

III-16

被圧地下水における水頭と浸透流量の時間的变化

京都大学工学部 正員 宇野 尚雄
同 大学院 学生員 西村 伊久夫

(まえがき)

地下水が被圧されているか、または自由水面を有しているかにより、滞水層が外水位変動の影響を受ける様相は著しく異なる。すなわち滞水層の水頭変化は前者では外水位変化に鋭敏に反応するが、後者では自由水面の変化を待って始めて水頭の変化が可能となるので、ゆるくしている。それゆえ地下水が被圧されているとき、部分的に自由水面が生じているときの滞水層の水頭変化と流量変化について、実験と解析結果を比較しながら報告する。

被圧地下水と不圧地下水の挙動の特徴を把握するため、室内鋼製水路内に厚さ15cmの砂からなる滞水層とその上に粘土層数cmを造り、その上に荷重をのせて被圧状態を設けた。(Fig. 1参照) 水路は長さ315cm、巾23cmであり、使用した砂は有効径0.8mm均等係数2である。実験は外水位を滞水層上にくるようにして、水圧面が滞水層に及ぶ範囲で変動させて生ずる被圧地下水の実験と水圧面が低下して滞水層に自由水面をもつようになる被圧と不圧の過渡領域の実験である。

(被圧地下水、不圧地下水の横井の解析)

流れが一方向にのみ流れる横井に於ける被圧水の基礎式は

$$\frac{\partial h}{\partial t} = (k/\sigma) \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \quad (1)$$

$h(x, t)$ における水頭 k : 透水係数 σ : 圧縮率

初期および境界条件; $h(x, 0) = 0$, $h(0, t) = H$, $h(l, t) = 0$

による式(1)の解は $\frac{h(x, t)}{H} = \sum_{n=1}^{\infty} \left[\operatorname{erfc}\left(\frac{2n\pi + \gamma l}{2\sqrt{T}}\right) - \operatorname{erfc}\left(\frac{2(n+1) - \gamma l}{2\sqrt{T}}\right) \right]$, $T = \frac{kT}{\sigma l^2}$ (2)

これはTの小さい値に対する評価で、Tの大きい値に対する評価は

$$\frac{h(x, t)}{H} = \left[1 - \frac{x}{l}\right] - \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{1}{n} e^{-n^2 \pi^2 T} \sin\left(\frac{n\pi x}{l}\right) \right] \quad (3)$$

式(2)と式(3)の差は小さいが、これらを x で偏微分して得られる流量変化は、Tが大きい場合が適切で次式で表わされる。

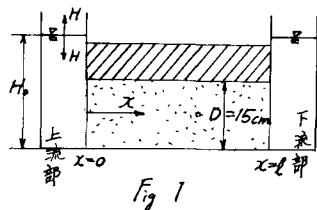
$$\frac{q(x, t)}{kqH} = 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} e^{-n^2 \pi^2 T} \cos\left(\frac{n\pi x}{l}\right) \quad (4)$$

(a: 水路層の断面積) 自由水面が滞水層中に生じてくると、 h が滞水層厚さに較べて小さい場合、式(1)の k/σ の代りに k/ρ を式(1)に使えばよい。被圧面下まで水位低下した境界から x_f の距離だけ自由水面が生じたときとすると、その過渡領域での水面形は次式で与えられる。

$$\frac{h(x, t)}{H} = \frac{D-H_0}{H} + \frac{H+H_0-D}{H} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\operatorname{erfc}\left(\frac{2n\pi + \gamma x_f}{2\sqrt{T_1}}\right) - \operatorname{erfc}\left(\frac{2(n+1) - \gamma x_f}{2\sqrt{T_1}}\right) \right], \quad T_1 = \frac{kDl}{\rho x_f^2} \quad (5)$$

(実験結果と考察)

Fig. 2は完全に被圧の場合の水頭変化である。実験は式(2)の理論曲線で $\rho = 130\%$ としたものである。理論値と実験値との間にかたりの食い違いがみられ、Hが小さい程水頭変化



が早い、これは初期における流速 h の大小により影響され、 h/H で整理すると h が小さい程、初期の h/H の値が大きくなると考えられる。また h が大きいとは、水頭変化が早いことは、被圧度合が大きいため、外水位の変化が少し消散なく早く伝播するからであろう。つまり地下水が部分的に被圧され、部分的に不圧の場合の実験結果が、Fig. 4に示されている。Fig. 3ではFig. 2の完全に被圧された地下水の場合より理論曲線、式(2)によく合っている。これは偶然で、 $H_0=10\text{cm}$ と被圧面 $D=15\text{cm}$ の間の毛管帯により引き揚げられた水と空気の不飽和帯が、被圧のときのような急激な水頭上昇を緩和させる働きをしていると考えられる。また $H_0=5\text{cm}$ の場合にはかなり大きなずれがみられ、水頭変化はゆるやかで空気を押し出していく自由水面をも、浸透流の特性を示している。Fig. 4では $H_0=20\text{cm}$ の初期水位から $H=-15\text{cm}$ と変化を与えたときの水頭変化が興味深い。 $h/H=1.333$ になってからは自由水面をもつ流れとなるので、変化が変、てくるのは可であるが、実際はそれより若干下。た所から曲線は折れて緩い変化となっている。式(5)をこの部分について計算したのが実線である。つまり流量変化がFig. 5に示されている。水頭変化の記録から定数 $k_p=1.30 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$ で、このときの理論曲線が実線で示されている。過渡領域へ入ると、そのずれは大きくなり、水頭変化が被圧の場合にくらべて遅いことを裏付けている。観測流量と理論値とはかなりずれが認められるが、それ、滞水層終端から流量計までの測定系の遅れによるもので、この間の修正を行うと良好な結果を得るようである。

[結論] 一次元流としての被圧地下水の水頭変化と流量変化は、それぞれ式(2) or (3)と式(4)で表わされる。しかし被圧の場合はダルジニ則の適用限界が、不圧の場合には毛管帯の無視や水頭変化の微小仮定が問題となって、十分に実験値に一致したとはいえない。

終りに御敬導下さっている赤井教授に謹んで謝意を表します。

