ろ層浸透能について

大阪工業大　正員　○木原　敏
大阪工業大(短)　正員　動道千歳

はじめに：　砂によるろ過層の浸透現象は、ろ過抑止作用のモデルを考える上で必要であるが、従来のDacy式浸透係数式は砂粒度分布を考えない上に、砂粒直径に依存しており、直接的に間隙内を流れる流体のマサツから求めたものではなかった。そのため、終局的には、経験式の域を出ず、適用範囲に制約があり、合理性に欠ける点があったと思われる。著者は間隙内の流れが、Hagen-Pousille域にある範囲で、直接的に間隙内の流れに注目し、砂層内の砂粒表面積を粒度分布を考慮して計算し、これによる圧損失を求めた。

1

砂層の浸透流れを間隙が連続する複雑な閉塞として考えて、その間隙の平均的なスケールを、δ_{*0},間隙相当径と名付けることにする。このδ_{*0}は水路内を流れる有効動深（径深）とほぼ等しいもので、円管の場合では半径$r_0 \fallingdotseq 2\delta_{*0}$である。このような$\delta_{*0}$を用いると、

Hagen-Pousilleの流れでは

$$q=\frac{\pi 16}{8}\frac{\delta_{*0}^4}{\mu}\rho g\frac{\Delta h}{\Delta Z}=\frac{2\pi g}{\nu}\delta_{*0}^4\frac{\Delta h}{\Delta Z} \quad \cdots\cdots\cdots(1)$$

ここにqは単管内の流速U_0と管断面積a_fとの積であり、U_0は浸透層では間隙流速ででる。円管では

$$q=U_0 a_f=U_0\pi r_0^2=U_0 4\pi\delta_{*0}^2=\frac{U_f}{\varepsilon_0}4\pi\delta_{*0}^2 \quad \cdots\cdots\cdots(2)$$

U_f：ろ過速度（cm/s），ε_0：間隙率（cm³/cm³）

故に円管断面では

$$U=\frac{\varepsilon_0 g}{2\nu}\delta_{*0}^2\frac{\Delta h}{\Delta Z} \quad \cdots\cdots(3),\qquad \text{浸透係数 } k=\frac{\varepsilon_0 g}{2\nu}\delta_{*0}^2 \ (\text{cm/s}) \quad \cdots\cdots(4)$$

円管でなく、平行な二平板間の流れとすると、

$$k=\frac{3}{8}\frac{\varepsilon_0 g}{\nu}\delta_{*0}^2 \quad \cdots\cdots\cdots(5)$$

砂層のような複雑な管路では一般的に表わして

$$k=\alpha\frac{\varepsilon_0 g}{\nu}\delta_{*0}^2 \quad \cdots\cdots(6)$$

$\alpha=0.5\sim0.3$で砂のような場合は0.3に近い。

「Elmesleben の仮定」を用いると、間隙相当径δ_{*0}は、

$$\delta_{*0}=\varepsilon_0/A_{*0} \quad \cdots\cdots\cdots(7)$$

A_{*0}は単位容積内の充填材（ここでは砂）の表面積の総計である。(6)にこの関係を入れると、

$$k=\frac{\alpha}{\xi_s^2}\frac{\varepsilon_0^3 g}{\nu A_{*0}^2} \quad \cdots\cdots\cdots(8)$$

ξ_s：有効接触表面積率で、これは砂と砂とが重なって通水しない部分を省いた割合である。

Satoshi Kihara, Chitose Dōdō.

A_{*0}は粒度分布が細かい程、大きくなり、粗粒となると小さくなる。

若し、単一な直径D_pの場合は

$$A_{*0} = a_{p*}\cdot n \quad \cdots\cdots(9)$$

a_{p*}：1粒の表面積、n：単位容積内砂粒数。

$$a_{p*} = \psi_s' \pi D_p^2, \quad \psi_s'\pi = \psi_s \text{とすると、} \quad a_{p*} = \psi_s D_p^2 \quad \cdots\cdots(10)$$

ψ_s'：D_pの直径の球と砂との表面積の比。（表面積補正係数）

$$n = (1-\varepsilon_0)/\psi_g' \frac{\pi}{6} D_p^3, \quad \psi_g'\frac{\pi}{6} = \psi_g \text{とすると} \quad n = (1-\varepsilon_0)/\psi_g D_p^3 \quad \cdots\cdots(11)$$

ψ_g'：体積補正係数。

この場合、砂は篩分けられるので網目に対して外接径に近くなる。

(9)は

$$A_{*0} = a_{p*}\cdot n = (\psi_s/\psi_g)\{(1-\varepsilon_0)/D_p\} \quad \cdots\cdots(12)$$

$$\delta_{*0m} = \varepsilon_0/A_{*0} = (\psi_g/\psi_s)\{\varepsilon_0/(1-\varepsilon_0)\xi_s\}D_p \quad \cdots\cdots(13)$$

浸透係数kは

$$k = \frac{g\varepsilon_0^3}{\nu}\frac{\alpha}{\xi_s^2}\left(\frac{\psi_g}{\psi_s}\right)^2\frac{D_p^2}{(1-\varepsilon_0)^2} \quad \cdots\cdots(14)$$

2 粒度分布をもつ、粒子群の表面積計

粒度分布をもつ、粒子群の単位容積内の表面積の総計は、同様の考え方で

$$A_{*0} = \sum a_{p*}\cdot n_i$$

粒子数n_i（D_{pi}の砂の）＝（D_{pi}の砂の体積V_i）／（D_{pi}の砂粒1コ体積v_{pi}）

$$V_i = (1-\varepsilon_0)\xi(D_{pi})\,d(X_i), \quad v_{pi} = \psi_g D_{pi}^3$$

$$n_i = V_i/v_{pi} = (1-\varepsilon_0)\xi(D_{pi})\,d(X_i)/\psi_g D_{pi}^3 \quad \cdots\cdots(15)$$

$a_{pi*} = \psi_s D_{pi}^2$であるので、

$$A_{*0} = \int_{-\infty}^{+\infty}\left\{(1-\varepsilon_0)\left(\frac{\psi_s}{\psi_g}\right)\xi(D_{pi})/D_{pi}\right\}d(X_i) \quad \cdots\cdots(16)$$

3. δ_{*0}数値計算

(16)の結果を、$\alpha=0.5$,（円管の場合の係数）、$\frac{1}{\xi_s}\frac{\psi_g}{\psi_s}=1$として数値計算すると、図のようになる。$\xi_s$の値は、$\varepsilon_0$, D_{pm}の値で変化するが、現在のところ、砂のような複雑な角張りをもつものでは、理論的には、求めていない。

4. 結果に対する考察

(1) 浸透現象を間隙の大きさを与えて求めた。在来式より、理論的に厳密である。

(2) 極毛細流れでは、（たとえば、粘土）電界による影響が出ると云われているが、ろ過砂のような粗粒砂では問題はない。

(3) ξ_sの構造は、複雑で単純でない。

(4) フロック等の抑止物質を含めた式を考える。

(5) δ_{*0}は平均的表現である。分布が重要である。