

多層滯水層の流れの準三次元解析

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	檜 谷 治
日立オートモティブエンジニアリング (株)	正員	西 村 晃

1. はじめに 地下水系が図-1に示すように透水性の悪い半滯水層(Aquitard)をはさんで複数の滯水層(Aquifer)が重なって形成する多層滯水層となっていることがある。この場合、ある滯水層で揚水が行われ水位が下がると、その上下の滯水層でも水位が下がるという現象がしばしば観察されている。これは滯水層間に生じた水位差による漏水が半滯水層内で生じていると考えられる。

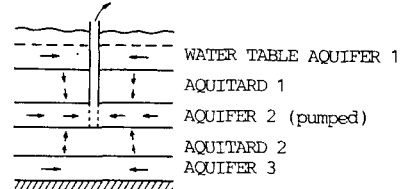


図-1 多層滯水層

したがって、多層滯水層からなる地下水系では漏水の影響を考慮して、系全体で解析する必要がある。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、地下水流は滯水層および半滯水層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。

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

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

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

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_L 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)式に代入して求まる 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 $\hat{h}$ と等しくなければ、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。¹⁾

解析の対象とした浜村温泉での揚水試験は、昭和60年10月8日に図-2に示す浜村駅東部のC地点で行われたもので、揚水量は152ℓ/minであった。浜村の多層滯水層は図-1のような5層から成っており、Aquifer3の下に基盤岩がある。観測井が対応するAquiferは図中の記号で表す。計算に用いた定数は、揚

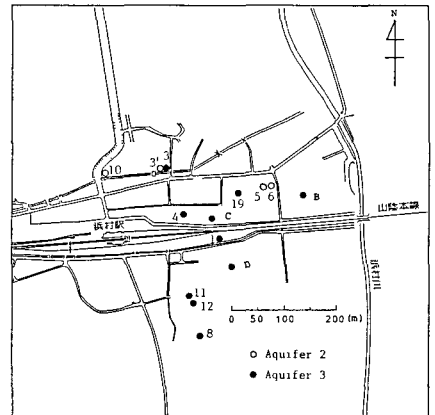


図-2 浜村の概況

水試験から得られたAquifer3の領域内の平均的な透水量係数 $T = 1.5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ 、貯留径数 $S = 5.0 \times 10^{-4}$ 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妥当な値を用いることにした。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。計算に用いた滞水層の二次元メッシュは図-3に示す130節点226要素のもので、これを鉛直方向に滞水層の数だけ重ね、対応する節点同志を半滞水層を表す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滞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滞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滞水層の厚さをデータとして入力し、計算を行った。

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が安全側を考えれば計算結果は良好といえる。 $r=130\text{m}$ 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 $R=250\text{m}$ 程度であるが、計算値では $R=400\text{m}$ 程度と若干大きくなっている。

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) 半滞水層の透水係数 K' 半滞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 $0 < K' \leq 10^{-7} \text{ m/s}$ であった。

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。

(参考文献)

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

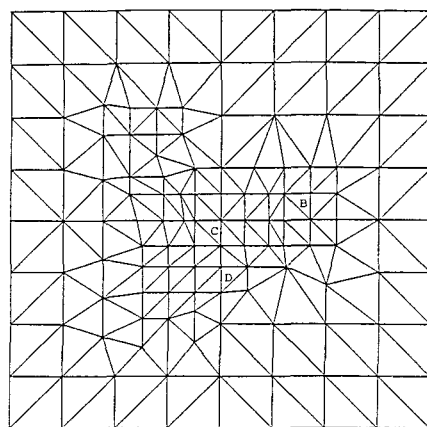


図-3 解析メッシュ (Aquifer)

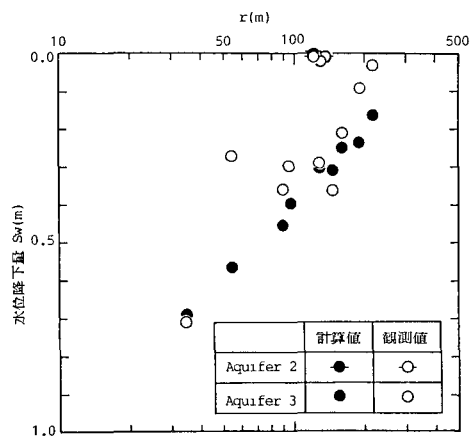


図-4 水位降下量と揚水井Cからの距離

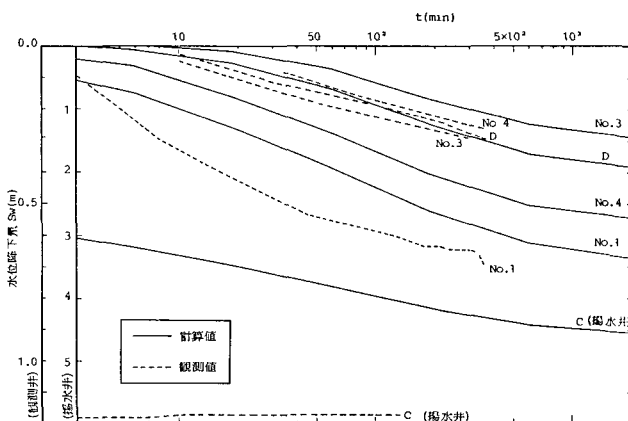


図-5 水位降下量の時間的变化