

(6-16) 砂層の膨脹に関する一研究

正員 山梨大学工学部

巽

巽

急速濾過の高速洗滌法の効果に関しては、砂層の膨脹率が最も重要な要因であり、洗滌作業の一指標とされているにもかかわらず、実際には Hazen 式、Detroit 式などの慣行的な膨脹率が考えられているに過ぎず、洗滌能率上遺憾な点のこされている。近來米国では Fair-Hatch 式などの展開が行われ、京都大学岩井教授によつて批判されているが、本研究は同様な理念のもとに新しく解析、実験を試み、さらに合理的な砂層膨脹理論を樹立しようとするものである。

解析に当り、砂粒は均等径をもつ球と仮定し、膨脹時の砂層の密度分布を予備実験の結果から鉛直方向に均等とみなした。図-1 において、 H : 砂層の初高、 h : 膨脹高、 a : ガラス円筒の断面積、 ρ_0 , ρ : 膨脹前後の砂層密度 (砂層の単位体積中に占める砂粒の体積で表わす) とする。膨脹前後の砂粒の全体積は不変なることから

$$\rho = \rho_0 H / (h + H) \quad \text{..... (1)}$$

膨脹砂面は水平と仮定してその位置を A、越流水面的位置を B、 v : A における平均上昇速度、 v_0 : B における平均流速 (越流水の流量を a で割つたもの) とする。 v は A における有効通水断面積 (A 面の総面積とその面内にある砂粒のその面上への射影面積との差) について考え、A 面の単位面積内で砂粒は一辺 N 個の正方形をなして並ぶと仮定し、全砂粒の射影面積比を“面積充てん率 (f)”と呼べば

$$f = N^2 \pi r^2 \quad \text{..... (2)}$$

また、A 面を含む表層部の単位体積内で、砂粒は一辺 N 個の立方体をなして並ぶと考えて全砂粒の体積比を“体積充てん率 (μ)”と呼べば

$$\mu = \rho = N^3 \cdot 4/3 \cdot \pi r^3 \quad \text{..... (3)}$$

(2), (3) 式より

$$f = 1.209 \mu^{2/3} \quad \text{..... (4)}$$

$$1 - f = 1 - 1.209 \mu^{2/3} \quad \text{..... (5)}$$

(5) 式は“面積空隙率”と称しうるものである。連続の法則と (5) 式とから

$$v = v_0 / (1 - 1.209 \mu^{2/3}) \quad \text{..... (6)}$$

砂層の膨脹式を誘導するために、 r_w : 水の密度、 r_s : 砂粒の密度、 C_f : 抵抗係数、 v_s : 砂粒の限界沈降速度とすれば、A 面における、上昇水流中の自由沈降砂粒に作用する重力と、水流による抵抗力との平衡条件より

$$\left. \begin{aligned} v_s &= C_f^{1/2} \\ \text{式中 } C &= [8g(r_s - r_w) / 3 C_f r_w]^{1/2} \end{aligned} \right\} \quad \text{..... (7)}$$

また、 v と v_s とは相等しかるべきであるから (6), (7) 式を等置して、

$$v_0 / (1 - 1.209 \mu^{2/3}) = C_f^{1/2} \quad \text{..... (8)}$$

(6) 式より

$$\mu = \left[\frac{1 - \frac{v_0}{v}}{1.209} \right]^{3/2} = \left[\frac{1 - \frac{v_0}{v_s}}{1.209} \right]^{3/2} \quad \text{..... (9)}$$

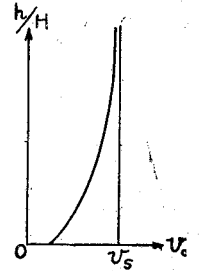
この式は Fair-Hatch 式、 $\mu = 1 + (v_0/v_s)^{0.222}$ と同様な表現法ではあるが、理論的にはより健全であると考えられる。(1) 式より、 $\rho_0/\rho = h/H + 1$ となり、 ρ_0 , ρ を体積充てん率に置き換えると (3) 式より $\rho = \mu$ となる。 μ_0 : ρ_0 に対する体積充てん率 ($\rho_0/1$) とすれば、上式より

$$h/H + 1 = \mu_0/\mu \quad \text{..... (10)}$$

(9) 式を (10) 式に代入して、

$$\left. \begin{aligned} \frac{h}{H} &= \frac{1.209^{3/2} \mu_0}{\left[1 - \frac{v_0}{v_s} \right]^{3/2}} - 1 = \frac{1.329 \mu_0}{\left[1 - \frac{v_0}{v_s} \right]^{3/2}} - 1 \\ \text{式中 } v_s &= C_f^{1/2} \end{aligned} \right\} \quad \text{..... (11)}$$

