

III-146 高塑性粘土の透水係数に関する一実験

=吸着イオンの影響=

金沢大学工学部 正員 西田義親

神戸市役所 正員 〇小池宏男

金沢大学大学院 学生員 松村夏樹

1. 序

透水係数 k と間隙比 e との関係の一つは D. W. Taylor が理論的に、 $k = k_0 \cdot \frac{e^3}{1+e}$ と示している。これは砂質土に於てはよく一致するが、粘性土には不適当な事が一般に知られている。特に比表面積が大きく活性度の高い粘土では、粘土粒子表面の吸着水層の力学的性質が透水性に大きく影響するであろう。そこで本研究では、高塑性粘土の透水性を理論的に考察し、実験結果より検証し、あわせて透水性に及ぼす吸着イオンの影響を調査した。

2. 高塑性粘土の透水係数と間隙比

吸着水は粘土粒子表面電荷による抱束力を受けるものであり、吸着水の粘性係数 μ は粘土表面に接近するに従って増加する事が知られている。ここで粘性係数の分布を仮定するに当って拡散二重層論を利用した。粘土-水溶液系において粘土粒子が平板状で、さらに対称型の電解質溶液であるとした時の拡散二重層理論基本式より、粘土表面から x の距離の電気ポテンシャル φ に次式で示されている。

$$\varphi = \varphi_0 \exp(-Kx) \quad \text{-----}(1)$$

ここに $K = \frac{8\pi\epsilon^2\nu^2}{\lambda KT}$ φ_0 = 表面電位、 ϵ = 電子素量、 ν = 溶液イオン厚子価数、
 ν_0 = 溶液イオン濃度、 λ = 誘電定数、 K = ボルツマン定数、
 T = 絶対温度

ポテンシャル φ を x で微分する事によって粒子表面から x の位置にある吸着水分子の抱束力が求まる。そこで我々は粘性係数の分布は 式(1)より次の様に表わす事が出来ると考えた。

$$\mu = \mu_0 \exp(-ax) \quad \text{-----}(2)$$

ここに $a < 0$ 、 $-a \propto K$ 。

さて粘土中の水の動きを右図の様な円形断面管を流れるものと仮定すれば、管中心より r の距離での剪断力 T_{rx} は

$$T_{rx} = -\mu \frac{dV_x}{dr} = -\mu_0 \exp\{a(R-r)\} \frac{dV_x}{dr} \quad \text{-----}(3)$$

となる。^{*2} さらに吸着層でも特に表面に近接した部分で粘土表面に堅固に吸着された層 (Firmly adsorbed water) が存在し、透水には関与しない。この層の厚さを R_0 とすると、浸透流の平均流速 V_m は式(3)より次の如くなる。

$$V_m = \frac{-A}{\mu_0 a^2 (R+R_0)^4} \left\{ -a^3 R^3 + 3a^2 R^2 - 6aR + 6 - 6 \exp(aR) \right\} \quad \text{-----}(4)$$

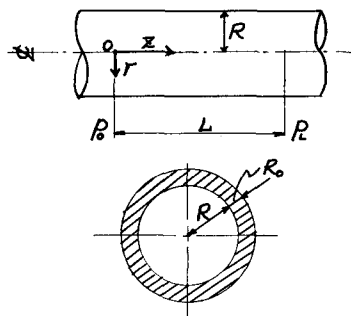


Fig-I

$$\text{ここに } A = \frac{P_0 - P_e}{2L} = \frac{\gamma_w \cdot i}{2}$$

近似式を用いて式(4)を書き改めれば

$$u_m = \frac{\gamma_w \cdot i}{8 \mu_w} \left\{ \frac{R^4}{(R + R_0)^2} \right\} \quad \text{----- (5)}$$

となる。ここで、吸着水層の発達していない場合つまり活性の低い粘土及び砂質土の場合には式(5)は $R_0 = 0$ として Taylor の導びいたと同様な結果となる。^{※3} 次に吸着水層の十分発達した粘土の場合には、 $R_0 \gg R$ と置いて式(5)を書き改める。

$$u_m = \frac{\gamma_w \cdot i}{8 \mu_w} \cdot \frac{R^4}{R_0^2} \quad \text{----- (6)}$$

