

鳥取県	正員	○ 六條 洋司
鳥取大学工学部	正員	道上 正規
鳥取大学工学部	正員	鈴木 幸一
鳥取大学工学部	正員	檜谷 治

1. はじめに 一般に、不圧地下水の解析は単層で解析されることがほとんどであるが、被圧地下水の場合、特に揚水試験結果を解析する場合など、その上下の滯水層からの漏水量を考慮した多層滯水層系で解析しなければならない場合がある。本研究は、地質柱状図などから多層滯水層であると推定される鳥取県東部の浜村温泉での揚水試験に、準三次元解析法による数値シミュレーションを行って、その妥当性について検討を加えたものである。

2. 基礎式と数値シミュレーションの方法 図-1のような多層滯水層を構成する3種類の層についてそれぞれ基礎式をたてるが、地下水流は滯水層(Aquifer)および半滯水層(Aquitard)でそれぞれ水平および鉛直方向のみとすると基礎式は以下のように表される。

$$\frac{\partial}{\partial x}(Kb \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(Kb \frac{\partial h}{\partial y}) - Q - q_L = Sy \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(T \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(T \frac{\partial h}{\partial y}) - Q - q_L = S \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial z}(K' \frac{\partial h'}{\partial z}) = Ss' \frac{\partial h'}{\partial t} \quad (3)$$

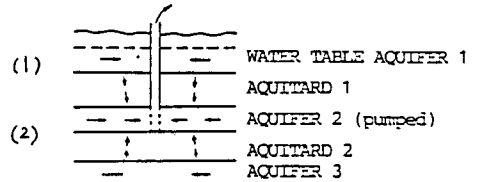


図-1 多層滯水層系

ここに、 x 、 y および z は空間座標軸、 h は水位(ピエゾ水頭)、 b は不圧滯水層での水深、 K は透水係数、 Sy は有効空隙率、 T は透水量係数、 S は貯留係数、 Ss' は比貯留量、 Q は揚水量、 q はその層から流出する漏水量で、ダッシュ(′)は半滯水層を表す。(1),(2)式と(3)式は次のDarcy則により結びつけられる。

$$\text{Darcy's law : } q_L = -K' \frac{\partial h'}{\partial z} \quad (4)$$

解析法には、空間的に有限要素法、時間的に差分法が用いられている。計算手順は、滯水層の h を適当な値 \hat{h} で仮定し、それを境界条件として(3)式より h' を解く。その h' を(4)式に代入して求める q_L を(1),(2)式に代入して h を解く。この h が先に仮定した \hat{h} と等しくなれば、この h を新たに \hat{h} として再び h' を解く手順を繰り返し、 h と \hat{h} が等しくなった時点で h を解とする収束計算を行う。

解析の対象とした浜村温泉の地層は図-1に示したような5層から成っていると推定されている。また、Aquifer3の下は花崗岩から成る基盤岩があり、その花崗岩層の断層あるいは割れ目から温泉水が供給されていると考えられている。揚水試験は昭和60年10月8日に図-2に示すc地点において、Aquifer3から152 l/minの揚水量のもとで行なわれた。また、揚水試験に用いた観測井はその井戸の対応するAquiferとともに図-2に示している。計算に用いた定数は、揚水試験から得られたAquifer3の領域内の平均的な透水量係数 $T = 1.5 \times 10^{-3}$ m²/s、貯留係数 $S = 5.0 \times 10^{-4}$ 以外は全く不明であるため、地質柱状図などをよく考慮した上で適当な値を用いることにした。計算に用いた諸係数をまとめて表-1に示す。境界条件は、観測値と計算値が合うように適当な水位を与え、水平状態とした。計算に用いた滯水層の二次元メッシュは図-3に示す

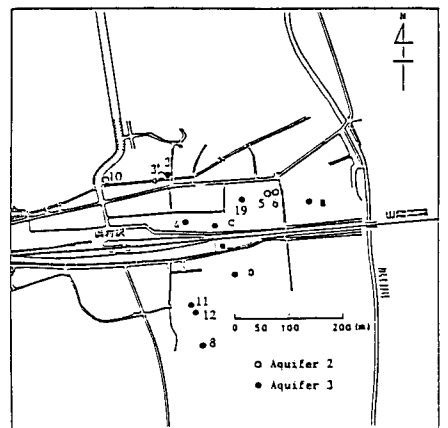


図-2 浜村の概況

130 節点 228要素のもので、これを鉛直方向に滯水層の数だけ重ね、対応する節点同志を半滯水層を表す1本の弦で結ぶ。この弦を線分要素分割することにより半滯水層を一次元有限要素の弦を線分要素分割することにより半滯水層を一次元有限要素法で解くことが可能になるが、場所的に弦の長さを変えることにより半滯水層の漏水の場所的变化を考慮することができる。本研究では、地質柱状図より推定した半滯水層の厚さをデータとして入力し、計算を行った。

