

飽和細粒土の透水係数を支配する間隙の評価方法について

撰南大学 学生員 ○堀家直也  
撰南大学 正会員 伊藤 謙

1. 目的

砂のような粒径の大きな土の透水係数は間隙比などから推定することが比較的容易であるが、細粒土のような粒径の小さい土の場合ではそれが困難である。これは細粒土では間隙水が土粒子の吸着作用を受け、バルクな水（自由水）とは密度や粘性などの性質が異なっているためであると考えられている。細粒土において、実際の通水に関係している間隙には比較的吸着作用を受けていない自由水に近い水分が存在する。細粒土において全体の間隙量から透水係数を評価することは難しいが、実際の通水に寄与している間隙のみを評価することができれば、それが可能になると思われる。

そこで、本研究では細粒土が凍結する過程における温度低下に従い吸着水が徐々に凍結する現象に着目し、その凍結時の挙動から細粒土の間隙水の性質を評価し、土の透水係数との関係の解明を試みる。

2. 実験方法

(1) 圧密透水試験

表1に実験に用いた試料土の物性値を示す。なお、藤森08Fと関東ロームでは土粒子の性質を変化させるためにいくつかの前処理を行った。

試料土に蒸留水を加え、液性限界の約1.5倍の含水比として練り混ぜと真空ポンプによる脱気を行い、養生させた。その後、圧密リングに流し込み、加圧板を載せ12時間以上静置した。そして、圧密圧力  $p = 9.8\text{kN/m}^2$  を12時間以上載荷後、荷重増分比  $\Delta p/p = 1$  として、 $p = 19.6 \sim 1256\text{kN/m}^2$  まで7段階の載荷において24時間の圧密試験と24時間の変水位透水試験を繰り返した。

(2) 凍結水量測定試験

上記と同様に準備したスラリー状試料を圧密圧力  $p = 19.6\text{kN/m}^2$  から  $1256\text{kN/m}^2$  まで圧密した試料をポリエチレン袋に入れ、アスピレーターで吸引パックしてアルミニウム製円筒容器に入れ、エチレングリコールで満たした。円筒容器ごと、低温恒温バスで  $-1, -3, -5, -7, -10, -15, -20^\circ\text{C}$  の順に温度降下させて、凍結した水分量を水から氷への相変化に伴う体積変化を利用して求めた。式(1)を用いて凍結水体積  $V_{wf}(T_C)$  を、式(2)を用いて凍結間隙比  $e_{f2}(T_C)$  を計算した。

$$V_{wf}(T_C) = \frac{(\Delta V_{f(T_C)} - \alpha \cdot \Delta T \cdot V)}{0.09} \tag{1}$$

$$e_{f2}(T_C) = \frac{V_{wf}(T_C)}{V_s + V_{wu}(T_C)} \tag{2}$$

ここに、 $V_{wf}(T_C)$  : 凍結水体積,  $\Delta V_{f(T_C)}$  : 体積変化量,  $\alpha$  : 不凍液の体積膨張係数,  $\Delta T$  : 不凍液温度,  $V$  : 不凍液体積とする。

表1 試料土の物性値

試料土	記号	密度 g/cm <sup>3</sup>	液性限界 %	塑性限界 %	粒度分布		
					砂 %	シルト %	粘土 %
藤森06N	N-C	2.684	48.0	27.9	24.4	54.5	21.1
藤森08P	P-C	2.681	44.6	25.5	26.4	47.1	26.5
藤森08F	F-A		49.8	21.2			
藤森08F凍結融解	F-B	2.688	51.1	21.2	10.3	47.3	42.4
藤森08F炉乾燥	F-D		38.1	22.2			
関東ローム	K-A		169.8	99.5			
関東ローム凍結融解	K-B	2.638	137.9	93.3	6.0	64.5	29.5
関東ローム炉乾燥	K-D		NP	NP			
カオリン5号クレー	G-C	2.805	39.6	26.1	0.0	57.7	42.3
STカオリンクレー	S-C	2.720	53.2	40.7	0.0	51.3	48.8
カタルゴ	T-C	2.704	31.7	19.7	0.0	73.1	26.9
京橋粘土	B-C	2.676	43.4	22.6	0.5	3.3	96.2
上白	U-C	2.615	44.6	30.4	0.1	6.8	93.1
赤7号	A-C	2.659	49.1	31.4	6.5	2.0	91.5

