

## II-74 他領域からの涵養を受ける帯水層における揚水試験解析(水田から涵養を受ける場合)

九州東海大学工学部 正会員 ○市川 勉

九州東海大学工学部 正会員 星田 義治

1. はじめに 他の領域(地下水、水田など)から涵養を受ける帯水層において揚水試験を行う場合、従来の揚水試験解析ではその挙動を追いきれない。この場合、涵養を考慮した非定常解析を行い、これを揚水試験データに適用する必要がある。本報告では、帯水層の上に水田がある場合の現地揚水試験を行い、漏水のある揚水試験解析を行ったのでここに報告する。

2. 基礎式の展開と無次元化 以下に展開する式において、次の仮定を用いる。

a) 帯水層、難透水層はともに水平であり、均質・等方である。 b) 井戸は、完全貫入井である。 c) 帯水層内の流れでは、Darcyの法則が成り立つ。 d) 井戸枠のストレーナーは、均等に開孔されている。 e) 難透水層を通して生じる漏水は、上下方向のみに行われる。 f) 水田の水位は一定である。図1のように、各部の諸元を仮定すると、以下のような関係式を導くことができる。

井戸内の連続方程式

$$(A_w - A_o) \frac{dh_w}{dt} = Q_s - Q_o \quad (1)$$

井戸枠の抵抗による運動方程式

$$Q_s = 2\pi r_w K D (h_s - h_w)^{1/2} \quad (2)$$

ここに、Kは、井戸枠の抵抗係数である。

被圧帯水層内の流れの運動方程式

$$Q_r = 2\pi r k D \frac{\partial h}{\partial r} \quad (3)$$

難透水層内の流れの方程式

$$Q_{ra} = 2\pi r k_a \frac{H_H + H_D - h}{D_a} \quad (4)$$

連続の式、これは、井戸の中心からrとr+drの間の円筒部分における水収支を考慮すると、

$$\frac{\partial Q_r}{\partial r} = 2\pi r S \frac{\partial h}{\partial t} - 2\pi r k_a \frac{H_H + H_D - h}{D_a} \quad (5)$$

帯水層内の流れの方程式は、(3)より、

$$\frac{\partial Q_r}{\partial r} = 2\pi k D \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial h}{\partial r} \right)$$

これを、(5)式に代入すると、

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{k D}{r S} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial h}{\partial r} \right) + \frac{k_a}{S} \frac{(H_H + H_D - h)}{D_a} \quad (6)$$

(6)式の初期及び境界条件は、次のようになる。

$$t \leq 0; \quad Q_o = 0, \quad h = h_w = h_s = H$$

$$t > 0, \quad r = r_w; \quad Q_o = \text{const}, \quad h = h_s, \quad (A_w - A_o) \frac{dh_w}{dt} = Q_s - Q_o \quad (7)$$

$$Q_s = 2\pi r_w K D (h_s - h_w)^{1/2}$$

$$r = R; \quad h = H$$

(3)から(5)の各式を、(7)式の条件で解くために、上記の各式を、無次元化して数値計算する。

$$g = h/H, \quad g_s = h_s/H, \quad g_w = h_w/H, \quad x = \xi = r/r_w, \quad K_1 = k_a/k, \quad B = r_w^2/D_a D$$

$$y = x/\sqrt{\tau}, \quad y_o = 1/\sqrt{\tau}, \quad g_H = H_H/H, \quad g_D = H_D/H, \quad S' = S/(1 - A_o/A_w)$$

$$\alpha = r_w K/k H^{1/2}, \quad \tau = k D t/S r_w^2, \quad Z = Q_r/2\pi k D H, \quad Z_s = Q_s/2\pi k D H$$

