

不飽和土の透気係数に関する研究

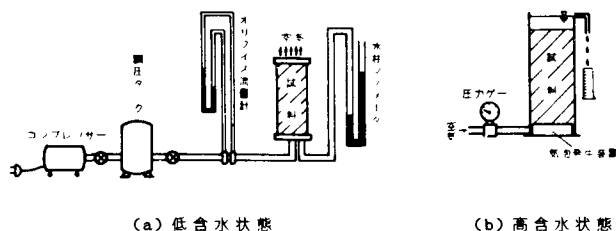
岡山大学工学部	正員	河野伊一郎
同上	正員	西垣 誠
中央開発	正員	○山本浩士
北九州市役所	正員	石松毅彦

1. はしがき

近年の土木工事にみられる大規模な掘削や地下構造物の施工には、今まで以上に厳密な解析として不飽和土の透気問題が取り上げられるようになってきている。たとえば、河川堤防の外水位上昇による堤防内部の地下水挙動の問題、あるいは圧気シールド工事にみられる漏気の問題など、不飽和土の透気性を考慮しなければその解析は不可能である。ところで、透気性の指標となる透気係数の研究はまだ不十分であるので、本研究は不飽和土の透気係数を把握することを目的として実験を行なったものであり、ここにその結果を報告する。

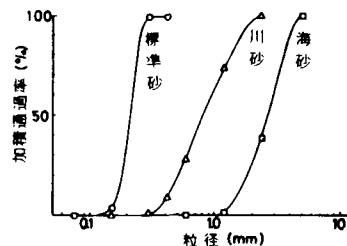
2. 実験概要

本研究では、全領域の飽和度に対する透気係数を得るために、低含水状態用と高含水状態用の2つの実験装置を用いて実験を行なった。それぞれの実験装置を図一1に示す。また、試料として、標準砂(比重 $G_s = 2.64$)、川砂($G_s = 2.63$)、海砂($G_s = 2.63$)の3種を用いた。その粒径加積曲線を図一2に示す。



図一1 実験装置

低含水状態の実験は、試料の飽和度(S_r)を種々に変えて乾燥密度(γ_d)を標準砂と川砂については 1.50 g/cm^3 、海砂については 1.55 g/cm^3 で一定に詰めて、送気量、送気圧等を計測した。なお、送気量の計測にはオリフィス流量計を用いた。この流量計の特長は、管路急縮部の径を変えることにより流量計測範囲を広げることが可能となる点である。また、送気圧は水柱マンメーターを用いて計測した。



図一2 粒径加積曲線

一方、高含水状態の実験は、低含水状態の実験と同一乾燥密度で詰めた試料を飽和させておき、圧気送入することにより強制的に不飽和にして押し出される間隙水量分の水をオーバーフローさせて、定常時の送気量、送気圧、流出水量等を計測した。なお、送気量の計測はオリフィス流量計を用いたが、送気圧については低含水状態の実験より高圧となることが予想されたので、それに見合うゲージ式微圧計を用いて計測した。

3. 実験結果および考察

(1) 透気係数と飽和度 図一3に本実験で得られた全領域の飽和度に対する透気係数を示す。ただし、試料粒径が大きいほど中飽和度領域でのデータが得られていない。これは、試料粒径が大きいほど間隙水もしくは気泡が保持されず、容易に流動してしまうために中飽和度状態が存在しないからであると考えられる。

次に、飽和度0%での透気係数(K_{a0})で、ある飽和度での透気係数(K_a)を割った値 透気係数比(K_a/K_{a0} , relative permeability of air)を導入する。図一4に示すのは、飽和度(S_r)に対する透気係数比(K_a/K_{a0})であり、図一3に示した試料による曲線に対応させて描いたものである。図一4によれば、試料による