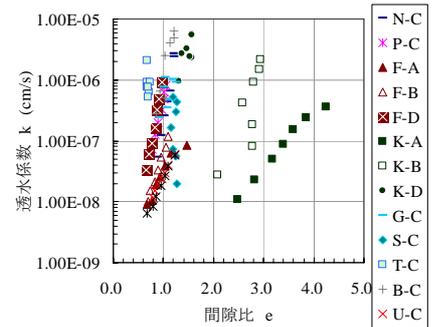


図1 間隙比 e と透水係数 k

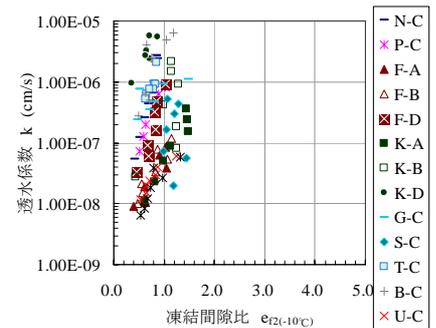


図2 e\_{f2}(-10°C) と k

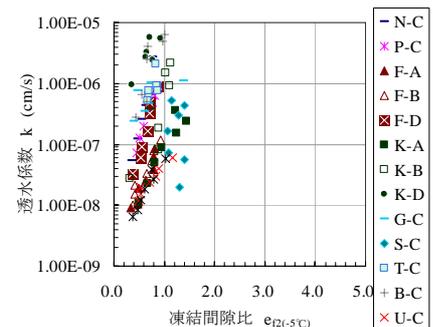


図3 e\_{f2}(-5°C) と k

キーワード 透水係数, 間隙比, 凍結

連絡先 〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町17-8 撰南大学理工学部 TEL 072-839-9701

### 3. 結果と考察

#### (1) 間隙比と透水係数の関係

図1に圧密透水試験から得られた間隙比 $e$ と透水係数 $k$ の関係を示す。図より、同じ試料土では間隙比が増加すると $k$ も増加する傾向がわかる。しかし、その程度は試料土により異なる。例えば、 $e = 1.0$  に対して  $k = 1.0 \times 10^{-6} \sim 1.0 \times 10^{-8} \text{cm/s}$  の範囲に分布し、試料土によって約 100 倍の違いがみられる。また、全体的には左側に属するグループと右側に属するグループに分かれている。

図2~4に $T^\circ\text{C}$ で間隙の評価を試みた凍結間隙比 $e_{f2(T^\circ\text{C})}$ と透水係数 $k$ の関係を示す。図1では試料土によって二つのグループに分かれていたプロットが、図2( $e_{f2(-10^\circ\text{C})}$ )においてひとつのグループに集まってきている。さらに、図3( $e_{f2(-5^\circ\text{C})}$ )、図4( $e_{f2(-1^\circ\text{C})}$ )とこの傾向が強くなる。また、図2では全体的に値が広く分布しており $k$ の評価は難しいが、図2と比較して図3はデータが左に移動して右上がりの傾向がわかる。さらに、図3と図4の比較では、図4においてデータがさらに左に移動して右上がりの傾向が強くなる。

#### (2) 間隙比関数と透水係数の関係

図5, 6に間隙比関数と透水係数 $k$ の関係を示す。図よりK-Aを例に挙げると、間隙比関数が増加すれば透水係数が増加するという比例関係がわかり、試料土ごとには透水係数と間隙比関数の比例関係がみられる。しかし、全体を眺めるとプロットが二つのグループに分けられ、間隙比の分布範囲が広がっており、試料土全体と間隙比関数の関係は確認できない。

