

岡山大学工学部 正会員 ○西垣 誠

岡山大学工学部 正会員 河野伊一郎

清水 建設 正会員 高坂信章

1. まえがき

地盤の浸透特性を求めるために揚水試験が良く実施される。一方、試験終了後の帯水層内の水頭回復を計測する回復試験は、揚水試験中のように揚水用ポンプの影響で揚水井内の水位が振動するなどの外的な要因を受けることが少ないために、帯水層定数の特性が比較的正確に求められると考えられる。本研究では、上記の観点より、従来の回復試験を検討して、試験結果より、透水量係数と貯留係数を求める新しい方法を提案するとともに、揚水井の井戸半径を考慮した回復試験の解析式より、帯水層定数を求める際の留意点を指摘する。

2. 回復試験による貯留係数の求め方

回復試験における残留水位降下量 s' の値は図-1 の s_1 と s_2 を重ね合わせたものとして次式より求められる。

$$s' = s_1 + s_2 = \frac{Q}{4\pi T} [W(u) - W(u')] \div \frac{Q}{4\pi T} \left[\log \frac{t}{t'} - \log \frac{S}{S'} \right] \quad (1)$$

(1)式より片対数紙上に s' と $\log(t/t')$ をプロットすると、その直線の勾配より透水量係数 T が定められるが、貯留係数 S の値は求められない。(1)式の t, t' の値の定義は図-1 に示す。

ここで、 s' の値は自然水位からの低下量として計測される水位であるが、揚水停止時の低下量 (s_0) からの回復量 (s_r) の値を対象に考えると、図-1 より明らかに次式になる。

$$s_r = s_0 - s' \quad (2)$$

ここで s_0 は揚水停止までの水位低下量であることより、

$$s_0 = \frac{Q}{4\pi T} W(u_0) \div \frac{2.3Q}{4\pi T} \log \frac{2.25Tt_0}{s_r^2} \quad (3)$$

(1)式と(3)式を(2)式に代入すると、次の式を得る。

$$s_r = \frac{2.3Q}{4\pi T} \left[\log \left(\frac{t_0 t'}{t r^2} \right) - \log \left(\frac{S'}{2.25T} \right) \right] \quad (4)$$

(4)式より、回復試験結果の s_r の値と $\log(t_0/t) \cdot (t'/r^2)$ を図-2 に示すように片対数紙に整理すると直線的なデータが得られ、透水量係数の値はその直線の勾配 Δs_r から、 $T = 2.3Q/4\pi \Delta s_r$ と求められ、また、貯留係数は図-2 に示すように $s_r=0$ 軸との切片の値 t^* より、 $S' = 2.25Tt^*$ と定められる。

$$(4)式において t' を無限大にすると $s_r \Big|_{t=\infty} = \frac{2.3Q}{4\pi T} [\log(t_0/r^2) - \log(S'/2.25T)] = s_0 \quad (5)$$$

となり、回復結果の最後の s_r の値は図-1 より s_0 の値になる。

なお、(5)式は次のように書き換えることができる。

$$s_r = \frac{2.3Q}{4\pi T} [\log(t'/r^2) - \log(S'/2.25T) + \log(t_0/(t_0+t'))] \quad (6)$$

(6)式において、揚水試験を十分長い時間実施した後の回復試験では、 $\log[t_0/(t_0+t')]$ $\div 0$ と近似される。したが

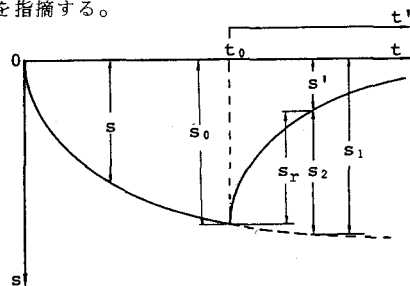
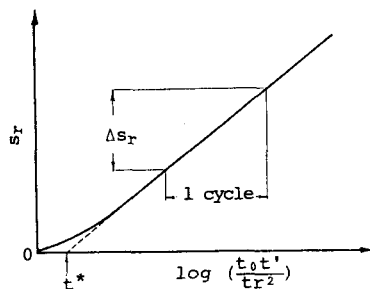


図-1 回復水位における各成分

図-2 $\log(t_0/t) \cdot (t'/r^2)$ と回復水位 (s_r) の関係

$$s_r \div \frac{2.30}{4\pi T} [\log(t'/r^2) - \log(S'/2.25T)] \quad (7)$$

(7)式は揚水試験での Jacob の式と同等の式であり、回復試験結果を Jacob の方法で整理しても貯留係数が求められることになる。²⁾

3. 井戸半径を考慮した回復試験

井戸半径の影響を考慮した回復試験法の解析は、揚水量が $t=t_0$ に $Q=0$ と変化すると考えると、Papadopoulos³⁾ や三野らの解析より、回復過程 ($t > t_0$) での水位低下の解は次のようになる。

