

凍結実験から飽和細粒土の工学的性質を検討する基礎的研究

摂南大学 学生会員 ○塚本 光祐
 摂南大学 正会員 伊藤 謙

1. 背景：飽和細粒土は土粒子と間隙水のみから構成されている。土粒子表面に近い間隙水の状態は土粒子の表面力の影響を強く受けている。したがって、細粒土の間隙水は土の表面力の影響を受ける吸着水と影響を受けない自由水に大別される。しかし、土粒子表面からの距離に応じて吸着力が弱くなるため、それらの境界は明確ではない。一方、凍結試験を行うと土質に応じて氷点下において液体状態で存在する間隙水の量が異なることは古くから知られていた。そこで、従来は不凍水量を測定することで細粒土の工学的性質との関係を検討してきた。本研究では細粒土の間隙水量の測定を載荷状態で行い、工学的性質との関係を明らかにする。

2. 目的：著者らの用いた不凍水量を求める方法は水から氷に変化する際の体積変化を利用するものである。今回は $\phi=6\text{cm}$, $h=2\text{cm}$ 供試体の小型セルを製作して、 $+3^\circ\text{C}$ の低温室に正規圧密状態($P=p$)で凍・不凍水量測定実験を実施した。実験から得られる凍結間隙比 e_f , 未凍結間隙比 e_u を求め、透水係数 k_p との関係を検討した。

3. 実験方法

(1) 土質試験：表-1 に試料土の物性値を示す。LL の 1.3 倍で含水比調節後、練り混ぜ、脱気後に予圧密して作成した供試体で圧密透水試験(JIS A 1217, 1218 準用)を行った。
 (2) 凍・不凍水量測定実験：図-1 に凍・不凍水量測定実験装置を示す。本装置は温度コントロールされた低温室内に設置されている。供試体を上下部から同時に凍結させるためにアクリル製セルの上下端に冷却用の上下部プレートとを設けている。実験では 0°C から -20°C まで段階的に降下させ再び上昇するように温度変化させる。

供試体は(1)と同様に作成し、 $\phi=6\text{cm}$, $h=2\text{cm}$ 用のアクリル製円筒セルに設置し、供試体の両端面温度を測定するため、 P_t センサーを上下端プレート内に各 1 本、熱電対を上下端面に 3 箇所ずつ合計 6 箇所に設置した。

4. 結果と考察

(1) 凍結間隙比 e_f と温度 T の関係：図-2 に凍結間隙比 e_f と温度 T の関係を示す。荷重 p が小さいほど、凍結間隙比 e_f は大きくなるのが分かる。 $0^\circ\text{C} \sim -2^\circ\text{C}$ 付近まで e_f は急激に増加するが、その後は e_f が小さいことが分かる。

表-1 試料土の物性値

試料名	土粒子密度	液性限界	塑性限界	粒度分布		
	ρ_s (g/cm ³)	LL (%)	PL (%)	砂(%)	シルト(%)	粘土(%)
藤森16N	2.705	45.5	23.4	3.7	46.3	50.0

表-2 実験条件

ケース	予圧密荷重 P (kN/m ²)	実験荷重 p (kN/m ²)	初期間隙比 e_0
1	39.2	39.2	1.142
2	78.5	78.5	1.064
3	157	157	1.015
4	314	314	0.930
5	628	628	0.840

