

二次元円筒モデル地盤における揚水試験結果の解析

京都大学工学部 正 員 赤井浩一
 京都大学大学院 学生員 ○西垣 誠
 フジタ工業 正 員 村上 毅

1. 序

現場揚水試験結果の解析として Theis, 野満の解法およびその近似解である Jacob の解法がよく用いられている。しかし、彼らの解法は理想的な状態に対しての解析であり、多くの仮定のもとに立脚していることに留意する必要がある。複雑な境界条件下での揚水試験結果も彼らの解法で整理すると、滞水層定数を算定することが不可能な場合がある。したがって複雑な境界条件を満足する解析が必要となる。著者らは、これらの観点より一連の揚水試験結果の解法を示してきた。本研究では、揚水試験による影響半径を考察するため、滞水層の周囲に水理的な境界が存在する領域での揚水試験結果の解析と、現場揚水試験結果より滞水層定数を算定する方法を示す。

2. 被圧滞水層の円筒モデルによる揚水試験の解析

2.1 揚水試験の非定常解析

図-1 に示す円筒モデル地盤の被圧滞水層内の浸透流の基礎方程式は Darcy の法則および連続の式より軸対称問題に対して、

$$\frac{\partial^2 \zeta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \zeta}{\partial r} = \frac{1}{\alpha_s} \frac{\partial \zeta}{\partial t} \quad \text{--- (1)}$$

ここで $\alpha_s = K/S_s$ (K : 透水係数, S_s : 比貯留係数)

初期条件は, $\zeta(r, 0) = 0$ --- (2)

境界条件は $\zeta(a, t) = 0$ --- (3)

$$\lim_{r \rightarrow 0} r \frac{\partial \zeta}{\partial r} = -\frac{Q}{2\pi K b} \quad \text{--- (4)}$$

ここで Q は揚水流量, b は被圧滞水層の厚さ, a は円筒地盤の半径

(2) 式の初期条件より (1) 式をラプラス変換して, (2), (3), (4) 式を満たす解を求め, ラプラス逆変換をすると, 水頭低下率は次のように求まる。

$$\zeta = \frac{Q}{4\pi K b} \left[\int_{\frac{r^2}{4\alpha_s t}}^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du - \int_{\frac{a^2}{4\alpha_s t}}^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du \right] + \frac{Q}{2\pi K b a} \int_0^t \frac{1}{\tau} e^{-\frac{a^2}{4\alpha_s \tau}} \sum_{n=1}^{\infty} e^{-\alpha_n^2 (t-\tau)} \frac{J_0(r\alpha_n)}{\alpha_n^3 J_1(a\alpha_n)} d\tau \quad \text{--- (5)}$$

ここで α_n は $J_0(a\alpha_n) = 0$ の n 番目の根である。一般に α_s のオーダーは 10^4 (cm²/sec) 近くであることより, (5) 式の右辺第3項は第1項, 第2項と比較して 十分小さい値であると言える。したがって, 水頭低下率は 近似的に 指数積分関数を用いて 次を示すように表わせる。

$$\zeta^* = -Ei(-r^2/t^*) + Ei(-a^2/t^*) \quad \text{--- (6)}$$

$$\left. \begin{aligned} \zeta^* &= \frac{4\pi K b \zeta}{Q} \\ t^* &= 4(K/S_s)t \end{aligned} \right\} \quad \text{--- (7)}$$

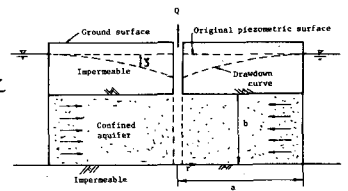


Fig.1 Nonsteady radial flow to a well penetrating a confined on an island

2.2 被圧滞水層定数の算定法

現場揚水試験結果から被圧滞水層定数を算定する方法は、図-2に示すように両対数紙上に揚水試験結果をプロットする。(6)式と各観測井の揚水井からの距離(r)について計算する。ここで、円筒モデルの半径(a)は現場の境界条件および揚水流量などによって定まる値である。したがって現場の状況より近似的な a の値を定めて計算を行い、現場の揚水試験結果と最もよく一致する半径(a)を定める。この a と r を用いて(6)式を計算した結果を図-2に実線で示す。計算結果と揚水試験の各観測井での水頭低下量の観測結果とが最もよく一致する位置まで移動させて Match point を求め、それぞれ、 s^* , s , t^*/a^2 , t/a^2 を求める。揚水流量 Q , 滞水層の厚さ b を用いて、(7)式より、

$$\left. \begin{aligned} K &= \frac{s^* Q}{4\pi b s} \\ S_s &= \frac{4 K t}{t^*} \end{aligned} \right\} \quad \text{--- (8)}$$

を用いて、透水係数 K , 比貯留係数 S_s を求めることができる。

ここで図-2のデータを用いて Match point を求めて、透水係数と比貯留係数を(8)式より求めると、 $K = 6.14 \times 10^{-2} (\text{cm/sec})$, $S_s = 1.07 \times 10^{-6} (\text{cm}^{-1})$ と求まった。同じ揚水試験結果を Jacob の解法により整理した結果を図-3に示す。図-3より明らかにように Jacob の解析法では、図-3の4本の直線が本来1本にならなければならないが、この揚水試験結果では4本の直線は重ならない。したがって、比貯留係数が求められないことになる。なお、Jacob の解析法で透水係数を求めると、 $K = 7.3 \times 10^{-2} (\text{cm/sec})$ であった。

3. 考察

円筒モデルを用いた被圧滞水層における揚水試験の解析を示し、従来の Theis, Jacob の解法では滞水層定数を算定できない揚水試験結果より滞水層定数を算定する方法を示した。

なお、(5)式において円筒モデルの半径(a)を無限とすると、(5)式は Theis の解となる。また、(6)式において十分大きな時間 t に対する解は、円筒モデルに対する定常浸透の解となり、図-2に示すA点の値より、透水係数を求めると $K = 6.20 \times 10^{-2} (\text{cm/sec})$ と求められ、本研究で求めた滞水層定数が妥当な値であることが再確認できた。

参考文献

- 1) 赤井, 西垣; 不完全貫入揚水試験の非定常解析, 土木学会関西支部講演集, 1975, III-30-1, 2
- 2) 西垣, 秋松; 三層系滞水層内水圧変動の非定常解析, 土木学会関西支部講演集, 1976
- 3) 筑波湖東部浄化センター本館地質調査報告書, 1976

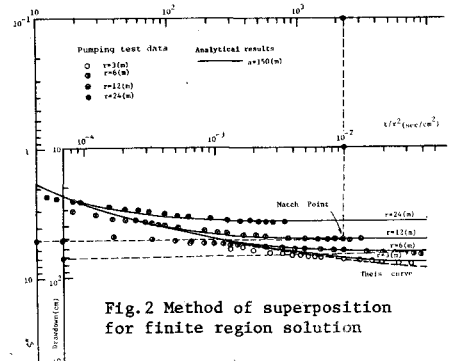


Fig.2 Method of superposition for finite region solution

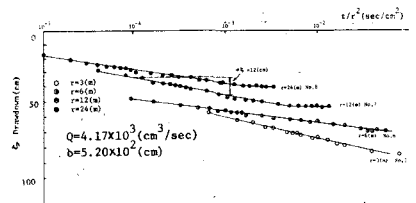


Fig.3 Method of Jacob's analysis