

灌漑が地下水挙動に及ぼす影響の評価に関する研究 Study on the evaluation of the irrigation effect on the groundwater behavior

福本群*, 北村義信**, 清水克之**, 鳥日楽瑪***

Fukumoto Gun, Kitamura Yoshinobu, Shimizu Katsuyuki, Wurilema

1. はじめに

中国陝西省大荔県に位置する洛惠渠灌漑地区は灌漑面積 32,000ha, 年取水量約 1.6 億 m³, 水路延長 235km の大規模灌漑地区である(図 1)。年平均降水量は 483mm, 計器蒸発量は 1,730mm であり, 半乾燥気候に属する。1950 年代より灌漑が開始され, 主要作物は小麦, 綿花, トウモロコシ, 果樹である。ここでは地表灌漑により浸透損失が大きく, 土壌の塩類化が灌漑開始当初より問題となってきた。このような地域においては, 塩収支を把握するため, また塩類化を引き起こさないような灌漑管理の確立のため, 降雨や灌漑による地下水への涵養や地下水挙動の把握が必要である。本研究では涵養過程を組み込んだ分布型の二次元不圧地下水差分モデルを構築し, 灌漑が地下水挙動に及ぼす影響の評価を行う。

2. モデル開発

2.1 地下水流動モデル

地下水流動モデルは, 不圧地下水を対象とした二次元平面差分モデルである。モデルの支配方程式, 境界条件を表 1 に示す。支配方程式を空間方向に中心差分, 時間方向に無条件に安定である Clank-Nicholson 法により差分近似し, マトリックスの解法には **SOR** 法を用いた。涵養, 排水は水面上部から直接供給・排水されるとする。排水量の計算は, 排水路底標高より地下水位が高いとき, その差に排水路密度と透水性を考慮に入れた排水路係数 k_d を乗じた量が排水されるとする。



図 1 洛惠渠灌区

Luohui Irrigation Scheme

2.2 涵養タンクモデル

地下水流動モデルにおける涵養量 q については, 不飽和帯の水分移動をタンクモデルで再現することにより求めた。タンクは二段とし, タンク一段目は不飽和帯を表す。一段目の水位は降水量, 灌漑量, 蒸発散量, 深部浸透量の収支によって変化する。タンクの限界貯水量を各接点の圃場容水量と不飽和帯の厚さの積とし, 降水や灌漑によりこの限界貯水量を超えた余剰分を深

表 1 支配方程式と境界条件

Governing equation and boundary condition

・支配方程式

$$n_e \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_x (h-b) \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y (h-b) \frac{\partial h}{\partial y} \right) + q \quad (1)$$

n_e :有効間隙率, h :地下水位(m), b :不透水層標高(m)

k :透水係数(m/d), q :涵養・排水(m/d)

・境界条件 $h(x,y,t)=z(x,y,t)$ (2)

・内部境界 塩湖 $h(x,y,t)=z(x,y,t)$ (3)

排水路 $q_{drain}=k_d(h-h_{drain})$ (4)

$z(x,y,t)$:境界水位(m), q_{drain} :排水量(m/d)

k_d :排水路係数, h_{drain} :排水路底標高(m)

*(株)三祐コンサルタンツ(Sanyu Consultants Inc.) **鳥取大学農学部(Faculty of Agriculture, Tottori Univ.) ***鳥取大学連合大学院(The United Graduate School of Agricultural Sciences, Tottori Univ.)