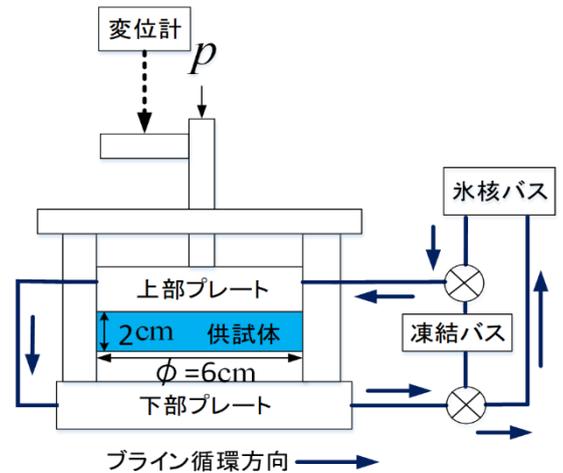


図-1 凍・不凍水量測定実験装置

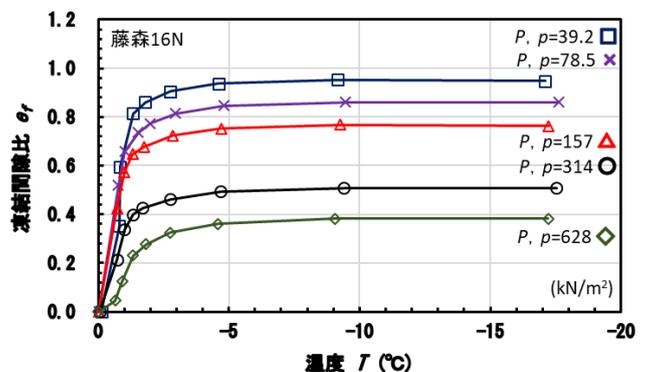


図-2 凍結間隙比 e_f と温度 T の関係

キーワード 凍結間隙比, 凍結間隙率, 凍結間隙比関数, 透水係数
 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

(2)凍結間隙比 e_f , 未凍結間隙比 e_u , 初期間隙比 e_0 と透水係数 k_p の関係: 図-3 に凍結間隙比 e_f , 初期間隙比 e_0 と透水係数 k_p の関係を示す. $e_{f(TC)}$ は実験中の温度の e_f で $e_{0(TC)}$ は実験室での e_0 である. 荷重 p が小さいほど, e_f , e_0 は大きく, 普通目盛で表示した k_p も大きくなることが確認できる.

e_f-k_p 直線は -1.5°C で原点を通過しているので透水係数を支配している水分は 0°C から -1.5°C までの温度で凍結する水分であると考えられる.

図-4 に図-3 と逆の関係を示す未凍結間隙比 e_u , 初期間隙比 e_0 と透水係数 k_p の関係を示す. 荷重 p が小さいほど e_u , e_0 は大きく, k_p も大きくなることが分かる.

e_u-k_p 直線は図-3 と逆の傾きを示しており, 高荷重でも土粒子表面に強く吸着して低温でも凍結しない水分が多いことを示している.

(3)凍結間隙率 n_f , 初期間隙率 n と透水係数 k_p の関係: 図-5 に凍結間隙率 n_f , 初期間隙率 n と透水係数 k_p との関係を示す. 図-3 と同様に n_f-k_p 直線は左から右に平行移動して, $-1.0^\circ\text{C} \sim -1.5^\circ\text{C}$ で原点を通過しているので透水係数を支配している水分は 0°C から $-1.0^\circ\text{C} \sim -1.5^\circ\text{C}$ までの温度で凍結する水分であると考えられる.

(4)凍結間隙比関数 $e_f^3/(1+e_0)$, 初期間隙比関数 $e_0^3/(1+e_0)$ と透水係数 k_p の関係: 図-6 に凍結間隙比関数 $e_f^3/(1+e_0)$, 初期間隙比関数 $e_0^3/(1+e_0)$ と透水係数 k_p の関係を示す. 間隙比関数は Kozeny-Calman²⁾ が提案したもので透水係数に比例する指標である. 図-3 と同様に荷重 p が小さいほど, $e_f^3/(1+e_0)$, $e_0^3/(1+e_0)$ は大きく, 普通目盛で表示した k_p も大きくなることが確認できる.

5. まとめ: (1)飽和細粒土の間隙水量と透水係数を把握するために凍・不凍水量測定実験を行った. (2)荷重 p によって e_f は変化する. (3)藤森 16N において, 透水係数に影響を及ぼす水分は -1.5°C までは凍結する水分であろう. また, 透水係数に対する凍結間隙比や凍結間隙率の比例関係から, 従来の Kozeny-Calman らのモデルよりも単純な透水係数の予測式の可能性が示された.

