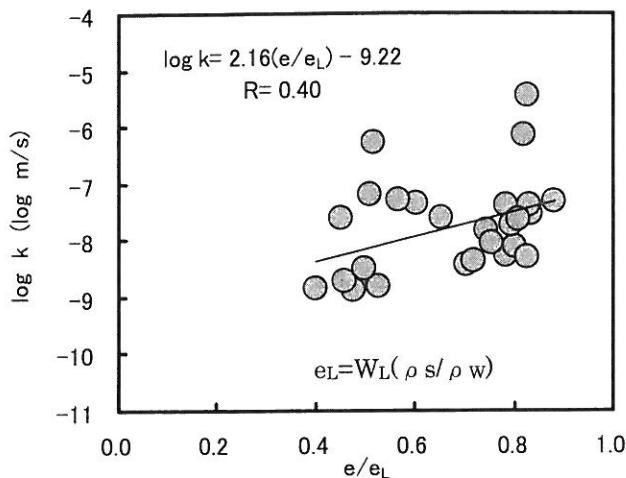


図-3  $e/e_L$  と  $\log k$  の相関

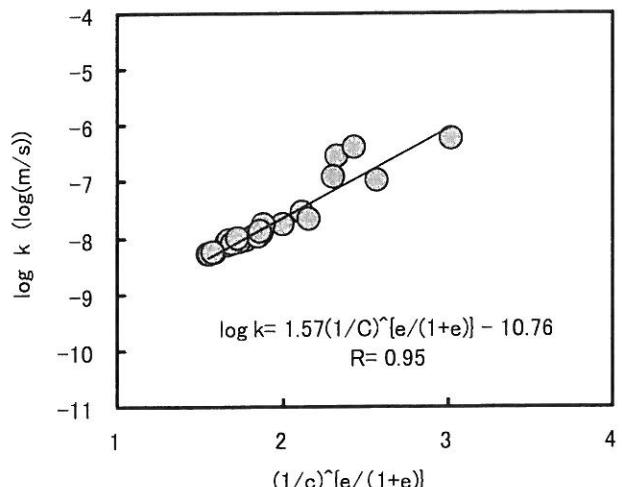


図-6  $(1/C)^{e/(1+e)}$  と  $\log k$  の相関

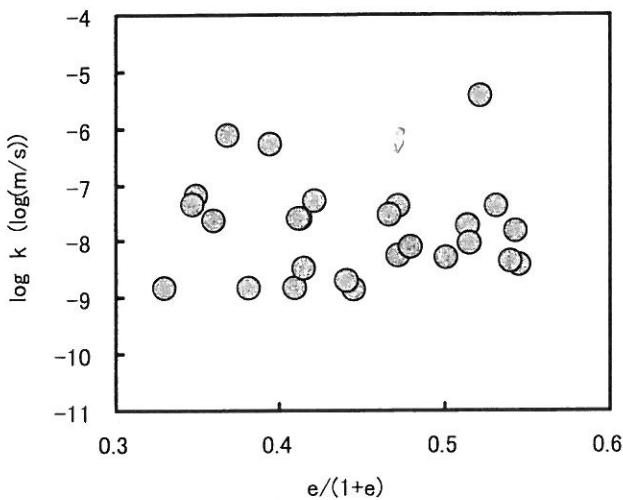


図-4  $n \ [=e/(1+e)]$  と  $\log k$  の相関

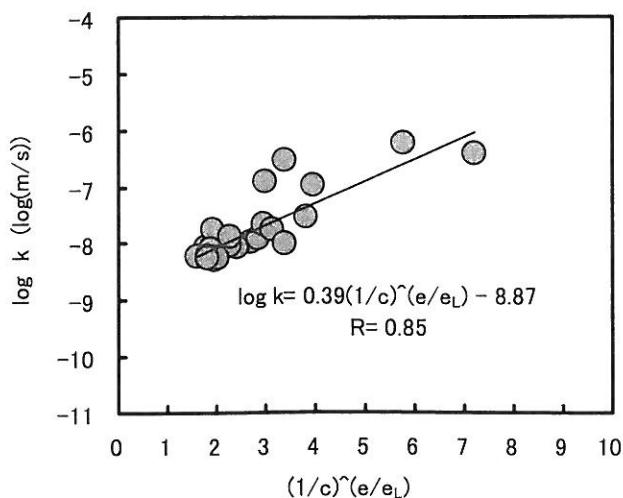


図-5  $(1/C)^{(e/e_L)}$  と  $\log k$  の相関

## 5. 間隙比の推定手法

### (1) 不透水性材料の間隙比

(8) 式から透水係数を推定することは可能だが、その場合、間隙比  $e$  を設定する必要がある。盛土材として、最大乾燥密度  $\rho_{dmax}$  を物理試験から推定できれば、その 95%～90% 最大乾燥密度が推定でき、また、その時の間隙比  $e$  が求められる。

