

II-34 地下水流の浸透機構について（第一報）

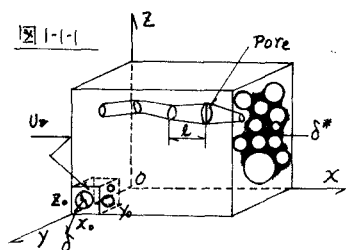
大阪大学工学部 正員 室田 明

大阪府立高専 正員の佐藤 邦明

研究目的：浸透流の取扱ひにおいて慣行の Darcy 則がかかり大雑把な平均操作に立脚しており、そのため浸透係数というあいまいな概念を残しているが、こうした点をさらに正確に解明するためには、浸透現象を micro 的に把握し、現象を的確に表現する様な model を設定し、それを解明することが、大切であろう。従来の Darcy 則に示されている浸透係数、あるいは地下水流の抵抗則については、今日までに非常に多くの研究が各方面でなされて来た。しかし、流動抵抗に関して支配的な空げき状態については、必ずしも満足すべき結論は見出されていない様に思う。筆者らは、これまでにこれらの問題点に関し 2-3 の研究成果を発表したが、本報告では透水体の model 化を試みるため、透水体の規模、および種々の透水体構成粒子の作る空げきの有義寸法について述べたい。

1-1 : 透水体 model

浸透流の数学的 model は研究者により異なるが、A.E. Scheidegger は取扱ひ上、次の 3 型式に分類している。まず 第一に、透水体を Capillary の束であると考え、それらの Capillary を流れる粘性流を解析する。これを Capillary model theory とよび、透水係数 $k = C \lambda \int_0^\infty \delta^{*2} p(\delta^*) d\delta^*$ で表わされる。ここで、 λ は空げき率を、また δ^* は pore diameter, $p(\delta^*)$ は δ^* の pore size distribution を表わす。C は model の特性を示す定数である。第二は、 $k = C_0 \frac{m^2}{F(\eta)}$ と表わし、Hydraulic radius theory とよぶ。



m は hydraulic radius, また $F(\eta)$ は空げき特性を表わす factor であり、 C_0 は定数である。第三に、Statistical theory とよばれるものとして、図 1-1-1 に示す透水体内の pore の向き、大きさが全く random 量であるため、pore 中を流動する任意の流体粒子は Brownian motion に似た動きをすると仮定し、 $k = \lambda \bar{b} \langle \cos^2 \theta \rangle_{AV}$ で示される。 $\bar{b}$ は抵抗を表わす factor で、また $\langle \cos^2 \theta \rangle_{AV}$ は透水体 model の設定の仕方でも異なるものである。

以上の結果はいずれも透水体の有する空げきの寸法に関して直接統計的意味を与えるものではない。透水体の規模は構成粒子の寸法と空げきの有義寸法によって規定される。透水体構成粒子の径が δ 、粒径に関する粒度密度関数 $f(\delta)$ である様な粒度構成よりなり、透水体の規模は図 1-1-1 に示した x, y, z で決まるものとする。すると任意の透水体は次式で示されるいずれかの場合に属する。

$$C \int_{\delta_{min}}^{\delta_{max}} \delta^3 f(\delta) d\delta = U_v \cdot n \quad (1-1) \quad \text{ただし, } \begin{aligned} \delta_{max} &: \text{透水体構成最大粒子径} & C &= C_0 / (1 - \lambda) \\ \delta_{min} &: \text{透水体構成最小粒子径} & C_0 &: \text{定数} \end{aligned}$$

U_v は単位透水体 (x, y, z で示す) また、 $x, y, z = n \cdot x_0, y_0, z_0$ なる n が存在する。

(1-1) 式中の n の値によって、i) $n \geq 1$, ii) $n < 1$ なる 2 つの透水体規模を想定することが出来る。

それぞれの場合における状態は同一粒度分布においては、空げき率と (1-1) 式の積分の上限に当る粒径のとり方によって決まるから、i) $n \geq 1$ の場合：透水体の規模は十分大きく統計的に homogeneous であるから空げき率 λ は平均空げき率 λ_m に等しい。また、特に $n=1$ の時は粒度関数 $f(\delta)$ が透水体の volume

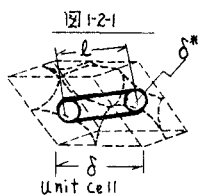
x, y, z の中で不変に保たれる限界の透水規模を示す。ii) $N < 1$ の場合: 透水は構成粒子の上限粒径が δ_i に制限を受けた事を意味する。

$$\lambda = 1 - \frac{C_1}{xy z} \int_{\delta_{min}}^{\delta_i} \delta^3 f(\delta) d\delta \quad (1-12) \quad \text{ただし } \delta_{min} < \delta_i < \delta_{max}$$