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)Lambe, T.W., and Whitman, R.V., "Soil Mechanics, John Wiley & Sons", pp. 110-111, 1948.

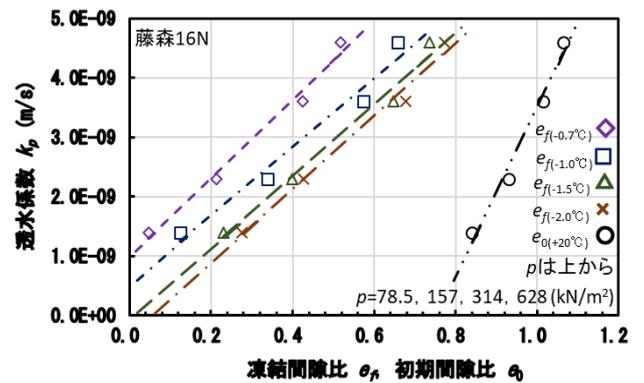


図-3 間隙比 e_f , e_0 と透水係数 k_p の関係

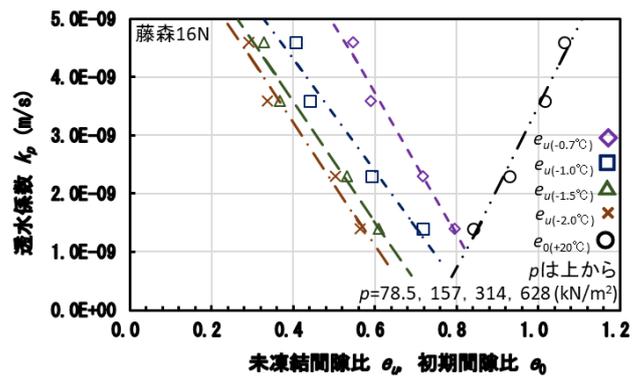


図-4 間隙比 e_u , e_0 と透水係数 k_p の関係

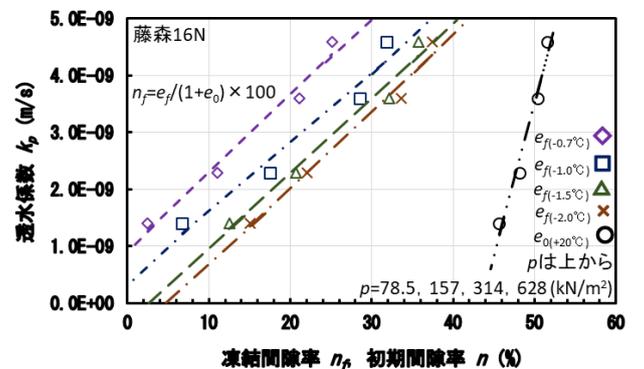


図-5 間隙率 n_f , n と透水係数 k_p の関係

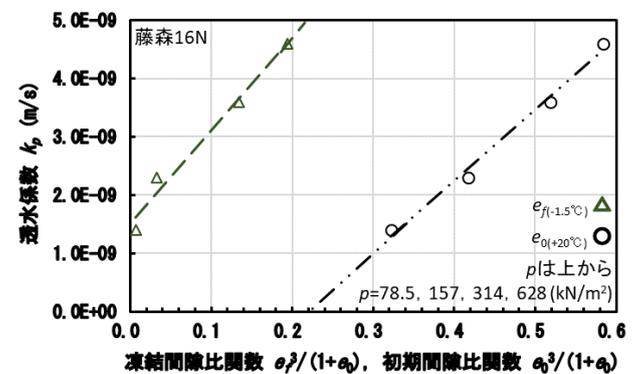


図-6 間隙比関数 $e_f^3/(1+e_0)$, $e_0^3/(1+e_0)$ と透水係数 k_p の関係