

三層系滞水層内水圧変動の非定常解析

京都大学大学院 学生員 西垣 誠  
前田 建設 正員 秋松 秀治

1. 序

従来より揚水試験の解析として滞水層が一層のみ存在する場合についての解析が行われて来た。しかし現地のボーリング調査による土質柱状図を調べるに、滞水層が一層のみであると推定することが困難な状況に遭遇する。したが、多層系滞水層内で現場揚水試験を行つた際にその結果より各層の滞水層定数を推定する解析が必要である。本研究は、上記の観点より図-1に示す被圧滞水層と不圧滞水層が存在し、その境界に半不透水性の滞水層が存在するモデルについての解析を行い各層の滞水層定数の推定法と示す。

2. 非定常解析

解析の手順としては、被圧滞水層に完全貫入した揚水井を用いて一定流量(Q)の揚水を行うと、被圧滞水層の水頭が低下し、その変動により漏水を許す半不透水性の滞水層より漏水が生じて半不透水性滞水層の水頭が低下すると考える。本来半不透水性滞水層の水頭が低下することにより不圧滞水層の水位が低下するが、問題を簡略化するため不圧滞水層の水位低下は非常に小さいものと考え無視する。本解析に用いた仮定は去年度の発表に用いたものと同じである。

Darcyの法則、連続の式より支配方程式および初期条件、境界条件はつぎのようになる。

被圧滞水層において

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 S_1}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial S_1}{\partial r} + \frac{K_2}{T_1} \frac{\partial S_2}{\partial z} \Big|_{z=0} &= \frac{1}{\alpha_1} \frac{\partial S_1}{\partial t} \\ S_1(r, 0) &= 0 \\ S_1(\infty, t) &= 0 \\ \lim_{r \rightarrow 0} r \frac{\partial S_1}{\partial r} &= -\frac{Q}{2\pi T_1} \end{aligned} \right\} (1)$$

半不透水性滞水層において

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 S_2}{\partial z^2} &= \frac{1}{\alpha_2} \frac{\partial S_2}{\partial t} \\ S_2(r, z, 0) &= 0 \\ S_2(r, 0, t) &= S_1(r, t) \\ S_2(r, H_2, t) &= S_3(r, t) \equiv 0 \end{aligned} \right\} (2)$$

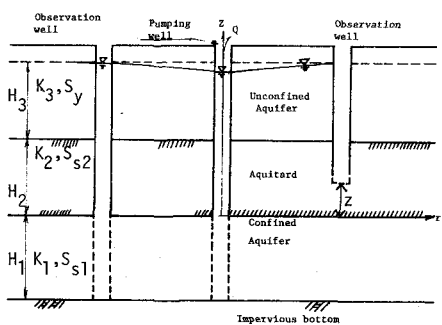


Fig. 1

ここで  $S_1, S_2, S_3$  は各層の水頭低下量を示し、 $\alpha_i = \frac{T_i}{S_i}$  ( $T_i = H_i K_i, S_i = S_{0i} H_i$ ) である。

(1), (2) 式を Laplace 変換および Hankel 変換を用いて解析を行なひ、それぞれ逆変換を行つと、

$$S_1(r, t) = \frac{Q}{4\pi T_1} \int_{\frac{1}{4}t_0}^{\infty} \frac{e^{-y}}{y} \operatorname{erfc} \left[ \frac{\beta \sqrt{1/4t_0}}{\sqrt{y(y-1/4t_0)}} \right] dy \quad \text{--- (3)}$$

$$S_2(r, z, t) = \frac{Q}{4\pi T_1} \int_{\frac{1}{4}t_0}^{\infty} \frac{e^{-y}}{y} \left\{ \operatorname{erfc} \left[ \frac{\beta \sqrt{1/4t_0} + y(z/H_2)/\sqrt{4E_0}}{\sqrt{y(y-1/4t_0)}} \right] - \operatorname{erfc} \left[ \frac{\beta \sqrt{1/4t_0} + y(2-z/H_2)/\sqrt{4E_0}}{\sqrt{y(y-1/4t_0)}} \right] \right\} dy \quad \text{--- (4)}$$

ここで、 $t_0 = \alpha_1 t / r^2$ ,  $\bar{t}_0 = t_0 \cdot (\frac{1}{4\beta})^2 \cdot (\frac{r}{B})^4$ ,  $\beta = \frac{r}{4H_1} \sqrt{\frac{k_2 S_{s2}}{k_1 S_{s1}}}$ ,  $\frac{r}{B} = r \sqrt{\frac{k_2}{k_1 H_1 H_2}}$ , である。

