

飽和細粒土の地盤工学的性質に及ぼす凍・不凍水量の影響

摂南大学 学生会員 ○鈴木 和也
 摂南大学 正会員 伊藤 譲

1. 背景

土質試験を行うことで様々な土質に応じた圧縮性や透水性など工学的諸量を得ることができる。より合理的で簡単な方法で土の工学的性質を評価できれば、土質試験が困難なときにも実用的に十分な精度のパラメータが推定できると考えられてきた。土の物理化学的アプローチから、その工学的性質を予測する試みが行われてきたが、まだ理論的にも実験的にも実用的なレベルにまで到達していない。その原因は例えば、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、相対的に酸素イオン O^{2-} 濃度の低い領域が生じ、拡散二重層¹⁾を形成し、土粒子近傍では水の密度や粘性が大きく、本来の水(自由水)とは異なる吸着水として存在すると考えられているが、それらを直接的に測定・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現象から地盤材料の工学的性質を評価しようとするものであり、次の2点を目的とした。(1)飽和細粒土における正規圧密状態での凍・不凍水量測定実験を行い、凍結間隙比 e_f 、未凍結間隙比 e_u の関係を検討する。(2)正規圧密状態と過圧密状態での e_f 、 e_u に対する一軸圧縮強さ q_u について検討する。

3. 実験方法²⁾

細粒土の間隙水を測定するために、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に示す白土19Nを用いた。飽和状態で予圧密を行い、供試体を作成した。供試体は+1~4°Cでコントロールされた低温室内で内径 $\phi = 6\text{cm}$ 、高さ $h = 2\text{cm}$ のテフロン製セルに入れて実験を行う。実験では供試体の上下端の温度を同時に0°C~-15°Cまで段階的に降下させ、実験から求められる凍・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。本研究では初期間隙比 e_0 、 e_f 、 e_u を以下の式で定義した。

$$e_0 = \frac{V_w}{V_s} = \frac{V_{w1} + A \times (d_1 - d_2)}{V_s} \quad (1)$$

$$e_f = \frac{V_{wf}}{V_s} = \frac{((d_x - d_1)/0.09) \times A}{V_s} \quad (2)$$

$$e_u = \frac{V_{wu}}{V_s} = e_0 - e_f \quad (3)$$

表-1 土粒子の物性値

試料土	土粒子密度	液性限界	塑性限界	粒度分布			塑性図による分類
	ρ_s (g/cm ³)	LL (%)	PL (%)	砂 (%)	シルト (%)	粘土 (%)	
白土19N	2.673	41.9	18.3	2.8	42.6	54.6	CL

表-2 実験条件

実験番号	予圧密荷重	実験荷重
	P (kN/m ²)	p (kN/m ²)
D-121	39.2	39.2
D-122	78.5	78.5
D-123	157	157
D-124	314	314
D-125	628	628

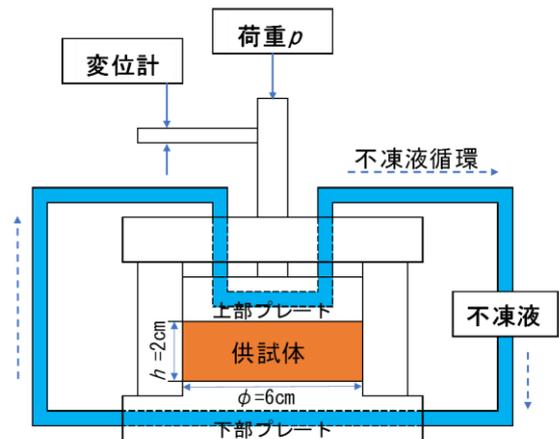


図-1 凍・不凍水量測定実験装置

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

ここで、 V_s ：融解後の土粒子体積、 V_{w1} ：融解後の供試体中の水の体積、 d_1 ：氷核直前の変位量、 d_2 ：融解後の変位量、 d_x ：任意の経過時間における変位量、 A ：供試体断面積である。

本研究では e_f および e_u に対して工学的性質の中でも一軸圧縮強さ q_u の比較検討を行った。

4. 結果と考察

(1) 温度 T と e_f 、 e_u の関係：図-2に温度 T と e_f の関係、図-3に温度 T と e_u の関係を示す。図-2より、温度の低下に伴い e_f が大きくなるが、温度が -5°C を下回ると e_f はほぼ変化しない。また、荷重($P = p$)が大きいほど凍結する水分が少なくなり、最終的には $0.3 \sim 0.7$ の範囲に分布している。逆に、図-3より、 e_u は温度の低下に伴い小さくなり、最終的に荷重($P = p$)に関係なく $0.15 \sim 0.3$ の間に収束した。 e_f 、 e_u 共に -1.0°C 以下では変化する割合は一定であるため、土粒子付近の吸着水の割合は P, p に関係なくほぼ一定と言えよう。これより、 e_f と e_u は圧密圧力と温度のみに支配されていると考えられる。つまり、 -1.0°C 程度までに e_f 、 e_u に特徴的な水分は凍結してしまう。

