

飽和細粒土中の凍結水量・未凍結水量から一軸圧縮強さを予測する試み

摂南大学大学院 学生会員 ○鈴木 和也
 摂南大学 正会員 伊藤 謙

1. 背景

土質試験を行うことで様々な土質の強度、圧縮性や透水性など工学的諸量を知ることができる。しかし、建設事業の度に土質試験を行う必要があるのは、地盤が複雑で、構成する土粒子と間隙水の存在状況に関する理解が不足していることに一因がある。特に細粒土においては、土粒子の表面はマイナスの電荷が帯電しており、含水状態では水の極性のため水素イオン H^+ が粘土表面に引き寄せられ濃度が高くなる。同時に、外側には相対的に酸素イオン O^{2-} 濃度の低い領域が生じ、土粒子近傍では水の密度や粘性が大きく、自由水とは異なる挙動を示す吸着水として存在すると考えられているが、直接的に測定・評価する方法は存在しない。

2. 目的

本研究は飽和細粒土が凍結する際の水の凝固点 ($0^{\circ}C$) 以下でも凍りにくい性質を有する水分の存在する現象を利用して地盤材料の工学的性質を評価しようとするものであり、正規圧密状態での間隙比 e_0 、凍結水量に対応する間隙比 e_f 、未凍結水量に対応する間隙比 e_u と一軸圧縮強さ q_u との関係性について検討する。

3. 実験方法

凍結水量を測定するために、水から氷に変化する際に生じる9%の体積膨張を利用した「凍・不凍水量測定実験」を実施した。試料土は表1に示す5種類の土を用いた。飽和状態で予圧密を行い、内径 $\phi=6\text{ cm}$ 、高さ $h=2\text{ cm}$ に作成した。実験は $+1\sim 4^{\circ}C$ でコントロールされた低温室内でテフロン製セルに入れて行われた。実験では供試体の上下端の温度を同時に $0^{\circ}C\sim -20^{\circ}C$ まで段階的に降下させ、実験から求まる凍・不凍水量から凍結間隙比 e_f 、未凍結間隙比 e_u を計算した。なお、実験は表2に示す正規圧密状態（予圧密荷重 $P=$ 実験荷重 p ）の条件で行った。本研究ではこれら間隙比 e_0 、 e_f 、 e_u を用いた。

$$e_0 = \frac{V_w}{V_s} \quad (1) \quad e_{f(T)} = \frac{V_{wf}}{V_s} = \frac{V_w - V_{wu}}{V_s} \quad (2) \quad e_{u(T)} = \frac{V_{wu}}{V_s} = e_0 - e_{f(T)} \quad (3)$$

ここで、 V_s ：融解後の土粒子体積、 V_w ：融解後の供試体中の水の体積、 V_{wf} ：凍結水の体積、 V_{wu} ：未凍結水の体積である。関係性を検討する一軸圧縮強さ q_u は JIS A 1216 から得られた結果を用いた。

表1 試料土の物性値

試料土	土粒子密度	液性限界	塑性限界	塑性指数	塑性限界間隙比	粒度分布		
	ρ_s (g/cm ³)	LL (%)	PL (%)	I_p (%)	e_{PL} (%)	砂 (%)	シルト (%)	粘土 (%)
白土21N	2.686	39.9	22.4	17.5	0.602	4.0	11.0	85.0
黄土21N	2.694	37.1	21.3	15.8	0.574	4.0	66.5	29.5
白土19N	2.673	41.9	18.3	23.6	0.489	2.8	42.6	54.6
藤森16N	2.705	46.3	23.4	22.9	0.633	3.7	46.3	50.0
黄土16N	2.702	52.3	22.1	30.2	0.597	0.9	31.5	67.6

表2 実験条件

試料名	予圧密荷重 P (kN/m ²)	実験荷重 p (kN/m ²)
白土21N・黄土21N	78.5	78.5
白土19N・藤森16N	157	157
黄土16N	314	314
	628	628

