

II-268

多層収水層井戸における
帯水層から井戸への流入量について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 単独の帯水層ではなく、2つ以上の帯水層、すなわち多層帯水層から揚水する多層収水井戸は我が国では最も一般的形式井戸である。この多層収水井戸における各帯水層からの流入量を求めることは、井戸がどの帯水層から主に流入しているか、すなわち、互層となっている帯水層のうちそれぞれの帯水層からの流量を判定することは重要な課題である。著者らはK市において井戸内の鉛直流量を観測する機会を得た。その結果と解析結果を報告する。

2、地層の概況と実験結果 実験対象地区の地質概況は図1に示したように表土は火山灰土、その下に軽石混じり砂れき、粘土を挟んで固結溶岩がありこの溶岩は上下で亀裂が発達し良好な帯水層を形成している。この溶岩の下には砂混じり粘土、砂れきシルト互層、玉石混じり砂れき(帯水層)となっており溶岩の上部が第一帯水層、溶岩の下部が第二帯水層、砂混じり粘土の下の層が第三帯水層となっていて井戸のスクリーンはこの三カ所に施されている。この地域の地下水の水頭は地表より高く自噴する。また、図1には揚水していない場合の井戸内鉛直流量の実測値が記入されている。また、同図には日量7000m³で揚水した場合の井戸内流速も示している。これらから井戸へまたは井戸から帯水層への流量を推定できる。図2、図3はそれぞれ無揚水、一定揚水の場合の水収支を示したものである。同図には各帯水層の水頭、各帯水層の透水係数が記入されている。この各帯水層の水頭が異なるために井戸を掘削すると同時に流れが発生する。この井戸へ流入する場合と井戸から帯水層へ入る場合が発生する。これらの図を見るとわかるように無揚水の場合一番下の帯水層から井戸へ浸入し、井戸からは主に一番目の帯水層へ流入しており、二番目の帯水層では若干帯水層へ流入しているのがわかる。一方、揚水時では一番上の帯水層から井戸への流入が支配的で三番目の帯水層はその次になり二番目の帯水層はほとんど寄与していないことがわかる。

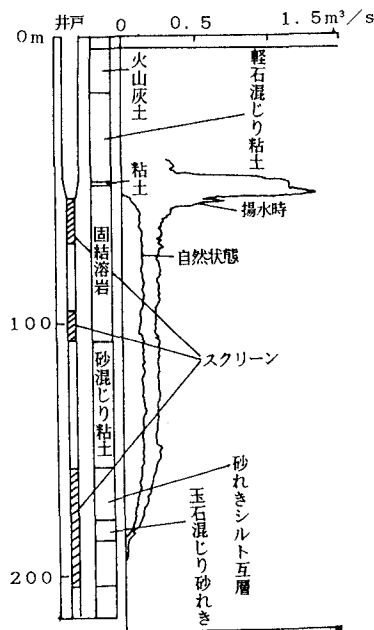


図1 実験結果

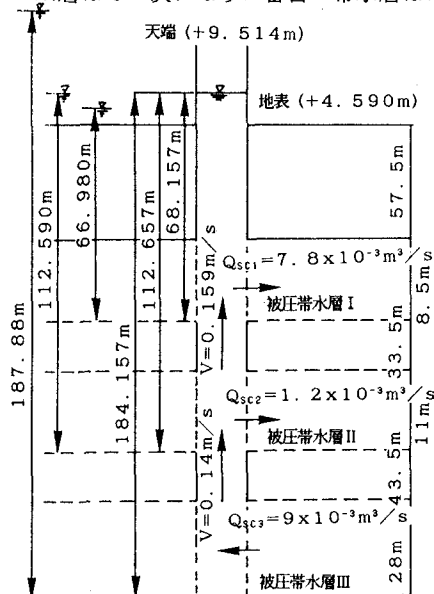


図2 各帯水層の水収支(自然状態)

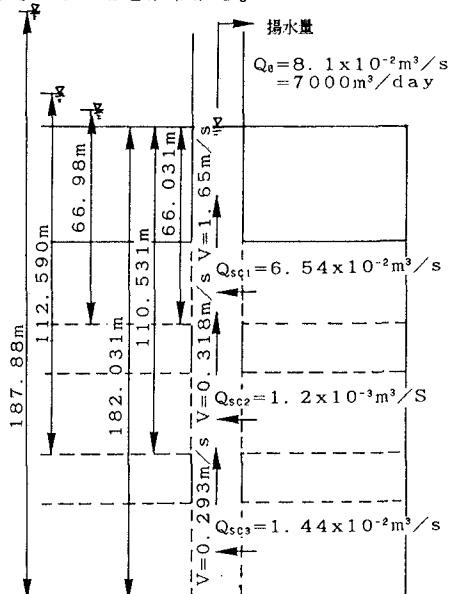


図3 各帯水層の水収支(揚水時)