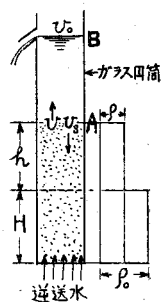
図-1 砂層密度図



この式が洗滌速度と膨脹率との関係を表わす基本膨脹式である。この式の曲線の形は図—2のごとく $v_0 = v_s$ なる漸近線を持ち、 v_0 軸上に切片をもつことを知る。数種類の細粗粒混交の濾過砂で行った実験の結果は、すべてこの曲線と本質上の一致を示している。膨脹率が粒径、水温に反比例し、砂層密度に比例し、砂層密度一定ならば層厚に無関係であることが理論的に、また一部実験的にも解明されたが、さらに引続いて目下実験が進められている。

本研究は昭和 28 年度厚生科学研究補助金をもつて行われたものであり、終始多大の御指導を賜わった京都大学教授石原藤次郎博士、同岩井重久博士並びに膨脹式誘導のアイディアを示された山梨大学前沢誠一郎助教授に深甚の謝意を表する。

図—2 膨脹曲線



(6—17) 急速砂濾過の砂層閉塞について

正員 東京大学工学部 ○徳 平 淳
准員 同 徳 善 義 和

濾過池の機能を表わすものとして水質的にみた濾過能率と、砂層閉塞にともなう水理的な砂層抵抗による損失水頭とがある。一般に濾過池の閉塞抵抗は砂層表面部のいわゆる“濾過膜”部の抵抗と砂層内への汚泥 (floc を含む) 侵入による抵抗とが考えられる。急速砂濾過の場合は、floc の表層部抑留と砂層内への floc 侵入が一体となり、かなり厚い抵抗部が生ずるようである。砂層の収縮、気泡の発生などもまた、抵抗要素として考えられるが、今回はこれらの点を除外して考察を行った。

実験方法として上述の点をできるだけ満足するような装置を作成して、砂層各部の損失水頭を一定時間ごとに測定した。その結果、二、三の砂層閉塞にともなう定性的な面を知り得たのでそれを報告する予定である。

なお、本実験研究は昭和 28 年度文部省科学研究費によるものの一部である。

(6—18) 混和凝集効果の水理学的研究

正員 京都大学工学部 工博 岩 井 重 久
正員 同 ○合 田 健

急速濾過の前処理としての薬品混和は、それに続く沈殿が純物理的な問題として扱いやすいのに対し、化学的な諸条件によつて影響されるところが多いだけに、その機構をくわしく説明することはなかなか困難である。しかしながら原水に薬剤が注入され、適当な攪拌装置によつてそれが短時間で均等に原水と混合し、反応が起つたものとすれば、生じた多数の微細 floc が漸次大粒に成長してゆく過程は、衝突合一作用の連続であると考えて物理的な取扱いが許されるわけである。またその際の粒子の運動については、粒子が極微であれば Smoluchowski の研究に見られるように、ブラウン運動、すなわち粒子自身の運動による衝突合一の機会数を計算せねばならぬが、そういう段階はごく短時間であるから、攪拌後に渠内で行われる floc formation では粒子自身の運動でなく、媒質の流動による強制的な粒子の運動、およびこれにともなつて起る衝突、すなわち凝集の進行速度を知ればよいわけである。

そこでわれわれはまず混和池を普通の開渠と考えて、開水路流にともなう乱流拡散が floc formation の最も主要な原動力であるという観点から、次のような個数変化の基礎式を導いた。この点最近米国で主唱されている速度勾配値説とは全く趣きを異にする。

$$\frac{\partial n}{\partial t} + u \frac{\partial n}{\partial x} = D \text{grad}^2 n + k D \text{grad} n$$

n は単位体積中の粒子個数であり、 D は Diffusion coef., k は一般には n および uL/D の函数である。この関係式により、混和渠の滞流時間中に凝集により n が通減する状態を理論的に追求してみた。計算上簡単のため k を一定、かつ流れの方向 (x) および巾の方向 (y) の 2 次元とし、適当と思われる境界条件を用いて解を求め、