

準三次元地下水数値解析

佐藤 喜一郎

1. はじめに

近年のコンピュータ技術の発達により、複雑な自然現象をモデル化し、計算機上で再現する数値解析（シミュレーション）が盛んに行われている。地下水解析においてもその流動現象を数値解析を用いて解析することが多くなってきており、断面2次・平面2次モデル等が開発されている。

さらに、帯水層構造が間に難透水層をはさんだ複合構造となっている場合は、難透水層中を移動する地下水も考慮した準三次元モデルが必要となる。

本論文では宮城県南郷地区の沖積平野を対象に、準三次元モデルを使用して地下水解析を行った例を報告する。

2. 水理地質

既存の地質調査データから、南郷地区の水理地質構造は、第四系（4層構造）および基盤の新第三系を含め、計5層から構成されている。このうち帯水層となるものは上部から第2層（砂層）、第4層（砂～砂礫）、第5層（砂岩・泥岩・凝灰岩）である。

帯水層中の地下水の流れは水平2次元流として表すことができるが、当地区の場合、難透水層を間にはさんだ上下の帯水層どうしの水のやりとりをも考慮する必要があると判断された。そのため、地下水解析モデルとして、帯水層中の地下水の流れを平面2次元流とし、これに難透水層中の地下水の流れを鉛直1次元として加えた準三次元モデルを採用した。

3. 数値解析

3-1 基本式

数値解析は各帯水層ごとに行い、その基本式は次式で表される。

$$S \cdot \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial X} \left(T_x \frac{\partial h}{\partial X} \right) + \frac{\partial}{\partial Y} \left(T_y \frac{\partial h}{\partial Y} \right) + M \cdots \cdots \textcircled{1}$$

h : 地下水位 (m)

T_x 、 T_y : X、Y方向の透水量係数

(m^2/day)

S : 貯留係数

t : 時間 (day)

ここで、Mは単位時間、単位面積当りの正味の付加供給量で、 $M = (\text{浸透量} - \text{揚水量} - \text{漏水量})$ で求められる。式

中の漏水量の項が難透水層中を流れる地下水の量を表す。難透水層の間にはさむ2つの帯水層の水頭を h_b 、 h_d とすると漏水量 $L = \ell \cdot (h_b - h_d)$ で求められる。 ℓ は漏水係数であり、難透水層の透水係数・層厚を K_c 、 B_c とすると $\ell = k_c / B_c$ で表すことができる。

実際に数値解析を実施するときは①式を差分式で近似し、反復法を用いて各時間ステップごとの水位を計算した。

3-2 地下水面への浸透供給量

南郷地区の大部分が水田として利用されているために、解析期間内をかんがい期および非かんがい期とに区分し、それぞれの地下水かん養機構を次のように仮定した。

非かんがい期 (1/1 ~ 4/30、9/11 ~ 12/31)

地下水のかん養源として降水量を考え、降水量から蒸発散量、地表流出量を差し引いた残りを地下水面への浸透供給量とした。

かんがい期 (5/1 ~ 9/10)

この期間の降雨はすべて表面流出するものとし、地下水のかん養源としては水田からの浸透水(減水深)を考え、すなわち、減水深から蒸発散量を差し引いた残りを地下水面への浸透供給量とした。

また、地下へ浸透した水の一部は第1層の土湿不足を補い、残りの水が第2層へ供給されるものとした。

3-3 境界条件

数値解析の対象領域に接する境界部分の地下水条件としては、次のように設定した。

[平地境界] 動水勾配一定。

[山地境界] 地下水の出入りなし。

[河川境界] 河川水位を地下水位として与える。

3-4 計算条件

初期水位は既存の地下水観測データから地下水位等高線図を描き、各解析対象メッシュごとに与えた。計算ステップは解の発散を防ぐために1日単位で行った。

3-5 計算結果

地下水位の変動パターンに大きな影響を与える変数として、透水係数がある。数値解析における透水係数は、既存の揚水試験結果を参考にしながら、試行計算を行って決定した。すなわち、数値計算から得られる計算水位と実際に観測された観測水位の変動パターンを対比し、変動幅・変動周期等が一致するものを当地区の地下水モデルの透水係数とした。その結果は、次の通りである。

