

第4会場講演 80~102.

5月27日(日)大阪大學醫學部4階第3講義室

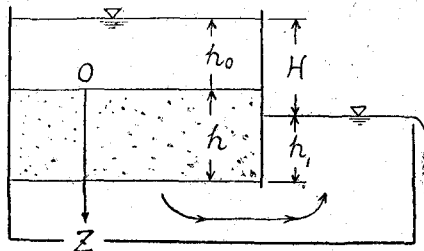
80. 砂濾過の流體力學的研究 (20分)

准員 京都大學工學部 合 田 健

砂層を滲透する水の理論は Darcy, Kozeny, Forchheimer 等により古くから論ぜられ、主として地下水面の變動や堤體への滲透などに應用せられ發展してきたが、ここには浸透水流の方向を鉛直方向に限定して、上水道における砂濾過理論に應用しようとするものである。

砂濾過には學問的、技術的に幾多の問題があるが、とりわけ土木技術者に課せられた問題としては、(1) 濾過損失水頭の問題、(2) 砂層内負壓の問題、(3) 洗滌と砂層膨脹の問題、(4) 濾過速度選擇の問題等、いずれも理論的にはほとんど未解決で殘されている。砂濾過には水理現象の外に生物學的、界面化學的現象が大きな役割を果すから、問題の取扱いが確かに複雑ではあるが、流體力學的な取扱いのみでも上の様な問題がある程度までは説明でき、現象の解明にかなり役立ち得るはずであるから、次のように理論を進めて見る。

すなわち圖に示すごとく、厚さ h の砂層に對して、ある濾過水頭を與えた場合、浸透水の流線は必ずしも直線的ではないが、簡單のため鉛直方向のみの流れを考え、座標軸を下向きにとつて1本の流管に對し浸透流の運動方程式及び連續方程式を書く



$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial w(z, t)}{\partial t} &= g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P(z, t)}{\partial z} - \frac{g}{k} w(z, t) \\ \frac{\partial A(z, t)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial z} (Aw) &= 0 \end{aligned} \right\}$$

ここに w は浸透流速 (cm/sec), p は壓力 (g/cm²), A は流管斷面積 (cm²), g は重力加速度 (cm/sec²).

この基礎方程式を解くために、砂面及び砂底の壓力を任意に與え、 $A(z, t)$ は既知とする。砂の粒径、配合、Porosity の外に未濾水中の浮游物量及び濾過速度の變化等により濾層の詰まり方は變つてくるが、これに關しては緩、急速濾過それぞれに對し近藤博士等による砂層内抑留物分布の實測例が豊富であり、又岩崎博士の濾過阻止理論などを參考にすることが出来る。上の基礎方程式を解くと砂層内流速及び壓力と A との關係が求められる。 w は一般に定積分の形で示されるが簡單のため $\partial A / \partial z = 0$ として濾過水頭が増大する場合を計算して見ると、 w 及び p は近似的に次のようになる。

$$w = \alpha z + \frac{kH}{h} - \frac{\alpha h}{2}$$

$$\frac{p}{\rho g} = \frac{\alpha z}{2k} (h - z) + \frac{z}{h} [h_1 e^{-\beta t} - h_0] + h_0$$

但し $k = \text{const.}$ で α 及び β は充分小さい常數である。すなわち流速はわずかに直線的變化をするが、ほぼ Darcy の法則に一致し、壓力分布は2次曲線で示される。砂面に濾過膜ができて、ここに大きな水頭損失がある場合一般に

$$\int_0^z \frac{1}{A^2} \frac{\partial A(\xi, t)}{\partial t} \int_0^\xi \frac{\partial A(\eta, t)}{\partial t} d\eta d\xi, \quad \int_0^z \frac{1}{A(\xi, t)} \int_0^\xi \frac{\partial^2 A(\eta, t)}{\partial t^2} d\eta d\xi, \\ \int_0^z \frac{1}{A(\xi, t)} \int_0^\xi \frac{\partial A(\eta, t)}{\partial t} d\eta d\xi \quad \text{及び} \quad \int_0^z \frac{d\xi}{A(\xi, t)}$$

などを計算すれば壓力變化がわかり、負壓の範圍等を知ることにも可能である。以上飽くまでも流體力學的な理論であるが、從來の Hazen, Douglas Feber 等による砂濾過公式と異なるのは滲透流速、壓力、Porosity 等の要素に理論的なつながりを持たせようとした點で、内徑 5 cm, 長さ 1 m のガラス圓筒を用いて、本理論を裏付けるよう滲透係數、滲透速度、空隙率及び損失水頭變化等の實驗を行つてゐる。