

タンクモデルを用いた地下水かん養量の算定方法に関する考察

岡山大学環境理工学部 正会員 竹下祐二
大成建設（株） 正会員 上村佳司
岡山大学大学院 学生員 ○雪本孝則
岡山大学環境理工学部 フェロー 河野伊一郎

1. はじめに

広域地下水問題においては、不圧帯水層における地下水変動を支配する要因として、降雨による地下水かん養量の考慮が必要である。本文では、降雨による地下水かん養量の定量的な把握手法として、タンクモデル¹⁾の適用を試み、降雨と水位変動の計測データから平面2次元浸透流解析に用いる地下水かん養量の算定方法の検討を行った。

2. タンクモデルによる鉛直かん養機構のモデル化

降雨による地下水へのかん養量、ならびに地下水位の挙動を表すために、修正タンクモデル²⁾を基本とした合計4段のタンクモデルを用いることにする。図-1において、1段目のタンクは降雨量、蒸発量、表面流出量および不飽和土中への浸透量を規定し、2、3段目タンクは不飽和領域での降雨の浸透、4段目タンクが地下水面以下での地下水の挙動を表していると考えられる。解析に用いるタンクモデルには、図-1に示すように未知パラメータが16個存在する。それらを同時に推定する手法として、遺伝的アルゴリズム³⁾の適用を試みた。

3. 遺伝的アルゴリズムを用いた鉛直かん養モデルの同定

遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithms、以下GAと記す)は、自然界における生物の進化の過程を模した最適化手法である。GAによる鉛直かん養モデルの同定に際し、タンクモデルの推定すべき16個の未知パラメータの変動範囲を表-1のように設定し、各パラメータの変動範囲を16個に分割することにより、組み合わせ総数が16¹⁶通りのパラメータ群を作成した。GAを用いて、実測水位変動量と計算水位変動量との残差が最小となるように、これらの中から最適なパラメータの組み合わせの探索を行う。本文では、実測値として、関東地方の観測井で平成5年度に観測された一年間の地下水位変動データを用いた。地下水位変動量は一日単位で評価し、前日の地下水位との差を変動量として表す。本文で用いたタンクモデルでは、3段目タンクからの浸透量Q(j)から4段目タンクからの流出量q(j)を引いたものを有効間隙率で割ったものが地下水位変動量ΔH(j)に相当するものと考え、次式で表す。

$$\Delta H(j)=(Q(j)-q(j))/ne \tag{1}$$
ここに、Q(j):j(j=1,2,...,365)日目の3段目タンクからの浸透量
q(j):j(j=1,2,...,365)日目の4段目タンクからの流出量
ne:有効間隙率

なお、有効間隙率は観測水位挙動より0.03と推定した。また、GAにおける残差Rを以下に定義し、パラメータ探索は1000世代まで実施した。この際の残差の変化を図-2に示す。

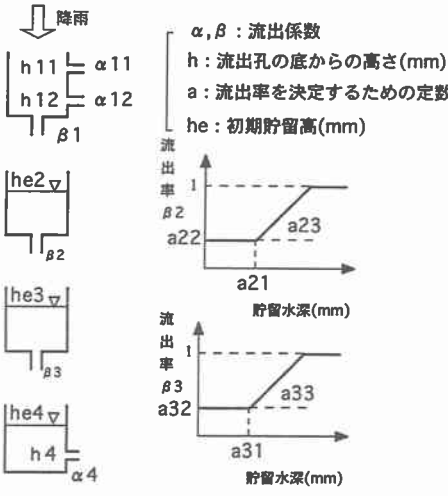


図-1 鉛直かん養モデルおよび未知パラメータ

表-1 未知パラメータの変動範囲および推定値

未知パラメータ	変動範囲	分割数	推定値
$\alpha 11$	[0.01,0.8]	16	0.01
$\alpha 12$	[0.01,0.9]	16	0.2
$h11(mm)$	[30.0,110.0]	16	65.0
$h12(mm)$	[0.0,30.0]	16	0.0
$\beta 1$	[0.01,0.75]	16	0.75
$a21(mm)$	[0.0,60.0]	16	4.0
$a22$	[0.0,0.65]	16	0.3
$a23$	[0.0,0.1]	16	0.01
$he2(mm)$	[0.0,60.0]	16	8.0
$a31(mm)$	[0.0,60.0]	16	36.0
$a32$	[0.0,0.65]	16	0.65
$a33$	[0.0,0.1]	16	0.0025
$he3(mm)$	[0.0,60.0]	16	4.0
$\alpha 41$	[0.0001,0.1]	16	0.03
$h41(mm)$	[0.75,0]	16	40.0
$he4(mm)$	[20.0,320.0]	16	80.0

$$R = \sqrt{\sum_{j=1}^N (\Delta h(j) - \Delta H(j))^2 / N} \quad (2)$$

ここに $\Delta h(j)$: j ($j=1, 2, \dots, 365$) 日目の実測地下水位変動量
 $\Delta H(j)$: j ($j=1, 2, \dots, 365$) 日目の計算地下水位変動量
 N : 実測値総数 ($N=365$)