$$Z_o = Q_o/2\pi k D H.$$

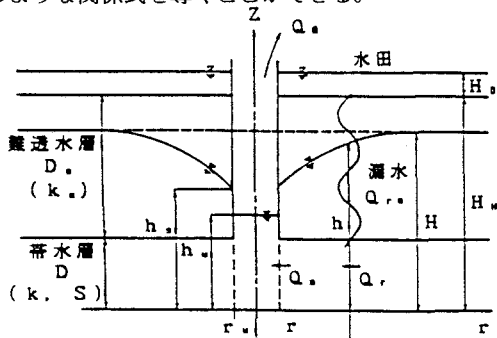


図-1 帯水層の諸元

これらの式を用い、連立常微分方程式を解くと、次式のようになる。

$$\frac{d g}{d \xi} = \frac{Z}{\xi} \quad (8)$$

$$\frac{d Z}{d \xi} = -\frac{Y_w^2 \xi Z}{2} - \xi K_1 B (g_H + g_D - g)$$

(8) 式の初期及び境界条件は、次のようになる。

$$\tau \leq 0 ; \quad g_w = g_s = g = 1.0$$

$$\tau > 0, \quad \xi = 1 ; \quad \frac{d g_w}{d \tau} = 2 S' (Z_s - Z_0), \quad Z_s = \alpha (g_s - g_w)^{1/2} \quad (9)$$

$$\xi = R ; \quad g = 1.0 \quad r = R ; \quad h = H$$

**3. 解析結果** 天草郡姫戸町で行った揚水試験データの解析を行った。数値計算は、井戸は貫入率69%の不完全貫入井戸であるが、解析では完全貫入井戸としてあつかった。井戸の半径は60cm、観測井戸は3本（井戸の中心から8.9m、11.95m、23.15m）あるが、解析に使用したのは8.9m、23.15mの二本である。

(8) 式を(9)式の初期及び境界条件で計算する。これは、時間方向と空間方向で差分法によって解くことになる。与えたデータは、定常時無次元揚水量 $Z_0=0.07$ 、帯水層の貯留係数 $S=0.01$ 、井戸枠の無次元抵抗係数 $\alpha=0.65$ 、難透水層と帯水層の透水係数比 $k_a/k=10^{-5}$ である。影響円半径の最大値は、現地の状態を考慮して井戸半径の200倍(120m)とした。数値計算の結果と揚水試験データの適用図（水頭の変動図）を図-2に示す。また、このときの影響円半径の増大の変化、漏水量、漏水高（漏水量/漏水面積）の変化を図-3に示す。図-2より適用状態は良好であり、この図を用いて計算される帯水層定数は $k=2.8 \times 10^{-1} \text{ cm/s}$ 、

$s=0.027$ 、難透水層の透水係数は $k_a=2.8 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ となり、貯留係数 $S$ は仮定値と計算値はほぼ一致した。図-3より水田からの漏水量は4時間後の最終的狀態で約 $200 \text{ m}^3/\text{d}$ 、漏水高は約 $4 \text{ mm/d}$ であった。この数値計算により漏水の影響、影響円半径の広がり把握できるようになる。解析の結果は、ほぼ妥当であると思われる。

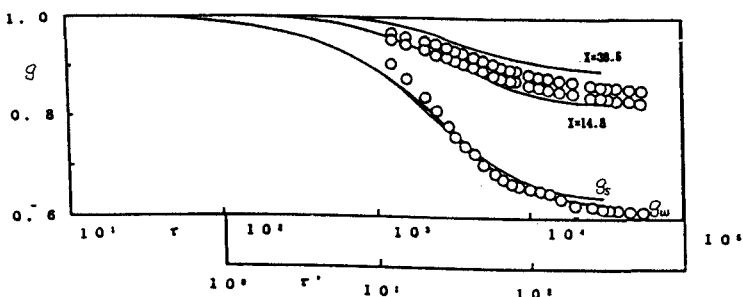


図-2 水頭の時間変化の実験データと計算値の適用

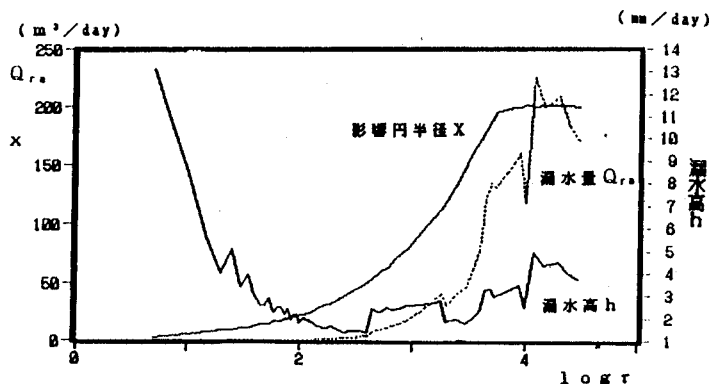


図-3 影響円半径、漏水量、漏水高の時間変化