

東海大学 正員 市川 勉
九州東海大学 正員 星田 義治

1. まえがき： 地下水流動，特に井戸理論については，数多く研究がなされている。漏水性帯水層からの揚水については，Jacob¹⁾をはじめ，本間・荻原²⁾の研究があるが，Jacobの理論では，上層にあたる不圧帯水層の水位変動，井戸損失を考慮していない。また，本間・荻原の理論でも井戸損失を考慮していない。

著者らは，過去に，2つの帯水層から同時に地下水を揚水する場合に生じる地下水の定常流動について，井戸損失，漏水を考慮した数値解を発表している³⁾。本報告は，これを漏水性帯水層へ応用し，実験・解析を行ない，多少の知見を得たので，ここに発表する。

2. 数値計算式の展開： 以下の式の展開においては，次の仮定をする。 1) 上下両帯水層，難透水層ともに水平で均質・等方とする。 2) 井戸は，完全貫入井である。 3) 地下水の流れは，準一様流の仮定が成立し，Darcyの法則が成立する。 4) 井戸枠のストレナは，均等に開孔されている。

また，各式に使用する記号は，図-1に示す。

上記のような仮定で誘導される各式をあげると，以下ようになる。

井戸枠の抵抗を考慮した運動方程式

$$Q_{sc} = Q_0 = 2\pi r_w K \cdot D \cdot (h_{sc} - h_{wc})^{1/2} \quad (1)$$

帯水層中を井戸へ向かう流量

$$Q_{ru} = 2\pi r \cdot k_u \cdot h_u \cdot (dh_u/dr) \quad (2)$$

$$Q_{rc} = 2\pi r \cdot k_c \cdot D \cdot (dh_c/dr) \quad (3)$$

漏水量は，幅 dr 当り，

$$Q_{ra} = 2\pi r \cdot k_a \cdot (h_u + H_a + h_c) / Da \quad (4)$$

連続の式は，

$$dQ_{ru}/dr = Q_{ra} = -dQ_{rc}/dr \quad (5)$$

$$\text{境界条件は， } r=r_w \text{ で， } Q_{ru}=0.0, Q_{rc}=Q_0=Q_{sc}, r=R \text{ で } h_u=H_u, h_c=H \quad (6)$$

である。

以上の各式を以下の式によって無次元化する。 $g_u = h_u/H_u$ 、 $g_c = h_c/H_c$ 、 $g_{uc} = H_u/H_c$ 、 $g_{au} = H_a/H_u$ 、 $x = r/r_w$ 、 $Z_u = Q_{ru}/(2\pi k_u \cdot H_u^2)$ 、 $Z_c = Q_{rc}/(2\pi k_c \cdot D H_c)$ 、 $k_{au} = k_a/k_u$ 、 $k_{ac} = k_a/k_c$ 、 $X = R/r_w$ 、 $A = r_w^2/H_u \cdot Da$ 、 $B = r_w^2/D \cdot Da$ 、 $g_{su} = h_{su}/H_u$ 、 $g_{wc} = h_{wc}/H_c$ 、 $g_{sc} = h_{sc}/H_c$ 、 $\alpha_c = r_w K/k_c \cdot H_c^{1/2}$ 、 $g_d = H_u/D$ 。

(1) から (3)、(5) から (6) の各式は，以下ようになる。

$$Z_{sc} = Z_0 = \alpha_c \cdot (g_{sc} - g_{wc})^{1/2} \quad (7) \quad Z_{su} = x g_u (dg_u/dx) \quad (8)$$

$$Z_{sc} = x (dg_c/dx) \quad (9) \quad dZ_u/dx = x k_{au} A (g_u + g_{au} - g_c/g_{uc}) \quad (10)$$

$$dZ_c/dx = x k_{ac} B \cdot (g_u \cdot g_{uc} + g_{au} g_{uc} - g_c) \quad (11)$$

$$x=1.0, Z_{ru}=0.0, Z_{rc}=Z_0=Z_{sc}, x=X: g_u=1.0, g_c=1.0 \quad (12)$$

3. 数値計算と実験解析： (8)、(9)、(10)、(11)の各式を(12)の条件でRunge-Kutta法によって数値計算する。数値計算のフローチャートを図-2に示す。このフローで α_c の計算には，実験から求めた Z と α の関係式を用いる。

実験は，円形の1/24の扇形実験装置を用いて行なった。この装置では，かん養半径を井戸半径の15倍にしている。かん養側では，流量計によって，一定量供給し，揚水前後の排水量を測定し，かん養量を測定する。

