

I-5 地下水流におよぼす吸着水の効果について

大阪大学工学部 正員 室田 明
同 大学院 学生員 佐藤 邦明

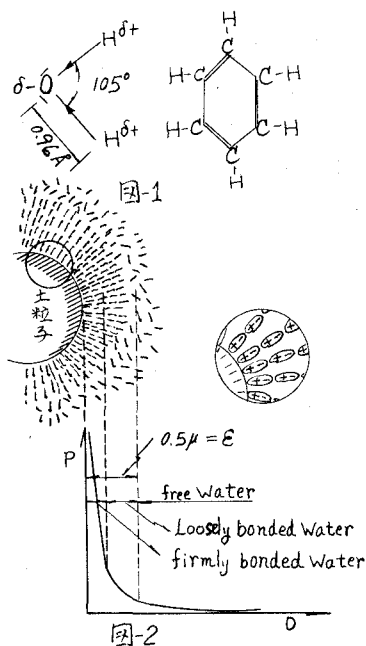
地下水流の解析において最も重要な係数である透水係数は空隙率入の関数で Kozeny, Terzaghi, 等の公式によれば入の増加につれて長は単調に増加する事になる。しかるに微粒の粘土においては空けき率が非常に大きいにもかかわらず長はこれらの公式で推算される値よりはるかに小さくなる事が知られている。著者らはこの現象を水分子の分極作用による土粒子への吸着効果によって粒子間の空けきが実質的に減るものと解釈して本研究を行ったものである。

水(H_2O)は分子論の立場からすると極性分子と言われている。水素原子(H)と酸素原子(O)が電子的共有結合をして H_2O を形成する際に図-1に示すごとく価電子の分布に方向性を有している。つまりOの核はHの核の16倍の重さを持っているから核外電子がどうしてもOの側に多く存在する結果となる。だから完全な共有結合と成らずにイオン結合的性格を帯びてくるから水分子自体に双極子能率を生じてくる。水分子の双極子能率は $1.84D$ である。

ここで D は $1 \times 10^{-18} \text{ cm es u}$ の値である。次にベンゼン(C_6H_6)は図-1の右側に示したごとく正六角形の構造を持っていて平面的に上下左右対称であるから分子の双極子能率はない。G. KARADI, IVNAGY, 等は微土粒子のミセルを図-2のごとく仮定してその固体表面が負に帯電しているものとする。水分子は連鎖状につながってその表面から $E = 0.5\mu$ までの間は吸着水の形でおおわれているものとしている。

これによると明らかに微土粒子間を流れる水はその有効空けさが減少した状態で流れていると考えられる。これは水の様な極性分子について言える事であるがベンゼンの様な無極性分子においてはまったくこの性質はないと思う。筆者はこの点を実験的に検証するため図3にかゝげた粒度曲線を持つ粘土と標準砂($d_m = 0.11 \text{ mm}$)、及びそれとある割合に配合した試料について同一条件の下で透水試験を行った。実験装置は降水式透水係数測定器でミリの直径 $D = 7 \text{ mm}$ 、長さ $L = 15 \text{ cm}$ である。実験順序としては始め各試料を水で試験した後、空気乾燥してまったく同一の量の試料をベンゼンで行ったものである。だから水で試験を行った場合とベンゼンで行った場合の入、 d_m はまったく同じと考えられる。

透水係数の実測値を表-1に示す。表中補正值とあるのは動粘性係数 ν の影響をのぞき土粒子構造だけの効果を比較するために次式によってベンゼンの透水係数 k_{bz} を水の透水係数 k_w に換算したものである。



$$k_w = \frac{\nu_B}{\nu_w} \cdot k_B \quad \text{..... (1)}$$

ν_B : ベンゼンの動粘性係数 (cm^2/sec)

ν_w : 水の動粘性係数 (cm^2/sec)

図-4は横軸に試料中に含まれている粘土容積の%を取り、縦軸に k を取って上表-1をplotしたものである。標準砂のみの場合は水とベンゼンのどちらにも k に大きな差がないのになら粘土分が増加するにつれて差は大きくなる。これは粒子径が小さくなる程吸着効果による実質空げきの減少という当初の予想を証明するものである。次に以上の試料を使って吸着水による拘束領域の大きさ(図-2の ϵ)のorderを概算する。粒子を球形と仮定すれば

$$\lambda_w = 1 - \frac{\pi}{6V} n (d + 2\epsilon)^3 \quad \text{..... (2)}$$

$$\lambda_B = 1 - \frac{\pi}{6V} n d^3$$

ただし、 d : 粘土粒子を球形と考えた時の直径(cm)

V : 試料容量(cm^3)

n : 粒子個数

したがって

$$\lambda_B - \lambda_w = \frac{O}{O_0} \left\{ \left(1 + \frac{2\epsilon}{d} \right)^3 - 1 \right\} \quad \text{..... (3)}$$

ただし $O = \frac{W}{V}$; 粘土粒子の見掛けの単位重量(g/cm^3)

O_0 : 粘土粒子の単位重量(g/cm^3)

いま、粘土の平均径 $d = 0.002^{\text{cm}}$ 前述したごとく

ϵ は 1μ の order であるので式(3)の ϵ の高次項を省略すると

$$\epsilon = \frac{(\lambda_B - \lambda_w) d O_0}{6O} \quad \text{..... (4)}$$

となる。たとえば Rose-Fair-Hatch の式により

$$k = \frac{C}{\nu} \lambda^4 d m^2$$

ただし $d m$ は粒径を代表する長さ、ここでは平均径をとる。

ベンゼンには拘束領域がないから実測値の入がそのまゝ、実質的な λ_B と考えられるので C の値は我々の実験によれば $C = 2.377$ この値を用い水の場合の λ_w を求めれば $\lambda_w = 0.45$ となる。 $O = 0.9\%$ $O_0 = 2.366$ これらの値を式(4)に代入すると $\epsilon = 1.8\mu$ となり order 的により結果をうる。したがって、このような概算によっても粘土のごとき微粒子構造においては吸着効果による実質空げきの減少をきつして無視出来ないことが理解される。

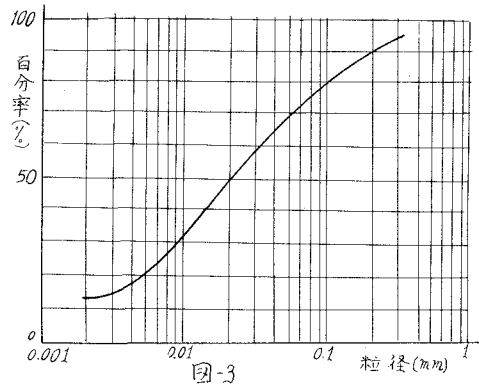


表 1

	実測値 k (cm^2/sec)		補正值
試料	ベンゼン	水	ベンゼン
標準砂	272×10^{-2}	166×10^{-2}	187×10^{-2}
粘土	189×10^{-4}	283×10^{-5}	121×10^{-4}
粘土 10%	558×10^{-4}	239×10^{-4}	357×10^{-4}
20%	839×10^{-4}	133×10^{-4}	537×10^{-4}
30%	417×10^{-4}	935×10^{-5}	267×10^{-4}
40%	210×10^{-4}	285×10^{-5}	134×10^{-4}
50%	126×10^{-4}	101×10^{-5}	125×10^{-4}

