

鳥取大学工学部 正員 野田 英明
シ シ ○ 岩佐 敏博

1. まえがき 近年都市開発の進展に伴ない、水資源としての地下水の需要は、その良好な水質、恒温性および取得の経済性などから著しく増大してきた。それとあいまって、地下水位の低下現象、水質の悪化、地盤沈下といった社会的問題を引き起こしてきている。こうした点に対処するためには、地下水の十分な調査研究を行ない現況把握とともに、将来の動態予測を行なう必要がある。この研究は、ディジタルコンピュータにより、タイスの被圧地下水理論と差分近似解との比較検討を行ない、さらに鳥取市街地における被圧地下水の水収支への適用を試みたものである。

2. 基礎式の差分化 一般に被圧地下水に関しては、弾性説にもとづく(1)式を基礎式として適用する。すなわち、

$$\frac{\partial R}{\partial t} = kb \left(\frac{\partial^2 R}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 R}{\partial y^2} \right) / S + w/S \quad (1)$$

ここに、 R ：不透層底面からの水頭、 x, y ：平面座標、 t ：時間、 b ：滞水層厚、 S ：貯留係数、 k ：透水係数、 w ：単位面積単位時間あたりの揚水量、である。いま上式を無次元化するために、 $H = R/b$ 、 $T = k \cdot t / S b$ 、 $X = x/b$ 、 $Y = y/b$ 、および $W = w/k$ とおき、 ΔT を T の増分、 $\Delta X, \Delta Y$ を格子間隔、また、 i, j を X, Y 方向の格子節点を表わすための添字とすると、 $T = n \cdot \Delta T$ 、 $X = i \cdot \Delta X$ 、 $Y = j \cdot \Delta Y$ となる。A.D.I.法を用いれば、第 n 時点から第 $(n+1)$ 時点へ解を前進させるための差分方程式は、

$$(H_{i,j}^{n+1} - H_{i,j}^n) / \Delta T = (H_{i,j}^{n+1} - 2H_{i,j}^{n+1/2} + H_{i,j}^{n+1/2}) / (\Delta X)^2 + (H_{i,j}^n - 2H_{i,j}^n + H_{i,j+1}^n) / (\Delta Y)^2 + W_{i,j} \quad (2)$$

である。また、第 $(n+1)$ 時点から第 $(n+2)$ 時点へ解を前進させるためのそれは、

$$(H_{i,j}^{n+2} - H_{i,j}^{n+1}) / \Delta T = (H_{i,j}^{n+1} - 2H_{i,j}^{n+1/2} + H_{i,j}^{n+1/2}) / (\Delta X)^2 + (H_{i,j}^{n+1} - 2H_{i,j}^{n+1/2} + H_{i,j+1}^{n+1/2}) / (\Delta Y)^2 + W_{i,j} \quad (3)$$

となる。それぞれの時点における第 ν 次近似無次元水頭 ${}^\nu H_{i,j}$ から、第 $(\nu+1)$ 次近似無次元水頭 ${}^{\nu+1} H_{i,j}$ を求めるために S.O.R. を使い、 $\Delta X = \Delta Y$ 、 $r = \Delta T / (\Delta X)^2$ において、 $A = r / (1+2r)$ 、 $B = (1-2r) / (1+2r)$ および $C = \Delta T / (1+2r)$

で表わせば、おのおのの時点における第 $(\nu+1)$ 次近似の無次元水頭は、それぞれ次式で表わされる。すなわち、

$${}^{\nu+1} H_{i,j} = {}^\nu H_{i,j} + \omega \cdot EX, \quad {}^{\nu+1} H_{i,j} = {}^\nu H_{i,j} + \omega \cdot EY \quad (4)$$

$$\text{ここに } EX = A({}^{\nu+1} H_{i-1,j} + {}^\nu H_{i+1,j} + {}^\nu H_{i,j-1} + {}^\nu H_{i,j+1}) + B \cdot {}^\nu H_{i,j} + C \cdot W_{i,j} - {}^\nu H_{i,j} \quad (5)$$

$$EY = A({}^{\nu+1} H_{i,j-1} + {}^\nu H_{i,j+1} + {}^\nu H_{i-1,j} + {}^\nu H_{i+1,j}) + B \cdot {}^\nu H_{i,j} + C \cdot W_{i,j} - {}^\nu H_{i,j} \quad (6)$$

であり、 ω は加速係数である。この方法は解が安定であり、つねに収束することはすでに示されている。

3. タイスの理論値と差分近似値との比較 タイスの被圧地下水の井戸に関する理論式と前述の差分近似式との比較を行なうため、厚さ b の滞水層が水平に分布している半径 R の円形領域モデルを設定した。揚水は円の中心で行ない、円周上の境界では水位一定とした。計算にあたっては、揚水量 $Q = 500 \text{ m}^3/\text{day}$ 、 $k = 8.64 \text{ m/day}$ 、 $S = 0.005$ および、 $b = 30 \text{ m}$ とし、対称格子網としたため、四分の一円について解析を行なった。図-1は、縦軸に水位低下量(s)を、横軸に揚水経過時間(T)をとってタイスの理論解と差分近似解とを図示したものである。図中の実線は、タイスの理論値で揚水地点からの距離(R)をパラメータとして示してある。図から明らかなように、白丸で示した差分近似値は、 R の値がいずれの場合でもかなりよい一致を示し、この差分近似解法がタイスの被圧地下水理論を表わし得ることがわかる。