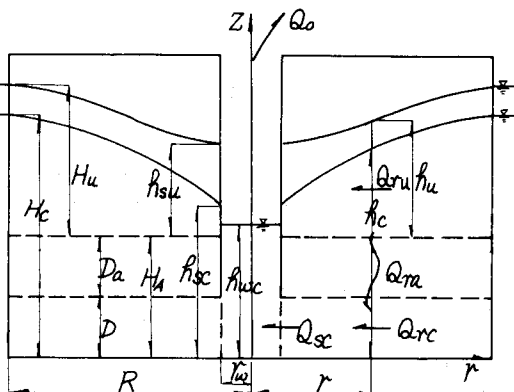


図-1 不圧-被圧系漏水性帯水層

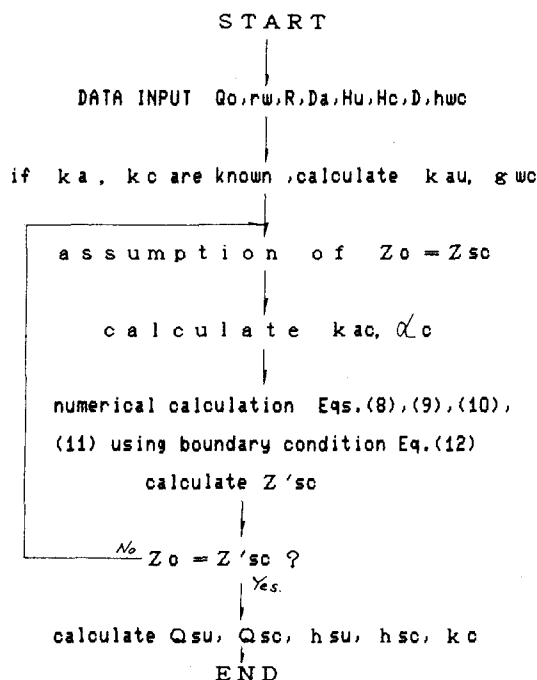


図-2 計算FLOWCHAT

これは、数値計算の結果をチェックするときに用いた。数値計算の結果を図-3、図-4に示した。

図-3は、上層の不圧帯水層と下層の被圧帯水層の初期水位が等しい場合であり、図-4は、上層の不圧帯水層と下層の被圧帯水層の初期水位が異なる場合である。ここに○印は、下部の被圧帯水層における実験値、●印は、上部の不圧帯水層における実験値、実線は、下部の被圧帯水層の計算値、破線は、

上部の不圧帯水層の計算値、一点鎖線は、Jacobの

漏水説による計算結果である。Jacobの方法では、下部の被圧帯水層と難透水層の透水係数を与えてやらなければならないので、ここでは、著者らの方法で計算した値を用いた。また、図-3、図-4には、下に、揚水量、漏水量、かん養量の実測値と観測値（図中で実線が観測値、破線が計算値）を示している。また、図中には、著者らの方法で計算した各帯水層の透水係数も記入してある。これらを見ると、現象が、ほぼ再現されているものとおもわれる。なお、この計算には、富士通のパーソナルコンピュータFM-7を使用した。

4. まとめ : 3の実験・解析によって次の事がわかった。1) 本研究により不圧-被圧帯水層系における漏水性帯水層からの揚水による地下水の定常流動の解析が実験結果にほぼ一致した。2) 本解析法によれば、上下両帯水層および中間の難透水層の透水係数が推定できる。3) 本解析法では、難透水層からの漏水量を定量的に把握できる。

参考文献: 1) C.E.Jacob "RADIAL FLOW IN A LEAKY ARTESIAN AQUIFER": Transactions, American Geophysical Union, Vol.11, pp.198-208, April 1946. 2) 本間・荻原 "被圧地下水層への水の補給についての一考察": 土木学会論文報告集, 第217号, pp. 25-31, 1973. 3) 星田・市川・玉井 "2つの帯水層から揚水するときの地下水の流動についての考察": 土木学会論文報告集, 第331号, pp. 75-82, 1983.

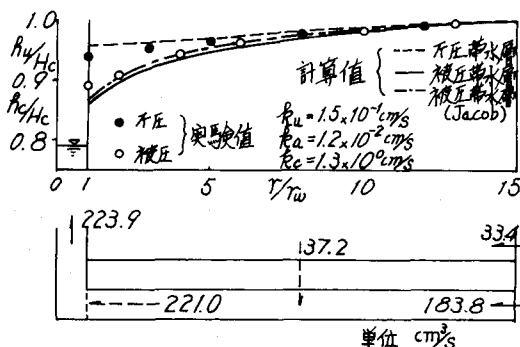


図-3 解析結果（上層と下層で水位差なし）

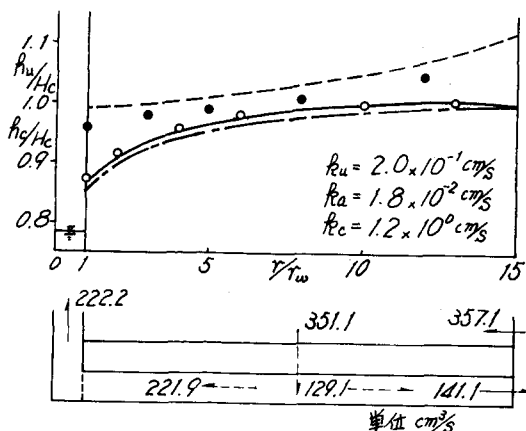


図-4 解析結果（上層と下層で水位差あり）