キーワード: 半乾燥地, 不圧地下水, 涵養タンクモデル

部浸透量として、タンク二段目へ供給されると考える。二段目では水位に減衰係数を乗じた量が地下水流動モデルにおける涵養量 q として算出され、残りはタンク内に貯留される。蒸発散量の算定にはまず Pan 蒸発量に Pan 係数 k_{pan} を乗じた基準蒸発散量を求め、水分ストレス係数 k_s を乗じて蒸発散量とする。本モデルでは k_s を、タンク一段目の水位が生長阻害水分点以上のときは 1 とし、生長阻害水分点から永久しおれ点までの間を線形に 0 まで変化させる。

3. 計算結果の妥当性

$\Delta t=1d$ ととり、2002 年 1 月 1 日から 2006 年 12 月 31 日までの 5 年間を対象として計算を行った。妥当性の評価には図 1 に示した観測井 No.45, No.2, No.64 において得られた水位を用いる。図 2 に結果を表す。No.45, No.2 といった浅い箇所では水位の上昇やその減衰過程を再現できていると考えられる。一方で No.64 のような深い地点においては定性的にのみ再現している。これは初期値の差が大きく影響しているためである。以上により、特に塩類化に対して問題となる地下水の浅い地点においては本モデルにて地下水挙動を再現できている。

4. 灌漑による地下水位変動の影響評価

計算条件として、灌漑スケジュールと灌水量が必要である。ここでは有効土層を 50cm と想定し、この有効土層内の土壤水分がしおれ点に達した時点において、圃場容水量までの消費水分の補給を行う。ただし、200m~300m にもおよぶ現地圃場で地表灌漑が行われていることから、適用効率を case1 として 40%，case2 として 60% と仮定し、損失量を考慮して灌漑水量を決定する。計算期間を 365 日として数値実験を行った。その結果を図 3 に示す。case2 では各観測点において大きな水位の変動はなく、ほぼ安定している。一方、case1 のように適用効率が低い場合においては涵養による水位の上昇が全箇所にて明確に現れている。No.2 や No.64 のような下流側においては計算終了時では初期値より 1m 以上高い状態となった。以上のように、適用効率が低い case1 の場合では十分な排水が期待できないことがわかる。灌漑時間の短縮を図ることにより浸透損失を少なくするなど、地下水位へ与える影響を小さくする必要がある。

5. おわりに

涵養過程を組み込んだ二次元不圧地下水流動モデルを開発した。中国洛恵渠灌区にモデルを適用した結果、特に地下水の浅い地点においてはその挙動を良好に再現できた。また、灌漑による地下水位の影響評価を行い、適用効率が 60% の場合では地下水位が安定し、40% の場合では地下水位を大きく上昇させる結果を得た。

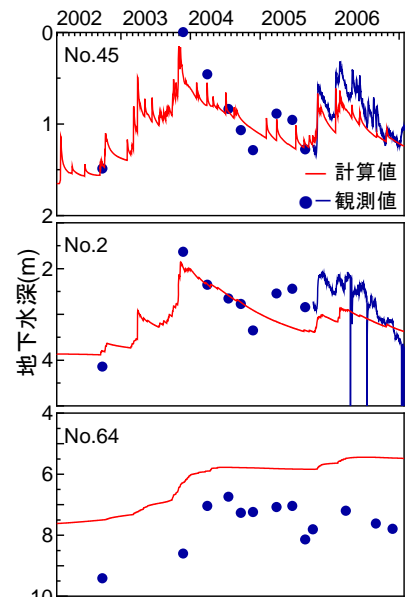


図 2 観測値との比較

Comparison between observed and modeled groundwater depth

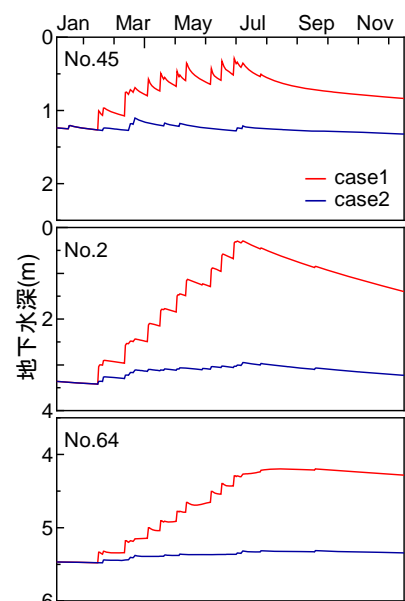


図 3 数値実験結果

Simulation result of groundwater behavior