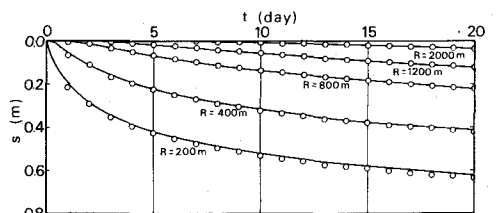


図-1 差分近似値とタイスの理論値との比較

4. 水収支シミュレーションの適用例

前述の計算方法を鳥取市街地における被圧地下水に対して適用する。解を得るため複雑な現地の地形に適當な境界条件を与えることは難しいが、一般的にはつぎのように定める。(i) 山地と平地の境界：山地と不透壁とみなし、山地と平地の境界では地下水の流れはないものとする。すなわち、 $\partial h / \partial m = 0$ 、 m ：境界に直角な成分、となる。

(ii) 平地の境界：滞水層が計算対象領域

域の外側にも連続している場合には、境界あるいはクッションゾーンを設け、地下水の出入を近似させる。(iii) 水位一定：つねに水位の変化しないところがあれば、その点で水位一定の条件を与える。図-2は、研究対象地域を示すもので、この領域を200 m間隔の左右対称格子網で覆い、各節点における被圧地下水頭を計算する。図中のD1からD7で示してある地点は、連続水位観測を行なっている場所であり、これらの地点の昭和49年7月17日午前8時の資料をもとに等水位線図を作成し、その図より各節点における初期水頭を決定した。図-3は、計算に用いたNumerical Mapである。今回は、境界条件として、前述の(i)および(iii)を設定した。また、地下水層に関する諸定数はほとんど不明であるが、 $b=60\text{ m}$ 、 $S=0.005$ 、 $k=0.5\text{ m/hr}$ を用いた。図-4(a),(b)は、午前8時から午後8時まで表-1にしたがって揚水を行ない、他の時間は停止したときの計算結果(破線)と実測値(実線)とを比較したものである。図-4(a)でD3の実測値の短周期変動は、この観測地点近傍の局部的揚水のためと考えられる。また、図-4(b)のD4の計算値が上昇傾向にあるのは、この周辺における揚水量がもっと多いのか、あるいは局地的に透水係数が小さいためと思われる。しかし、一般的に計算値と実測値との間にはかなりよい一致がみられるので、さらに詳細に検討することができよう。図-5は、表-1における揚水量をすべて2倍とした場合の計算結果を示した一例である。この図より明らかなように、平衡状態を保っていた水位は、低下の一途をたどり、将来の地下水需要増大に対して、なんらかの対策が必要であることが予測される。

以上、地下水層に関する諸定数の仮定のもとに数値シミュレーションを行なったが、実測値とかなり一致する結果が得られた。今後、さらに詳細な研究を行ない被圧地下水の水収支の把握に努めていくつもりである。

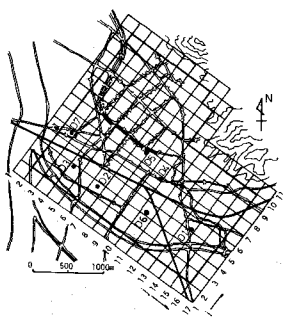


図-2 調査対象地域
および対称格子網

表-1 揚水量

(i,j)	Q(m ³ /h)
(5,4)	200
(5,7)	100
(6,8)	150
(7,8)	200
(7,9)	200
ΣQ	= 850

0:non operation
1:operation.
2,3:boundary
4:pumping station
① observation wells

Figure 3
Numerical Map

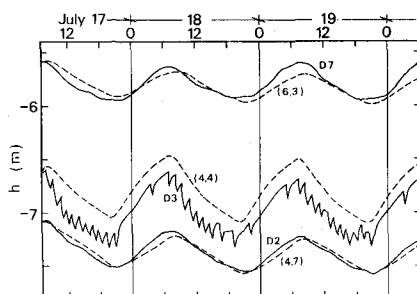


図-4(a) 観測値(実線)と差分近似値(破線)との比較

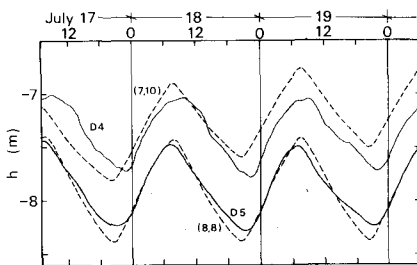


図-4(b) 観測値(実線)と差分近似値(破線)との比較

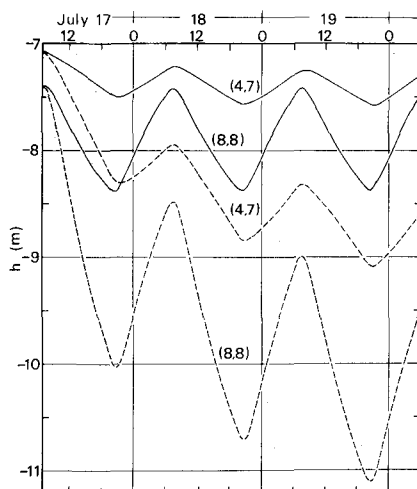


図-5 揚水量の異なる計算結果の比較