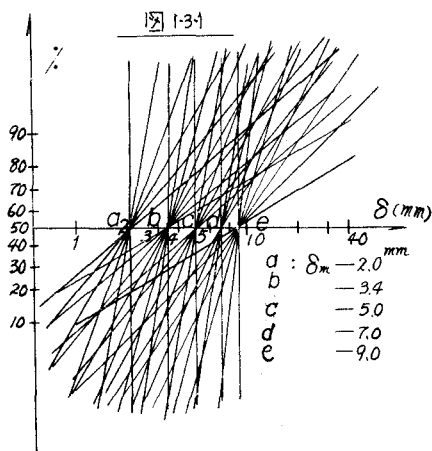
で示される。また、x, y, z と δ の関係は $x_{min} = y_{min} = z_{min} = \varepsilon \delta_{min}$ より決めうる。ただし: ε : 定数

1-2: 均一球粒子で構成された透水体

単位透水体は図1-21に示す様に定義される。Uv, λ はそれぞれ、 $U_v = \delta^3(1-\cos\theta)\sqrt{1+2\cos\theta}$, また、



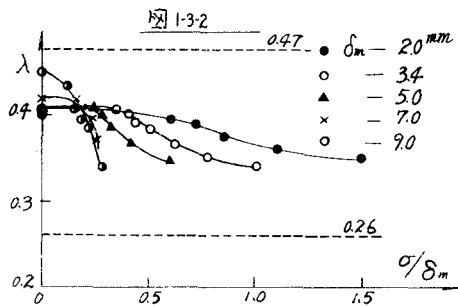
$\lambda = 1 - \pi/6(1-\cos\theta)\sqrt{1+2\cos\theta}$ で示される。簡単のため $\theta = \delta$ とすると、平均化された δ^* が face angle θ によっていろいろ与えられる。たとえば、 $\lambda_{mean} = 0.36$ とすると、 $\delta_{mean}^*/\delta = 0.6$ であることが分る。しかし、透水体は θ がある定った値を持った Unit cell が単に N 倍された集合体であると考えより、むしろ θ がいろいろ異つた異形 Unit cell が集合して作られると考える方がより実際に近い model を与える。



Milligan & Adamsによると、 δ^* の Pore size distribution は $p(\delta^*) = \alpha \cdot K \cdot \text{sech}^2[K(\delta^* - \delta_m^*)]$ で示される。ここで、 K は sharpness を決める定数、また α は試料の規模で決る。この $p(\delta^*)$ は最頻度の pore size δ_m^* を中心にほぼ Gauss 分布に近いものであるから、均一球粒子からなる透水体においては sharpness K の大きいものを採用すればよい。

1-3: 特定の分布関数を持つ粒子からなる透水体

たとえば、対数正規分布を仮定し、実験的に空げき率とその分布の一つの特性値である標準偏差 σ の関係を求める。使用した球粒子は直径 $\delta = 1.0, 2.0, 3.4, 4.3, 4.98, 6.27, 7.0, 7.84, 9.0, 10.05, 12.10, 20.0, 30.0$ mm の合計13種類のガラス球である。これらを図1-31に示した総数31種類の対



数正規分布に配合し、容量1000^{cm}3のメシリンダーに、初めゆるくつめ込み、空げきを満たすに要した水量を計ることにより空げき率を測定し、次に1000^{cm}3/minでろ分間試料の入ったメシリンダーを高さ10^{cm}の所から落下させ、しめ固め、その状態での空げき率を求めた。

図1-22は横軸に平均径 δ_m と σ の無次元表示、縦軸に、 $\lambda_{min} + \lambda_{max}/2 = \lambda$ をとり試料の group a, b, c, d, e をそれぞれ

について plot したものである。これによると、標準偏差が大きいほど空げき率は小さく、逆に標準偏差が小さいと空げき率は増加し不安定な空げき状態を作りやすいことが分る。

参考文献: Statistical hydrodynamics in porous media. : by A.E. Scheidegger. J. applied. phy. 34, p994.

Analytical expression for cumulative pore volume and pore size distribution.: by Milligan & Adams. J. phys. chem. 54.

Theoretical investigation of the motion of ground water.: by. S.lichter. P. 312.

The physics of flow through a porous media. : by. A.E. Scheidegger. : P 113~157.