図6では図5の間隙比の範囲を $e = 0.0 \sim 2.0$ にした。そうすると試料ごとに分布の違いが見られる。図7では $-1^\circ\text{C}$ の凍結間隙比 $e_{f2(-1^\circ\text{C})}$ を用いた間隙比関数と透水係数の関係を示す。図6に比べて図7では試料土S-Cを除いては試料土全体が集まり、全体を通じた関係が見られる。

これらの結果から、細粒土の透水係数 $k$ は従来の間隙比 $e$ や間隙比関数ではなく、ここで定義した凍結間隙比 $e_{f2(T^\circ\text{C})}$ との関係が強いことがわかった。さらに、間隙を評価する温度によりこの関係は変化し、今回の $-10^\circ\text{C}$ 、 $-5^\circ\text{C}$ 、 $-1^\circ\text{C}$ における評価では、 $-1^\circ\text{C}$ で凍結する水分量が透水係数に最も強く関係しているといえる。

### 4. 結論

- (1) 飽和細粒土の透水係数を支配する間隙の評価方法として、ここで定義をした凍結間隙比 $e_{f2(T^\circ\text{C})}$ を用いる方法が示された。
- (2) 従来の間隙比からでは困難であったさまざまな土の透水係数との関係に関して、細粒土の間隙の特徴に着目した凍結間隙比から透水係数の評価が可能であると思われる。
- (3) 今回の報告では、透水係数と最も関係が強かったのが $e_{f2(-1^\circ\text{C})}$ とその間隙比関数である。

謝辞：本研究には摂南大学都市環境システム工学科での田中輝佳氏、辻村光氏らの卒業研究のデータの一部が使用されています。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献：伊藤・堀家・古川・嘉門：飽和細粒土の透水係数と凍結試験から得られた間隙量の関係，第44回地盤工学研究発表講演集，pp.931-932，2009。

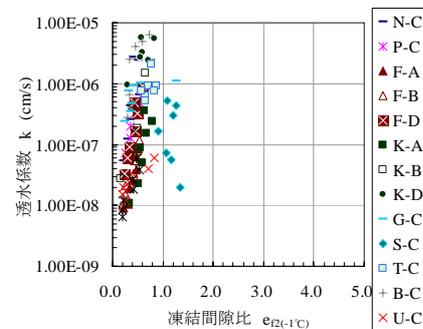


図4  $e_{f2(-1^\circ\text{C})}$ と $k$

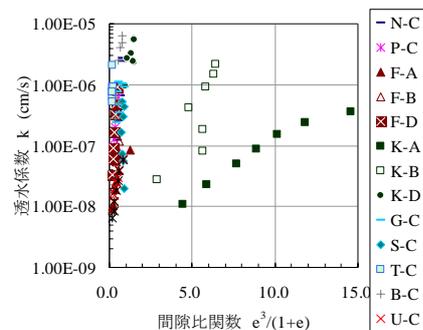


図5  $e^3/(1+e)$ と $k$

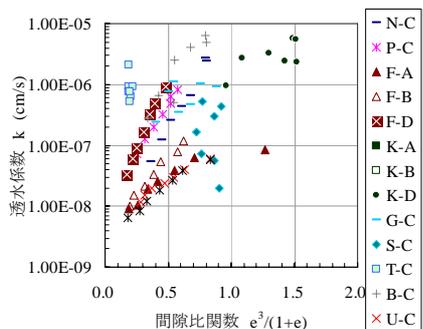


図6  $e^3/(1+e)$ と $k$

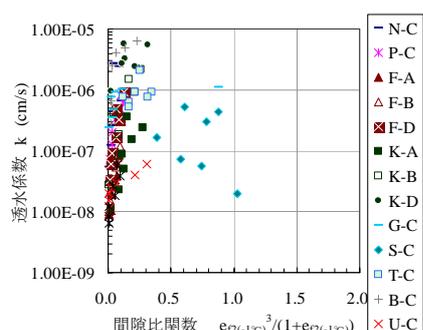


図7  $e_{f2(-1^\circ\text{C})}^3/(1+e_{f2(-1^\circ\text{C})})$ と $k$