そこで、結果として高塑性粘土における透水係数 k と空隙比 e の関係式(7)を得る事が出来る。

$$k = D_s^* \frac{\gamma_w}{\mu_w} \cdot \frac{e^5}{1+e} \cdot \frac{C}{R_0^2} = K_0 \cdot \frac{e^5}{1+e} \quad \text{--- (7)}$$

D_s = 換算有効粒径、 γ_w = 水の密度、

C = 粒子形できまる定数。

3. 実験及び考察

実験資料として市販ベントナイトにイオン交換を施したもの(5種)を用いた圧密試験の結果を Fig-II に示す。Fig-III は 溶液イオン濃度を变化させて試験した結果である。この時透水係数に關係する諸因子のうち、吸着カチオン価の違いと、イオン濃度の違いを除いて他は全て同一条件である。Fig-II、III より k と $\frac{e^5}{1+e}$ とは線形關係がある事がわかる。又イオン価数の違いにより透水係数は、同一空隙比で1ないし2オーダー程度の変化が認められ、イオン濃度が高くなるに従い K_0 が増加し、透水性がよくなっている。

4. 結論及び参考文献

吸着水の完全に Pseudo-plastic な状態にある部分と、粘性の変化を考慮して導いた $k = K_0 \cdot \frac{e^5}{1+e}$ なる式は実験により比較的正確に高塑性粘土の透水性状を表現し得るものである事が検証された。又、粘土の吸着イオン価数の増加は透水係数の増加をもたらす傾向で、明らかな効果が認められた。なお、各地の試験結果を検討した結果、著者の式は $k = 10^{-7} \text{ cm/sec}$ 以下で良く一致し、 $k = 10^{-7} \sim 10^{-4} \text{ cm/sec}$ では $e = \alpha + \beta \log k^{*4}$ が良く一致した。

^{※1} Van Olphen, G. H. ; An Introduction to Clay Colloid Chemistry.

^{※2} R. B. Bird, W. E. Stewart, E. N. Lightfoot ; Transport Phenomena.

^{※3} D. W. Taylor ; Fundamentals of Soil Mechanics.

^{※4} Y. Nishida, S. Nakagawa ; Water Permeability & Plastic Index of Soils, Tokyo Symposium of Subsidence (1969).

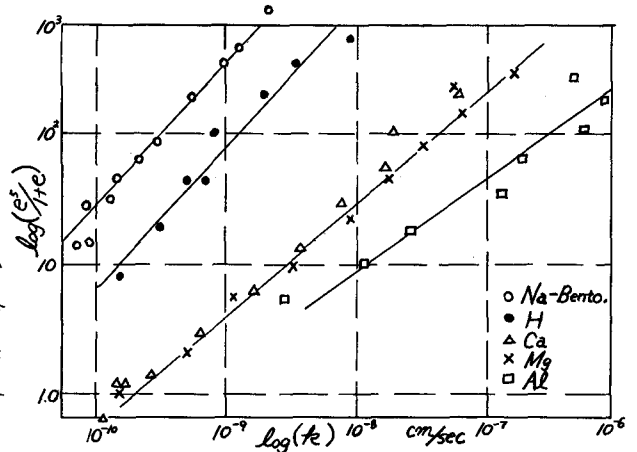


Fig-II

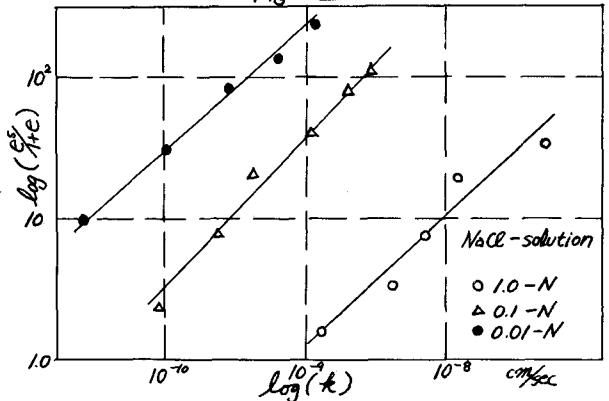


Fig-III