推定式としては、(9)～(11)式があり、(11)式は、図-7 で示すように、当検討資料で得られた推定式である。なお、 $e_L$  は液性限界の間隙比である。

$$\rho_{dmax} = 1/(0.0107W_{opt} + 0.400) \quad (9)$$

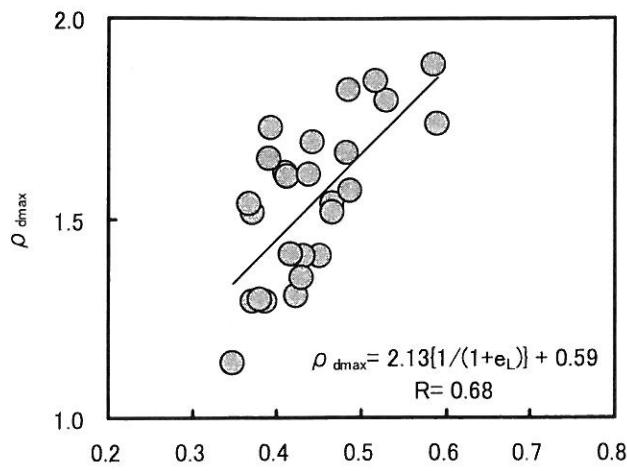
$$\rho_{dmax} = 1/(0.011W_p + 0.400) \quad (10)$$

$$\rho_{dmax} = 2.13\{1+e_L\} + 0.59 \quad (11)$$

$$e_L = W_L(\rho_s / \rho_w) \quad (12)$$

$$e = \rho_s / (D \rho_{dmax}) - 1 \quad (13)$$

ただし D : 締固め度%

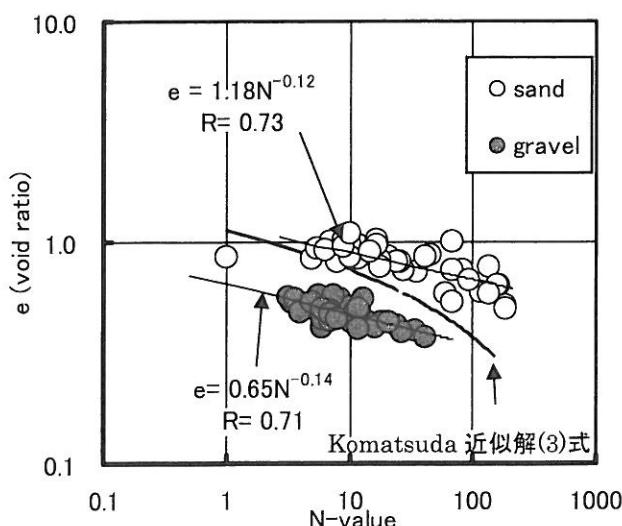
図-7  $1/(1+e_L)$  と  $\rho_{d\max}$  の相関

## (2) 現地盤の間隙比

$N$  値から間隙比を推定する場合、砂質土では(3)式の Komatsuda 近似解があるが、当社で収集した各種の資料でまとめると図-8 のようになる。その相関を(14)(15)式に示す。図-8 で、Komatsuda 近似解は、砂～砂礫の中間的なラインと考えられる。

$$\text{sand } e = 1.18N^{-0.12} \quad (14)$$

$$\text{gravel } e = 0.65N^{-0.14} \quad (15)$$

図-8  $N$  値と  $e$  の相関

## 6. まとめ

中間土や不透水性の堤体材料の透水係数を簡易に推定する実用的な式は、今までなかった。今回、土質試験データを整理し、間隙比  $e$  と粘土分  $C$  から簡易に推定する(8)式を得た。

また、盛土材の間隙比  $e$  を、事前に最大乾燥密度から推定する式を提案した。つまり、液性限界と土粒子の比重があれば、液性限界の間隙比が計算でき、その間隙比から最大乾燥密度が推定できる。その 95% や 90% の乾燥密度の間隙比から、締め固めた後の透水係数が、(8)式から推定できる。つまり、力学試験なしで簡易に現地条件の透水係数が推定できる実用的な簡易式である。

更に、原地盤において  $N$  値から  $e$  を推定し、透水係数を推定する手法を示した。

この実用提案式は、今後、データ蓄積や他のパラメーターも含めて検討し、コア土以外のより広い範囲の適用式に改良していきたいと考えている。



## 参考文献

- 1) 木村・今井：海面埋立型廃棄物処分場に用いる高性能遮水土質材料の配合設計方法の提案、土木学会論文集 No771、3-68、pp.121～133、2004。
- 2) 森田・坪田・西垣・小松：粒度分布と間隙率を考慮した土の透水係数の推定方法、地盤工学会、土と基礎、53-7、pp.5～7、2005
- 3) 木村・徳方：液性限界の間隙比を用いた不透水性材料の透水係数、土木学会第 61 回年次学術講演会、pp.451～452、2006
- 4) 木村・徳方：液性限界の間隙比を用いた透水係数の評価、第 41 回地盤工学研究発表会、pp.1133～1134、2006