表3 $e-\log_{10}q_u$ の傾き

	白土21N	黄土21N	白土19N	藤森16N	黄土16N
e_0	-0.239	-0.145	-0.199	-0.154	-0.219
$e_{f(-0.7^{\circ}C)}$	-0.278	-0.273	-0.206	-0.453	-0.261
$e_{f(-5.0^{\circ}C)}$	-0.441	-0.415	-0.263	-0.547	-0.338
$e_{u(-0.7^{\circ}C)}$	0.039	0.128	0.007	0.298	0.042

キーワード 凍結間隙比、未凍結間隙比、一軸圧縮強さ、塑性限界

連絡先 〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町17番8号 摂南大学 TEL072-839-9106

4. 結果と考察

(1)初期間隙比 e_0 と一軸圧縮強さ q_u の関係：図1に e_0 と $\log_{10}q_u$ の関係を示す。 e_0 と $\log_{10}q_u$ の関係はいずれの試料土においてもほぼ同じ傾向が認められた。また、藤森 16N と黄土 16N はその他の試料土と比較して e_0 が大きくなった。これは表1と図1の液性限界が大きくなると e_0 が大きくなる傾向に対応していると考えられる。

この2つの試料土は、他の3つと比較して同じ $\log_{10}q_u$ に対して e_0 が異なるため、 e_0 の違いは強度に影響を与えているとは言えない。

(2)凍結間隙比 e_f と一軸圧縮強さ q_u の関係：図2に $e_{f(-0.7^\circ\text{C})}$ と $\log_{10}q_u$ 、図3に $e_{f(-5.0^\circ\text{C})}$ と $\log_{10}q_u$ の関係を示す。図2では、藤森 16N のみ傾きは異なるものの全体的に $e_{f(-0.7^\circ\text{C})}$ が大きくなると q_u は同じ傾きで小さくなり、 $e_{f(-0.7^\circ\text{C})}$ と $\log_{10}q_u$ の傾きの絶対値は図1よりも大きい。なお、 $e_{f(-0.7^\circ\text{C})}$ が小さくなるにしたがって q_u は収束し、 $e_{f(-0.7^\circ\text{C})}$ が0に近づくと最終的に $q_u=200\sim400$ kN/m² の範囲に分布した。また、図3では、 $e_{f(-5.0^\circ\text{C})}$ と小さくなると $\log_{10}q_u$ は大きくなり図2と同様の関係が得られた。なお、図3の e - $\log_{10}q_u$ の傾きは図2よりも大きい。図2、3では図1とは異なり、すべての土が一本の近似線上に集まる傾向がある。

(3)未凍結間隙比 e_u と一軸圧縮強さ q_u の関係：図4に $e_{u(-0.7^\circ\text{C})}$ と $\log_{10}q_u$ の関係を示す。図より、 $e_{u(-0.7^\circ\text{C})}$ は藤森 16N を除いて、ほぼ一定であるが、 $\log_{10}q_u$ は変化している。これより、吸着水量である $e_{u(-0.7^\circ\text{C})}$ は q_u に関係なく一定量存在すると言える。

(4) e_f 、 e_u と q_u の関係：表3より、 $e_{f(-0.7^\circ\text{C})}$ と q_u は、 e - $\log_{10}q_u$ の傾きの絶対値の大きさが藤森 16N > 白土 21N ≒ 黄土 21N ≒ 黄土 16N > 白土 19N となり、表1の塑性限界の大小関係とほぼ同じである。これは、図5より、 $e_{u(-0.7^\circ\text{C})}$ が塑性限界時の間隙比 e_{PL} に匹敵することを意味する。予圧密荷重によっても $e_{u(-0.7^\circ\text{C})}$ は変化するが、塑性限界が大きな土では $e_{u(-0.7^\circ\text{C})}$ も大きくなるため、 e - $\log_{10}q_u$ の傾きが大きくなると考えられる。

5. まとめ

- (1) 初期間隙比 e_0 は液性限界の影響を受ける。しかし、 e_0 - $\log_{10}q_u$ の傾きは一定で、試料土による差異は小さい。
- (2) 凍結間隙比 e_f が増加すると一軸圧縮強さ q_u は減少するため、一軸圧縮強さ q_u は自由水とされる凍結間隙比 e_f に依存する。
- (3) 一軸圧縮強さ q_u は未凍結間隙比 e_u の影響を受けない。つまり、 q_u を支配する間隙水は e_u に相当する間隙水ではない。