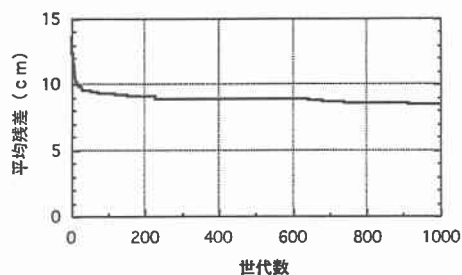


図-2 各世代における残差の推移

タンクモデル未知パラメータの推定に要した時間は、Pentium150MHz-CPUにて約10分である。推定されたタンクモデルのパラメータの値を表-1に示す。推定されたパラメータの推定値を用いたタンクモデルによる豊水期の地下水位変動量の推移を図-3に示す。

4. 平面2次元地下水モデルにおける降雨かん養量の評価

平面2次元地下水シミュレーションの実施に際して、降雨に起因するかん養量の評価方法には種々の方法が考えられるが、ここでは本文で提案する方法の有用性を検討する目的で、次の3種類の方法を用いて日単位の地下水かん養量を算定し、平面2次元浸透流解析に導入した。

- case 1: タンクモデルによるかん養量
- case 2: 観測日降雨量の1/3
- case 3: 観測月間降雨量の日平均の1/3

図-4,5より、タンクモデルにより算定された地下水かん養量は降雨浸透の時間遅れを考慮できており、実測の水位変動挙動も十分に再現できていると考えられる。

5. おわりに

本文で得られた成果を以下にまとめる。

- (1) 降雨データと地下水観測データの解析にタンクモデルを適用し、降雨データに依存したかん養量の経時変化量の算定を試みた。
- (2) 多数のパラメータを有するタンクモデルの同定手法として、遺伝的アルゴリズムの適用を試み、短時間でのパラメータ推定が可能であることを示した。
- (3) 不圧帯水層地盤モデル作成に際して、降雨量の一定量をかん養量として用いる従来の方法に比較して、本文で提案した方法によれば、降雨に起因する地下水変動挙動をより正確にシミュレートできることが示された。

<参考文献> 1)菅原:「流出解析法」,共立出版,1972 2)村上、青木、嘉門:「修正タンクモデルによる鉛直かん養機構のモデル化」,第23回土質工学研究発表会,pp.1841-1844,1988 3)坂和・田中:「遺伝的アルゴリズム」,朝倉書店,1995

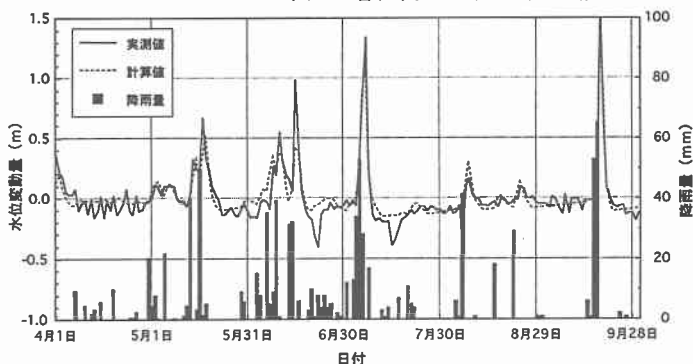


図-3 豊水期の水位変動量

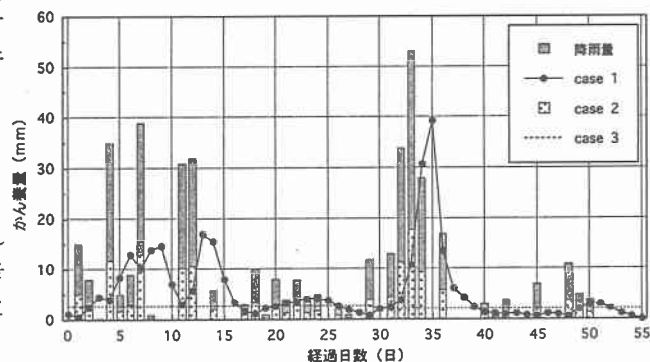


図-4 地下水かん養量の比較

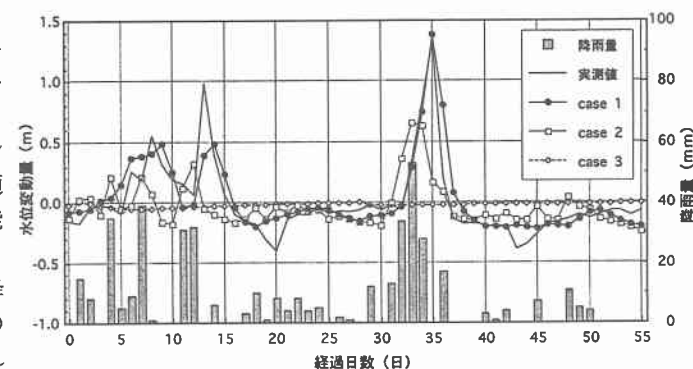


図-5 平面2次元浸透流解析による水位変動量