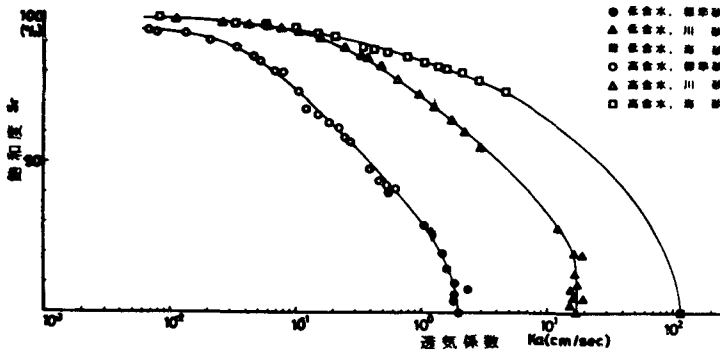


図-3 $K_a - S_r$ の関係

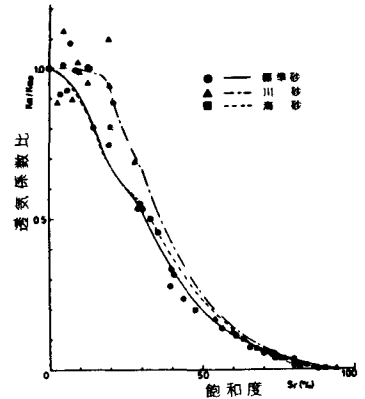


図-4 K_a/K_{ao} の関係

差異は比較的少なく、飽和度が与えられれば (K_a/K_{ao}) はある幅をもつてほぼ一義的に定まると言えよう。

(2) 透水係数と透気係数 透水係数 (K_w) と透気係数 (K_a) の両者がともに粘性に支配されていると仮定すれば、飽和状態の透水係数 (K_{w100}) と乾燥状態の透気係数 (K_{ao}) の比 (K_{ao}/K_{w100}) は両者の粘性係数の逆比 (μ_w/μ_a) に等しいことになる。ここで、本実験で得られた結果を表-1 に示す。

いずれの試料についても (K_{ao}/K_{w100}) は粘性係数の逆比よりも少し大きな値となった。このことは、透水試験や透気試験を完全飽和とか絶乾という試料状態で行なうことがほとんど不可能であることによるものであると考えられる。特に透水試験での気泡の混入は多大な影響があり、理想的な飽和状態の透水係数よりも小さい値が得られているため、

表-1 透水係数と透気係数 (温度 15°C)

試料	K_{w100} (cm/sec)	K_{ao} (cm/sec)	K_{ao}/K_{w100}	μ_w/μ_a
標準砂 ($\gamma_d=1.50\text{g/cm}^3$)	2.02×10^{-2}	1.99	96.5	63.3
川砂 ($\gamma_d=1.50\text{g/cm}^3$)	0.205	17.7	86.2	
海砂 ($\gamma_d=1.55\text{g/cm}^3$)	1.53	116.4	77.4	

(K_{ao}/K_{w100}) が理論値より大きい値になるものと考えられる。本実験データは数少ないものではあるが、透水係数を 80 ~ 90 倍することによつて概算的な透気係数が得られると言えよう。

(3) まとめ 本研究結果より、その精度に問題は残されてはいるが、透水係数を求めるだけで不飽和土の透気係数が推測され得ることが認められた。すなわち、透水係数を 80 ~ 90 倍することにより乾燥状態の透気係数 (K_{ao}) が得られ、次に図-4 より (K_a/K_{ao}) を読みとることによりその飽和度に対する透気係数 (K_a) が算定される。したがつて、従来、自由水面を有する浸透問題では、透気性がきわめて速いと仮定して、空気は透気性は無視されていた。しかし、本実験結果より、空気の透気係数は、水の透水係数と比較して、大きくとも 100 倍ほどであり、高含水状態では、不飽和土の透水係数とあまり値がかわらないことがわかる。

今回の結果は、限られた実験データにもとづいたものであるため、今後更に空気の浸透機構の解明ならびに空気と水の 2 層流の研究に期待したい。

参考文献

- 1) 河野伊一郎, 西垣誠, 松本直樹 土中の透気性に関する研究, 第 32 回土木学会年次講演会中国四国支部, 1980, PP. 190 ~ 191