謝辞：実験の主要部分は摂南大学の卒業生である塚本光祐氏、森實太一朗氏、玉井空雅氏、谷口佳武生氏、西村勇伽氏の実験であり、ここに厚く御礼申し上げます。参考文献：伊藤，佛圓，堀家：凍結試験から粘性土の一軸圧縮強さのメカニズムを知る方法，第46回地盤工学研究発表会，pp.285-286，2011。

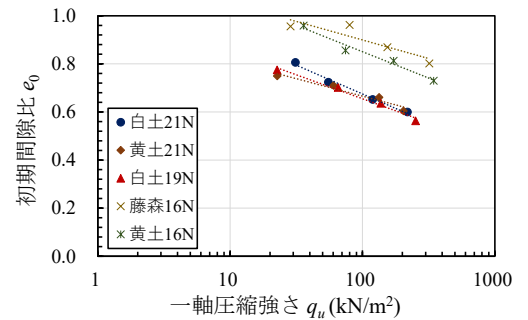


図1 e_0 と q_u の関係

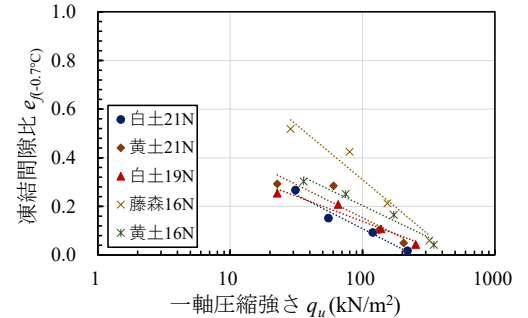


図2 $e_{f(-0.7^\circ\text{C})}$ と q_u の関係

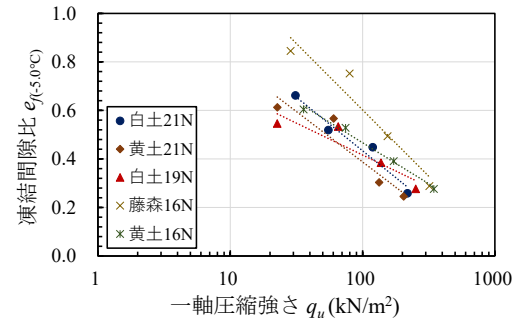


図3 $e_{f(-5.0^\circ\text{C})}$ と q_u の関係

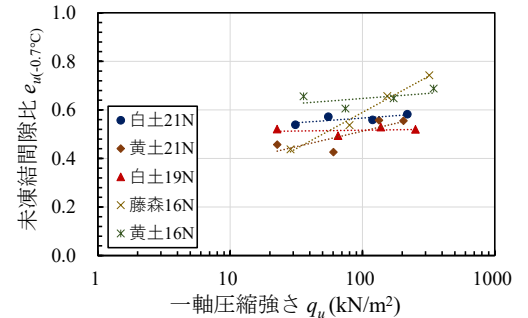


図4 $e_{u(-0.7^\circ\text{C})}$ と q_u の関係

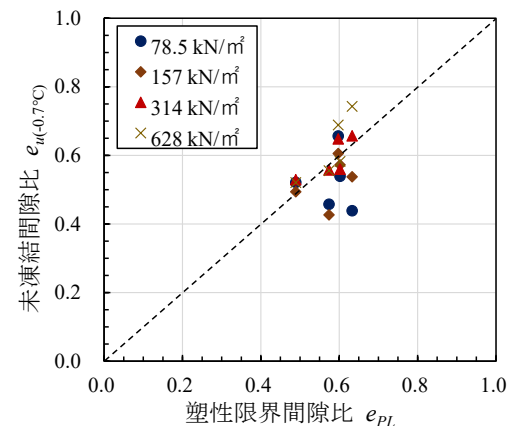


図5 e_0 と $e_{u(-0.7^\circ\text{C})}$ の関係