現場土質調査および揚水試験より既知となる値は、各滞水層厚( $H_1, H_2$ ), 半不透水層への観測井の貫入度( $B$ ), 観測井の揚水井よりの距離( $r_0$ ), 揚水流量( $Q$ ), である。また推定すべき値は透水係数( $k_1, k_2$ ), 貯留係数( $S = S_{s1} H_1$ )である。したが、(3), (4)式に既知の値を代入して、適当な $\beta, B$ を代入して $S_1^* = \frac{4\pi T_1}{Q} S_1$ と $t_0^* = \frac{k_1 t}{S_1}$ について数値計算とを行なう。現場揚水試験結果より水頭( $S_1$ )と揚水時間( $t$ )のグラフが求まる。数値計算結果のグラフの中で、現場揚水試験結果のグラフに最もよく合うグラフを選ぶことにより、 $\beta, B$ の値が求まる。また、これら2枚のグラフを重ね合わせることにより、Match pointを求めると、 $S_1^*, t_0^*, S_1, t$ の値が求まる。これらの値と $\beta, B$ を用いて、各層の滞水層定数は、つぎのように求まる。

$$\left. \begin{aligned} k_1 &= \frac{Q}{4\pi H_1 S_1} S_1^* \\ S_{s1} &= \frac{k_1 t}{t_0^*} \\ k_2 &= \frac{k_1 H_1 H_2}{B^2} \\ S_{s2} &= \frac{16 \beta^2 H_1^2 k_1 S_{s1}}{k_2^2 r_0^2} \end{aligned} \right\} (5)$$

ここに現場揚水試験結果より滞水層定数を推定した結果を図-2に示す。図-2のMatch pointより $k_1 = \frac{Q S_1^*}{4\pi H_1 S_1} = 8.87 \times 10^{-2} \text{ (cm/sec)}$ ,

$S_{s1} = \frac{k_1 t}{t_0^*} = 2.06 \times 10^{-6} \text{ (cm}^{-1}\text{)}$ と求まる。また

みに従来のTheisの標準曲線法より求めた値は、 $k_1 = 1.39 \times 10^{-2} \text{ (cm/sec)}$ ,  $S_{s1} = 5.22 \times 10^{-5} \text{ (cm}^{-1}\text{)}$ である。

### 3. 考察

三層系地盤に設置した揚水井、観測井を用いて現場揚水試験とを行なう。た結果より各層の滞水層定数を推定する法を示した。二層地盤についての揚水試験の解析としては半不透水層からの漏水を考慮したHanTush<sup>3)</sup>の研究がある。彼の解析では半不透水性滞水層の透水係数を漏水係数( $B = \sqrt{\frac{k_1 H_1 H_2}{k_2}}$ )として取り扱い貯留係数については考慮されていない。地盤掘削の際に湧出する流量や付近地下水位の低下量などと非定常解析より求める場合には透水係数と貯留係数が必要である。したが、本解析を用いるとこれらの値が求められる。なお(5)式において半不透水層の透水係数 $k_2 = 0$ とすると $\beta = 0$ となり $S_1$ はTheisの解となる。

謝辞 本研究について御指導くださった京都大学教授赤井浩一先生に深く感謝します。

### 参考文献

- 1) 赤井, 西垣: 不完全貫入揚水試験の非定常解析, 土木学会関西支部年次学術講演会講演概要, 1975, III-30
- 2) 昭和47年度国道2号線と国道工事土質調査報告書, 1975,
- 3) M. S. HanTush and C. E. Jacob: Non-steady Flow in an Infinite Leaky Aquifer, Amer. Geophys. Union Trans., Vol. 36, No. 1, 1955, pp 95-100.

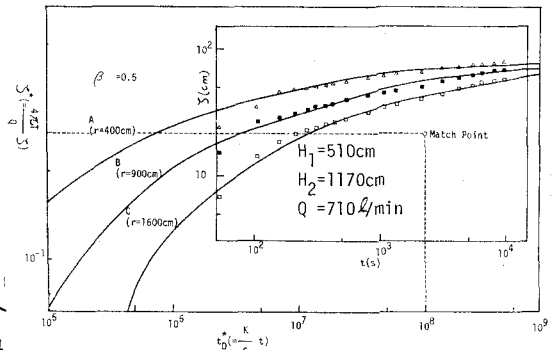


Fig. 2