(2) e_f 、 e_u と q_u の関係：図-4に e_f と q_u の関係、図-5に e_u と q_u の関係を示す。図-4より、 e_f と q_u の関係は荷重が $39.2 \sim 157 \text{ kN/m}^2$ では指数関数的な関係が得られ、 $157 \sim 628 \text{ kN/m}^2$ では直線的な関係が得られた。また、温度が低くなると e_f が大きくなる方向に平行移動していく関係が得られた。つまり、温度低下による e_f の変化は一定である。一方、図-5より、 e_u と q_u の関係は敏感であり、 e_u の少しの増加で q_u が増加しているように見える。しかし、全体的には一定であるが q_u は変化しているとも読みとれる。また、図-5で塑性限界に相当する間隙比は $e_p = 0.490$ であり、これは $-0.7^{\circ}\text{C} \sim -1.0^{\circ}\text{C}$ の e_u に等しい。このことは塑性限界が土の塑性状態と固体状態の境界であることと一致する。

5. まとめ

(1) 正規圧密状態において、荷重($P = p$)が異なると凍結間隙比 e_f が大きく変化するが、未凍結間隙比 e_u の変化は小さい。これは、圧密により自由水は排水されるが、土粒子に強く吸着している吸着水は排水されないことを意味する。

(2) 一軸圧縮強さ q_u は凍結間隙比 e_f が大きくなると反比例的に小さくなる。しかし、一軸圧縮強さ q_u に対して未凍結間隙比 e_u の変化は小さい。このことから、一軸圧縮強さ q_u は自由水の量に支配され、土粒子と吸着水は一体となって挙動すると思われる。

(3) 塑性限界 $e_p = 0.490$ は $-0.7^{\circ}\text{C} \sim -1.0^{\circ}\text{C}$ の未凍結間隙比 e_u に相当し、これが自由水と吸着水の境界であろう。

<参考文献>

- James K. Mitchell & Kenichi Soga : Fundamentals of soil behavior, Third Edition, pp. 146-147, 153-154, 2005.
- 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.

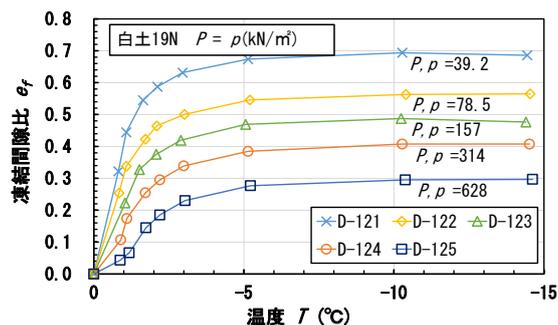


図-2 T と e_f の関係

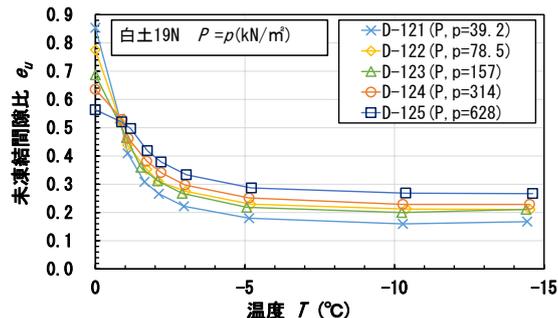


図-3 T と e_u の関係

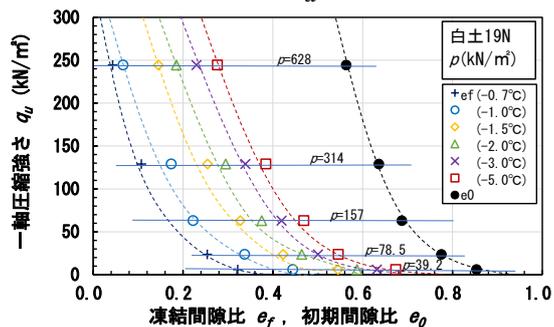


図-4 e_f と q_u の関係

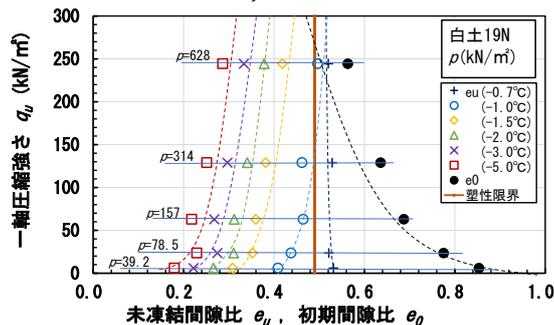


図-5 e_u と q_u の関係