III―19

大垣地域地下水流動について（逆解析手法・適正利用規準の考察）

岐阜大学工学部　正会員 ○ 宇野尚雄
岐阜大学工学部　学生会員　岸野英人

1. 概説

岐阜・大垣地域の地下水流動について既に研究してきた目的は当地域における地下水利用の科学的根拠を得ることであり，このため地下水の流動を表現する (1) シミュレーションモデル（以下 SM と仮称する）の作成を才1として始め，研究の経過で新しく (2) 統計モデル，(3) 単純モデル を作成して好結果を得てきた。本報告では実務的な最終段階として検討すべき事項として，モデルの完成のための逆解析手法，モデル解析によって適正利用量を推定する際の規準について考察する。

2. 逆解析手法の考察

大垣地域について試作したSMは図-1に示すように，地形に即した境界条件の設定，格子の選定を行ない，少ない情報であるけれども，地盤構成，揚水実態，観測水位変動，聞き込み調査結果，等々の情報を活用して試作した水平2次元のSMである。透水量係数 T，貯留係数 S，補給項 W を用いて，

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(T\cdot\frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(T\cdot\frac{\partial h}{\partial y}\right)=S\cdot\frac{\partial h}{\partial t}+W \qquad (1)$$

が水頭 h に関する基礎式である。x（東西）方向に $x_{i+1}=\sum\Delta x_i$，y（南北）方向に $y_{j+1}=\sum\Delta y_j$ の差分格子を構成し，

$A=T_{i,j-1}/(\Delta y_{j-1}+\Delta y_j)/\Delta y_{j-1}$，$B=T_{i-1,j}/(\Delta x_{i-1}+\Delta x_i)/\Delta x_{i-1}$，$C=T_{i,j}/(\Delta x_{i-1}+\Delta x_i)/\Delta x_i$，$D=T_{i,j}/(\Delta y_{j-1}+\Delta y_j)/\Delta y_j$

$E=S_{i,j}/\Delta t$，Δt：時間間隔

を用いると，$t_k=k\cdot\Delta t$ により時間をカウントして式(1)は次の差分式に書き改められる。

$$-Ah_{i,j-1}^{k+1}-Bh_{i-1,j}^{k+1}+(E+A+B+C+D)h_{i,j}^{k+1}-Ch_{i+1,j}^{k+1}-Dh_{i,j+1}^{k+1}=Ah_{i,j-1}^{k}+Bh_{i-1,j}^{k}+(E-A-B-C-D)h_{i,j}^{k}+Ch_{i+1,j}^{k}+Dh_{i,j+1}^{k} \qquad (2)$$

式(2)は一般式であり，別に境界条件を付加すると，格子点数 N と同数の方程式が得られる。即ち

$$[A_{\ell m}][h]^{k+1}=[a_{\ell m}][h]^{k}+[W]^{k} \qquad (3)$$

ここに $[h]^{k+1}$，$[h]^{k}$ は $(k+1)\Delta t$，$k\Delta t$ 時刻の水頭，$[A_{\ell m}]$，$[a_{\ell m}]$ は $N\times N$ の正方行列で，$x_i, y_j, T_{ij}, S_{ij}, \Delta t$ の関数である。

地下水位変動は式(2)or式(3)により $[h]^k$ から Δt 後の $[h]^{k+1}$ を計算して，さらに次の時刻の水頭……と逐次計算することにより解析される。

さて逆問題では T あるいは S を未知として最適な値を逆に推論しようとする。このとき N_T の $[h]^{k+1}$ のうち N^*_T が観測されていて，既知であるとする。このとき

(a)　(b)