A層: $k = 5 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$

B層： $1 \times 10^{-1} \text{ cm/sec}$

C層： $k = 5 \times 10^{-7} \text{ cm/sec}$

D層： $5 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$

E層： $k = 2 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$

図1に観測水位と計算水位とを対比させたものを示す。これによると観測水位と計算水位はほぼ一致した結果が得られている。

観測水位の変動幅は降雨に対応した小刻みな変動を示している。これに対し、計算水位はゆっくりとした変動を示しており、降雨に対応した小刻みな変動は再現できていない。

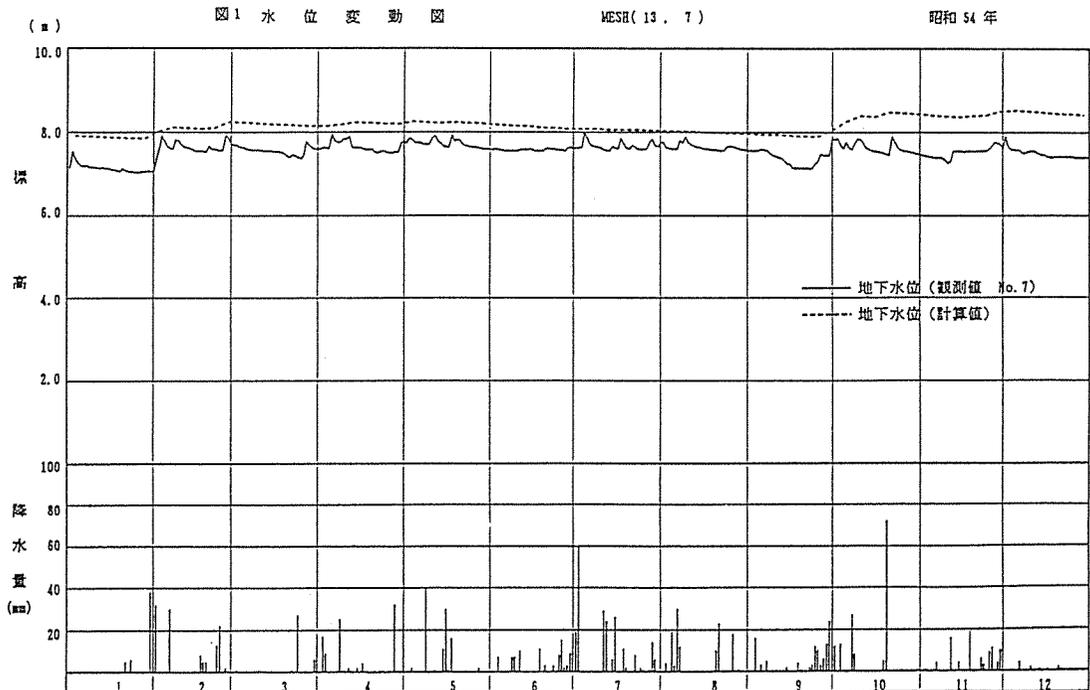
地下に浸透した水の一部は第1層の土湿不足で消費されるため、浸透水の量が少ない場合はすべてこの土湿不足で消費されてしまう。したがって、計

算水位の変動はこうした微少な変動をカットしたものと考えられる。

一方、観測水位の観測孔は第1層中にもストレーナーを設けてあり、第1層の水位の変動も反映されているものと考えられる。

また、数値解析の期間として11年間を設定したが、水位が上昇を続けたり、下降を続けるといった現象はみられなかったことから、ほぼ年間における水収支はバランスが取れているものと考えられる。

以上のことから、当地区の地下水流動モデルとしては準三次元モデルを使用することにより、ほぼシミュレートすることができるものと考えられる。



4. 地下水数値解析における問題点

水理定数の値およびその分布状況を把握することは実際には困難なことが多い。したがって、実際の水位の分布や変動状況に合った水理定数を試行計算から決定することが多い。解析上、水理定数の組合せにはいくつか与えることが可能であり、むやみに数値計算を繰り返すことになる。これを防ぐためには、概略の水収支計算（年間水収支）を行い、水収支のバランスが取れる水理定数の範囲を絞り込んでおく必要がある。

また、数値解析から決定される透水係

数の値は揚水試験等の結果から得られる透水係数の値よりも1～2オーダーほど大きな値を示す傾向にある。これは、本来3次元的な水の流れを2次元として扱っているためと考えられる。したがって、数値解析によって決定された透水係数を用いて揚水量などの計算を行った場合、過大な揚水量を与えることになり、今後の検討課題と思われる。

（娯復建技術コンサルタント）