3. 非定常地下水解析 2. の実験結果を基に非定常地下水解析を行った。以下に展開する式において、次の仮定を用いる。a) 帯水層内の流れはDarcyの法則が成り立つ。b) 難透水層を通じて生じる漏水は、鉛直方向のみ行われる。c) 井戸枠のストレーナーは均等に開孔されている。d) 井戸は完全貫入井である。図4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。帯水層内の流れの方程式

$$\frac{\partial h_{c1}}{\partial t} = \frac{k_{c1} D_1}{r S_1} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial h_{c1}}{\partial r} \right) - \frac{k_{a1}}{S_2} \cdot \frac{h_{c1} + D_{a1} + D_2 - h_{c2}}{D_{a2}} \quad (1)$$

$$\frac{\partial h_{c2}}{\partial t} = \frac{k_{c2} D_2}{r S_2} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial h_{c2}}{\partial r} \right) + \frac{k_{a1}}{S_2} \cdot \frac{h_{c1} + D_{a1} + D_2 - h_{c2}}{D_{a1}} - \frac{k_{a2}}{S_2} \cdot \frac{h_{c2} + D_{a2} + D_3 - h_{c3}}{D_{a2}} \quad (2)$$

$$\frac{\partial h_{c3}}{\partial t} = \frac{k_{c3} D_3}{r S_3} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial h_{c3}}{\partial r} \right) + \frac{k_{a3}}{S_3} \cdot \frac{h_{c2} + D_{a2} + D_3 - h_{c3}}{D_{a2}} \quad (3)$$

初期及び境界条件

$$t \leq 0 : Q_0 = 0 \quad r = R ; h_{c1} = H_{c1}, h_{c2} = H_{c2}, h_{c3} = H_{c3}$$

$$t > 0 : r = r_w ;$$

$$(A_w - A_0) \frac{d h_{wc2}}{d t} = Q_s - Q_0, \quad Q_s = Q_{sc1} + Q_{sc2} + Q_{sc3}$$

$$Q_{sc1} = 2 \pi r_w K_{ci} D_i (h_{sc1} - h_{wci})^{1/2} \quad (h_{sc1} > h_{wci}, i = 1, 2, 3)$$

$$Q_{sc1} = -2 \pi r_w K_{ci} D_i (h_{wci} - h_{sc1})^{1/2} \quad (h_{sc1} < h_{wci}, i = 1, 2, 3) \quad (4)$$

$$r = R ; h_{c1} = H_{c1}, h_{c2} = H_{c2}, h_{c3} = H_{c3}$$

(1)から(5)の各式を(6)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。数値計算法はrunge-kutta法を用いた。この場合、帯水層の諸元として、帯水層の揚水前の、水頭、層厚、涵養半径、また、井戸の半径、揚水量と井戸内の水頭を与える。次に難透水層と帯水層の透水係数が既知であるものとして値を与えるか、または仮定する。帯水層の井戸の中心から放射方向の水頭の変化および漏水量、井戸へしみ出す流量等の計算は、2点境界値問題としてshooting methodで数値計算する。この方法は井戸枠の外側の水頭を仮定し放射方向に、水頭を数値計算して涵養境界上の境界条件の水頭、水頭に一致するまで初期値を設定しなおす方法である。この計算で得られた井戸枠の外側の水頭と井戸内の水頭から無次元の井戸へのしみ出し量を計算し、与えられた揚水量とはば一致した時計算が終了したものを見なし、その結果を出力する。この計算結果を図5に示す。図5の結果は各帯水層のしみ出し量を揚水量で除したものである。無次元時間 τ の小さい間は第一帯水層、第三帯水層からの値は発散しているが、時間が進むにつれて一定値に地下ずいている。実験値では第一帯水層からの流量が全体の8割第三帯水層からの流量が約2割を占め、第二帯水層はほとんど0に近いが、計算結果では第一帯水層から約6割、第三帯水層から約4割と第二帯水層をのぞいて2割ほど違っている。これは仮定した帯水層の透水係数が実際と異なるためと思われる。しかし、この計算により各帯水層からの流量が漏水、井戸損失を考慮して個別に計算できる事がわかった。なお、この計算は透水係数をかえて続行している。最後に、この研究で数値計算に御協力戴いた石坂 裕之氏(現小松建設工業)に感謝の意を表す。

参考文献 1) 三つの帯水層からの揚水による地下水の非定常流動の解析、土木学会西部支部研究発表会概要集、p. 294-295、1992。

2) The Discharge from each Aquifer in a Multiaquifer

System、土木学会西部支部研究発表会概要集、p. 298-299、1992。

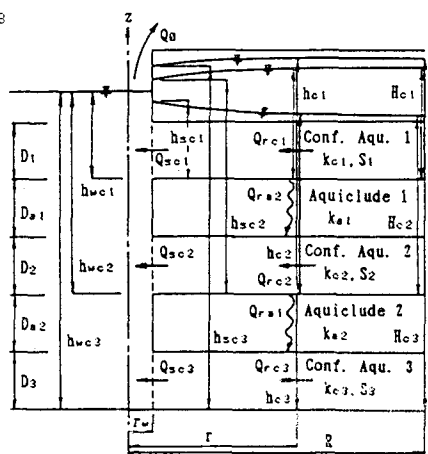


図4 三層帯水層システム

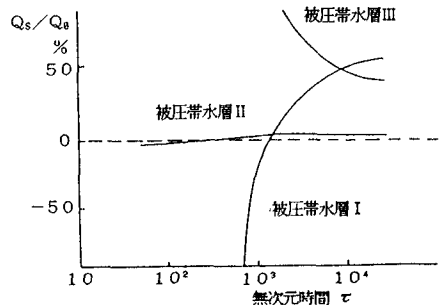


図5 解析結果(流量)