$$s' = \frac{Q}{4\pi T} [F(u, S, \bar{r}) - F(u', S', \bar{r})] \quad (8)$$

ここで、 $u' = (S'/4T)(r^2/(t-t_0))$ であり、 $F(u, S, \bar{r})$ は、

$$F(u, S, \bar{r}) = \frac{8S}{\pi} \int_0^\infty [1 - \exp(-\frac{\beta^2}{4u})] \{J_0(\beta \bar{r}) \{BY_0(\beta) - 2SY_1(\beta)\} - Y_0(\beta \bar{r}) \{J_0(\beta) - 2SJ_1(\beta)\}\} \frac{d\beta}{\beta^2 \Delta(\beta)} \quad (9)$$

$$\Delta(\beta) = [\beta J_0(\beta) - 2SJ_1(\beta)]^2 + [\beta Y_0(\beta) - 2SY_1(\beta)]^2 \quad (10)$$

図-3に(2)式の回復水位 (s_r) の無次元量 s_r^* と $u/u_0 u'$ に関する次式の値を計算した一例を示す。

$$s_r^* = \frac{4\pi T s_r}{Q} = F_0(u_0, S, \bar{r}) - F(u, S, \bar{r}) + F(u', S', \bar{r}) \quad (11)$$

この場合にも各観測井における計測結果は(4)式に示す一本の直線に漸近することがわかる。また、 $\bar{r} (=r/r_0)$ の値が小さくなるほど井戸半径の影響が大きくなる。

回復試験を有限要素法による浸透解析を用いてシミュレートし、その結果を従来の方法で整理した一例を図-4に示す。この図より、 t' が大きい範囲の直線の勾配より透水量係数を算定すると、 $T=8.9\text{cm}^2/\text{s}$ と得られた。なおシミュレーションに用いた帯水層定数は $T=10.0\text{cm}^2/\text{s}$ 、 $S=10 \times 10^{-2}$ である。このシミュレーション結果を回復水位 (s_r) と t'/r^2 で整理した結果を図-5に示す。この図より各観測井が漸近する直線を求め帯水層定数を定めると、 $T=10.6\text{cm}^2/\text{s}$ 、 $S=1.58 \times 10^{-2}$ と算定できた。図-6に本研究で提案した方法で整理した結果を示すが、 $T=10.6\text{cm}^2/\text{s}$ 、 $S=1.15 \times 10^{-2}$ と求められた。

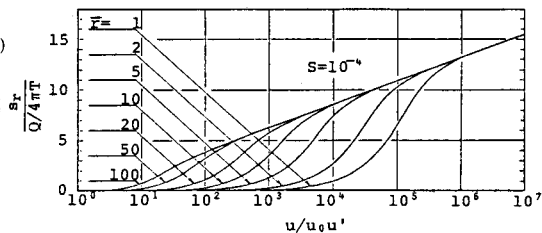


図-3 回復過程の標準曲線

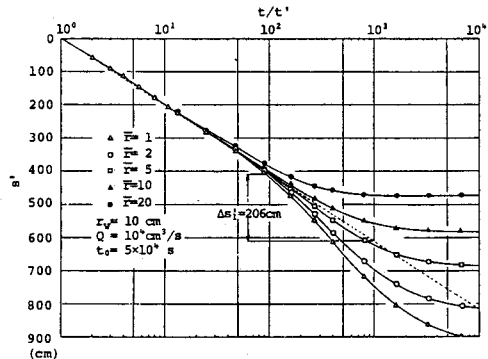


図-4 回復試験データを従来の手法で整理した結果

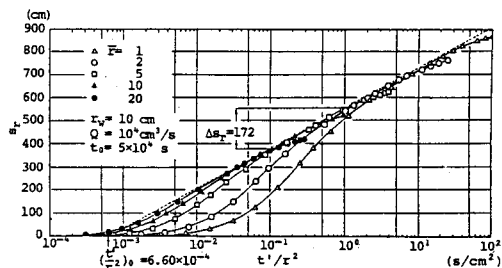


図-5 Jacob の手法で回復試験データを整理した結果

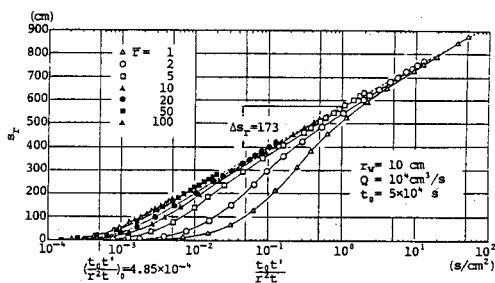


図-6 $\log(t_0/t) (t'/r^2)$ と回復水位 (s_r) で試験データを整理した結果

参考文献 1) 山本莊毅 (1983) : 「新版地下水調査法」, 古今書院, p.217.

2) 赤井浩一 (1966) : 「土質力学」, 朝倉書店, pp.43-56.

3) Papadopoulos, I.S. et al. (1967) : Drawdown in a well of large diameter, Water Res. Res., Vol.3.

4) 三野徹 (1970) : 帯水層定数の決定に関する研究 (I, II, III, N), 農業土木論, 第32, pp.28-52.