表-1 諸係数

	透水係数	透水量係数	有効空隙率	比貯留量	貯留係数
Aquifer 1	1.0×10^{-3} m/s		0.15		
Aquitard 1	1.0×10^{-9}			1.0×10^{-6} m	
Aquifer 2		1.5×10^{-3} m/s			5.0×10^{-4}
Aquitard 2	1.0×10^{-9}			1.0×10^{-6} m	
Aquifer 3		1.5×10^{-3}			5.0×10^{-4}

3. 計算結果 1)最終平衡状態 図-4は最終水位降下量と揚水井から距離について観測値と計算値を比較したもので、縦軸の下向きが水位降下量、横軸は揚水井から観測井までの距離を表しており、凡例は図中に示すとおりである。計算値は観測値によく対応しており、やや観測値よりも水位降下量が大きいのが安全側を考えれば計算結果は良好といえる。 $r=130$ m付近にAquifer2の水位降下が見られるが、これも計算値は観測値によく対応している。観測値から得られる影響半径RはR=250m程度であるが、計算値ではR=400m程度と若干大きくなっている。

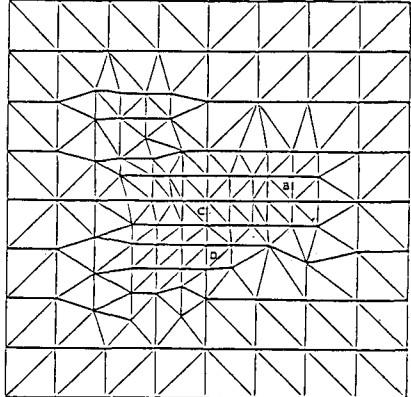


図-3 解析メッシュ(Aquifer)

2)非定常状態 最終平衡状態に達する過程を示したものが図-5で、縦軸の下向きが水位降下量、横軸が時間を表しており、凡例は図中に示すとおりである。まず、揚水井では、水位降下量の計算値と観測値に井戸損失が原因と思われる2~3mの差がある。したがって、井戸損失を除けば計算値のように水位が降下するものと思われる。つぎに、観測井では、両者の水位に差があるものの、水位降下の状況は計算値と観測値がよく対応している。なお、計算時間ステップは最初36秒から指数的に増加させ、最終平衡状態に達するまで最高 10^{10} 秒を越えても振動や発散は生じなかった。 3)半滯水層の透水係数 K' 半滯水層の透水係数を大きくすると漏水量が大きくなるため、系全体での収束計算が振動を起こし発散した。本解析法における K' の計算可能範囲は $0 < K' \leq 10^{-7}$ m/sであった。

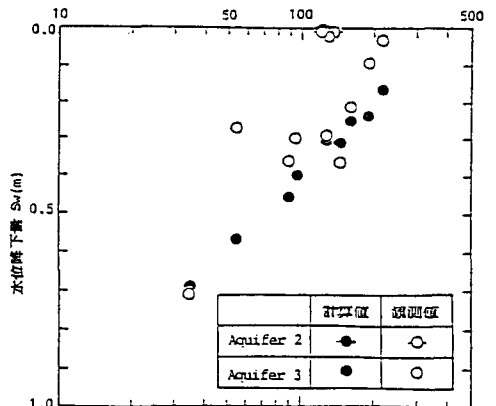


図-4 水位降下量と揚水井Cからの距離

4. おわりに 本研究ではTを一定として地下水位を計算し、その結果は実測値とよく一致したが、Tの分布を考慮すれば計算値は観測値により近づくものと思われる。いずれにせよ、T等の詳細なデータの把握が数値解析には最も重要な要素であると思われる。

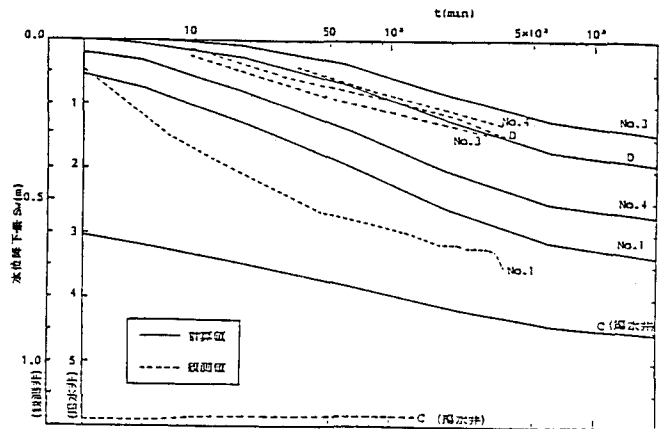


図-5 水位降下量の時間的变化

(参考文献)

- 1) Chorley, D.W., Frind, E.O.: Water Resources Research, Vol. 14, No. 5, pp. 943-952.