凍結試験から得られる細粒土の透水係数を表わす指標について

奈良県	正会員	堀家	直也
摂南大学	学生員	〇佛圓	典 史
摂南大学	正会員	伊藤	譲

1. 目的

飽和細粒土の透水係数を支配するのは間隙量とその特性である.間隙量が大きいほど透水性が高く,間隙水が土粒子からの吸着作用を受けて移動性が弱くなると透水性が低くなる.透水係数の予測式として Kozeny-Calman 式が粗粒 土においては適用性が比較的良いことが知られている.しかし,この式では吸着間隙作用を受けた水の特性を評価するパラメターは用いられていないため細粒土に対しては適用ができない.

本研究では、この問題を解決するために凍結試験を検討した.つまり、バルクな水は氷点下で凍結するが吸着作用 を受けた間隙水は凍りにくい性質に着目して、凍結試験から透水性に影響を与える間隙の指標を求めた.そして、こ の指標を用いることでKozeny-Calman 式の適用範囲を細粒土へと拡大できないか可能性を探った.

2. 試験方法

表-1 に試料土の物性値を記す.透水係数は標準圧密試験(JISA 1217)と変水位透水試験(JISA 1218)を準用した圧密透 水試験から求めた.

次に凍結推量測定試験を説明する. 試料土に液性限界の 1.5 倍の蒸留水を加えて練り混ぜ,養生後,飽和させた. その後,標準圧密リングにてp=19.6~1256 kN/m²まで圧密

して供試体を作成した.供試体を袋に入れて真空パックし, 不凍液で満たしたアルミ製の測定容器に入れ,容器ごと恒 温低温バスで-20℃まで冷却し,容器に接続したビュレット にて体積変化を,容器内に挿入したPtセンサーにて供試体 温度を測定した.

凍結実験から求める凍結間隙比は通常の間隙比とは異なり、土粒子体積に対する凍結水体積の比(efla(ICO),式(1)), そして、土粒子体積と未凍結水体積に対する凍結水体積の 比(efla(ICO),式(2))と定義される.

$$e_{f1\alpha(T^{\circ}C)} = \frac{V_{wf(T^{\circ}C)}}{V_{\circ}} \tag{1}$$

$$e_{f2\alpha(T^{\circ}C)} = \frac{V_{wf(T^{\circ}C)}}{V_s + V_{wu(T^{\circ}C)}}$$
(2)

ここに、V_s:土粒子体積、V_{wt(TC)}:凍結水体積、V_{wu(TC)}: 未凍結水体積とする.

 $e_{f_{2}a(\Gamma C)}$ は、 $e_{f_{1}a(\Gamma C)}$ と比較して $e_{f_{1}a(\Gamma C)}$ の土粒子部分の体積 に未凍結水の体積が加わったものである.

3. 結果と考察

(1) 透水係数と間隙比の関係

図-1 に間隙比 e と透水係数 k の関係を示す.図より,本 研究で用いた各試料土において, e が増加すると k が増加 する.しかし,試料土全体では e が与えられると k が決ま るとは一概にいえない.例えば, e=1.00のラインでは左の 凍結試験 凍結間隙比 透水係数 Kozeny-Calman 式 大阪府寝屋川市池田中町 17-8 TEL/FAX 072-839-9116

試料土	記号	密度	液性限界	塑性限界	粒度分布		
					砂	シルト	粘土
		g/cm ³	%	%	%	%	%
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			
藤森10P	10-C	2.708	45.2	21.8	4.6	65.4	30.0
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
カタルポ	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
稲荷山黄土	Y-C	2.763	58.2	33.3	5.3	26.5	68.2
稻荷山白土	W-C	2 697	62.5	23.3	42	32.5	633

54 3

24.5

21

6.0

100 60

236 704

R-A 2.594

<u>楽白</u> 荒目5



表-1 試料土の物性値

グループのkは $1.00 \times 10^6 \sim 10^8$ cm/sの範囲に分布する. さらにe = 2.00を超えている試料も存在している. このことから,通常の間隙比から透水係数を一括して評価することは困難である.