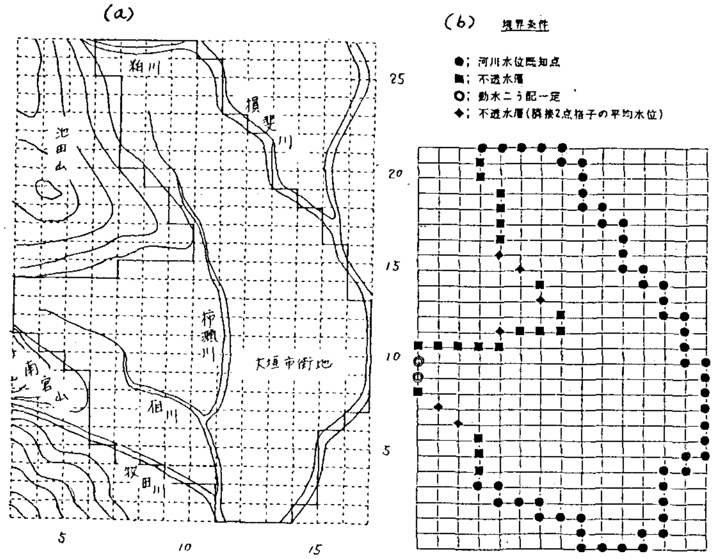

図-1 大垣地域 解析領域

$$z^k=\sum^{N^*}(h^{k+1}-h_o^{k+1})^2 \quad (5),\quad z_a^k=\sum^{N^*}|h^{k+1}-h_o^{k+1}|,\quad (6),\quad Z=\sum^{N_k} z^k \quad (7),\quad Z_a=\sum^{N_k} z_a^k \quad (8)$$

を最小にすべきT（あるいはS）を逆算することが考えられる．N_kは時間経過中のデータ処理回数である．式(5)〜(8)はいずれも1ヶの条件式であるから，NヶのT（or S）を決定できない。式(5) or (6)によりN_kステップの式を別々に連立させると（$N_k \geq N/N^*$），Tが決定できそうである。Tの種類数はN_{TS}として，Nより多くはないので　$N_k \times N^* \geq N$　あるいは　$N_k \times N^* \geq N_{TS}$　であれば，Tが求められる。式(5)などを満足するTを求めるには，T_{N_i}で微分し

$$\frac{\partial z^k}{\partial T_{N_i}}=0,\quad N_i=1,\cdots,N^*;\ k=1,\cdots,N_k \tag{9}$$

を満足する$L=N^* \times N_k$ ヶの方程式

$$[G][T_L]=[C] \tag{10}$$

ここに　$[G]$は$L \times L$行列，$[C]$は$L \times 1$行列

が得られ，これより$N_{TS}(<L)$ヶなるT_Lの透水量係数を求めることができる。

上述した各段階での解析には他にも種々の手法が考えられ，Sun & Yeh (1985)は感度行列$\frac{\partial h}{\partial T}$を用いる手法を展開している。それらの特性を究明して，最適手法を探索したいものである。SM解析に際して通常最も不確実な量は$[W]$であると考えられるが，これについては水位変動の少ない時期の観測水位分布データと定常式の組み合わせから逆算することができる。

一方，多くの場合に仮定に終っている，設定された領域境界条件の検定は難問である。上述した逆解法を念頭に置いて考えると，N^*ヶの観測地点の選択を部分的に境界近傍にすることが有力な手法となる可能性がある。簡明な境界条件は①水位既知（河川境界など），②不透水境界，③動水勾配既知あるいは一定条件であるため，図-1にもこの3種類を選定しているけれども，実際の条件をよく表現しているか否か別の観点，すなわち領域を包括するより大きな水循環の中での再検討も必要であると考えている。

3．適正利用量の推定規準

通常，地盤工学的には地下水位が高いことは不利な条件であって，工事の難しさを増幅するが，一方で水位低下による粘土地盤の沈下や沿岸部における塩害も生じている．一般に"地下水が豊富"といわれる地域では，①地下水位が高い，②揚水すると多量の汲み上げができる，等のことを指している．地下水流動量の多少は透水量係数Tにより評価され，Tが大きいと同量の揚水量でも水位低下は小さい。大垣では既往の施設揚水により市街地域を中心に盆状に地下水位が自然状態に対して2〜3^{m}低下していることが判明している．適正利用量の推定のための科学的根拠とは何であろうか。

地下水環境要因で人為的に制御できるのは水位であるし，利用観点から考えても水位が深すぎなければ"地下水が豊富"というイメージは崩れない．大垣における地下水位は地表面下数mより深くなければ良さそうである．水位により適正利用の規準として，領域内の各地点で許容される最低水位を定めれば，それに応じた利用量がSM解析等により推定できる．もちろん許容される最低水位は"弊害を最小に""利用量増による利益を最大に"すべく，科学的観点から決められるべきものであろう。

参考文献　1) 宇野尚雄・加藤 肇：岐阜・大垣の地下水流動モデルに関する研究，第20回土質工学研究発表会講演概要集，pp.1511〜1514，1985.