(2) 透水係数と凍結間隙比の関係

図-2 に凍結間隙比 $e_{fl_{\alpha}(-l_{C})}$ とkの関係を示す.図より, 通常の間隙比では二つのグループに分かれていたプロ ットが $e_{fl_{\alpha}(-l_{C})}$ を用いると集まっていることがわかる.さらに,二つのグループがほぼまとまり試料土全体において $e_{fl_{\alpha}(-l_{C})}$ が増加するとkが増加する傾向が見られる.

図-3 に凍結間隙比 $e_{I_{\alpha}(-1)}$ とkの関係を示す.図-2 と同様に二つのグループに分かれていたプロットが $e_{I_{\alpha}(-1)}$ ではさらに一つのグループに集まることがわかる.さらに、図-2 以上に $e_{I_{\alpha}(-1)}$ が増加するとkが増加する傾向が強く見られた.

(3) 透水係数と間隙比関数の関係

図-4 に間隙比関数e³/(1+e)とkの関係を示す.ここで, 間隙比関数とは透水係数の予測式Kozeny-Calman式の一 部分であり,透水係数に比例するという指標である.図 より,試料土ごとではe³/(1+e)とkの関係は示されるが, 試料土全体においてはプロットが分散して, e³/(1+e)とk の関係は明らかでない.

図-5 に $e_{12\alpha(-1'C)}$ を用いた凍結間隙比関数 $e_{12\alpha(-1'C)}$ ³/(1+ $e_{12\alpha}$ (-1'C))とkの関係を示す.図-4 では e^{3} /(1+e) = 17.00 までの範 囲で分布たのに対して、図-5 では $e_{12\alpha(-1'C)}$ ³/(1+ $e_{12\alpha(-1'C)}$) = 1.00 までの範囲内にある.図-5 ではプロットが全体的に 集まっており、試料土全体において $e_{12\alpha(-1'C)}$ ³/(1+ $e_{12\alpha(-1'C)}$) が増加するとkも増加する傾向が認められた.

4. 結論

本研究の成果を以下のようにまとめる.

(1)凍結水量測定試験から凍結間隙比 $\mathbf{e}_{\mathbf{fl}_{\alpha}(-1)}$, $\mathbf{e}_{\mathbf{fl}_{\alpha}(-1)}$ の算 出が可能であり、凍結間隙比 $\mathbf{e}_{\mathbf{fl}_{\alpha}(-1)}$, $\mathbf{e}_{\mathbf{fl}_{\alpha}(-1)}$ から細粒土 の透水性を評価できることが示唆された.

(2)凍結間隙比 $e_{fla(-10)}$ と $e_{fla(-10)}$ を比較すると、 $e_{fla(-10)}$ より $e_{fla(-10)}$ の方が透水係数との関係が強いことがわかる. (3) 透水係数kの予測式において間隙比関数 $e^3/(1+e)$ の代わり に新しく定義した凍結間隙比 $e_{fla(-10)}$ を用いると、細粒土 の透水係数を予測できる可能性が示された.

謝辞:本研究の実験の主要部分を担当した摂南大学都市 環境システム工学科の川本豪氏,中村和麻氏に厚く御礼 申し上げます.なお,本研究には,科学研究費補助金(基 盤研究(c))課題番号 22560501 番が使用されています.

参考文献:(1)堀家・伊藤:飽和細粒土の透水係数と凍結 試験から得られる間隙特性の関係について、日本材料学 会、第9回地盤改良シンポジウム論文集,pp.321-326, 2010.(2) 堀家・伊藤:凍結試験から土の工学的諸性質を 評価する方法に関する研究,摂南大学修士論文,2011.



図-5 凍結間隙比関数 $e_{t2\alpha(-1^{\circ}C)}$ /(1+ $e_{t2\alpha(-1^{\circ}C)}$)と透水係数k