

乾燥地における広域表面流・地下浸透流解析と不飽和流のモデル簡便化 Regional Surface and Subsurface Flow Analysis in Arid Area and Simplification of Unsaturated Flow Model

○ 浜口 俊雄* ・ 川久保 愛太** ・ 中北 英一*
Toshio HAMAGUCHI, Aita KAWAKUBO and Eiichi NAKAKITA

1. はじめに

広大な領域を考察対象とする場合、水文解析では観測点のスカラー的流出特性(流出量, ピーク時刻など)の再現性を重んじるため、集中型モデルでは流域全体をタンクモデル・貯留モデルなど1つの等価流出システムに置換して、分布型モデルでは主に流出特性で分類した複数の土壌層を設けて各々計算することが多く、現実に則した地質構造(飽和不飽和浸透特性)を水文解析に反映させているとは限らない。しかし近年、同じ広域でも上述の地質構造を持った分布型流出モデルの需要が増えている。その需要に応じたモデルは、水平方向を表面流速や地下水流速

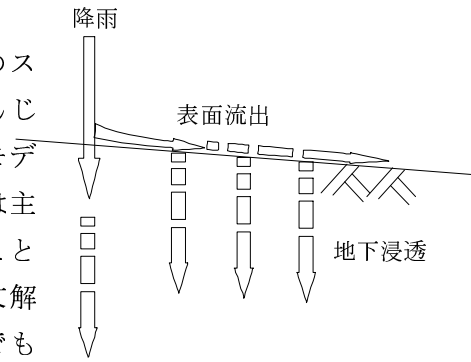


Fig.1 Schematic of surface and subsurface water flow
表面流・地下浸透流の概念

に合わせて、鉛直方向を不飽和流速に合わせて各方向の分割サイズを決めねばならないが、両流速にはオーダー的差異が生じているため、解析結果を安定させる工夫が必要となる。さらに広域であれば水平分割サイズが数kmと非常に大きくなり、時間ステップも工夫せねばならない。本研究では、不飽和流を簡便化したモデルの利用を提案し、数値実験を通して同モデル利用時の流出再現性向上に必要な条件を検討する。

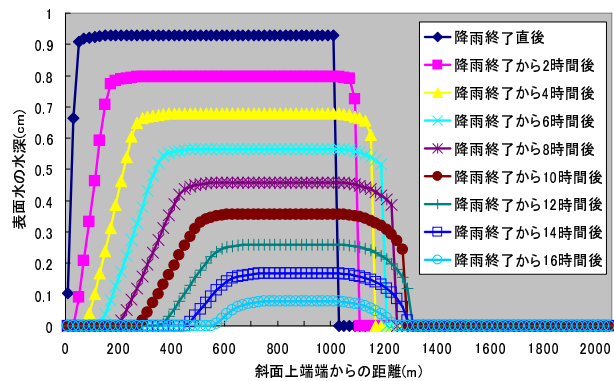


Fig.2 Distribution changes at surface water depths
表面水深分布と変化

2. 表面流モデルと地下浸透流モデル

広域であることを考慮して、表面流モデルにKinematic waveモデルを、地下浸透流モデルに三次元飽和不飽和流モデル(Richardsモデル)を用いる。ただし乾燥地の流出特性を考慮し、中間流出による表面流への影響は無いものとする。これらを連成して解析すればよいが、先述のとおり計算安定化を図るべく領域分割サイズの水平鉛直比や、両者の時間ステップ比を調整することで対応する。

3. 乾燥地における表面流出と分割サイズ

いま広域乾燥地において、1領域内に発生した表面流出水が到達する最遠位置を数値実験で確認する。仮想領域は全長2km, 層厚は8m一様, 勾配1/10とし, USGSによる表層土壌区分情報を基にロームの土壌特性値諸元を与えた。十分湿った初期状態から, モデル降雨として斜面上半分の領域に10mm/hrの降雨を1時間降らせ, 発生した表面流とその浸透状況を調べた。その結果をFig.2に示す。表面流は途中で浸透されながら約1300m地点まで流下して消えた。これより広域の乾燥地で数km(2~10km

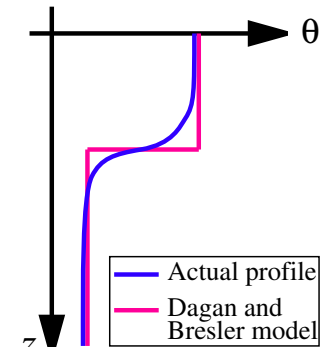


Fig.3 Equivalent profile of soil moisture contents
等価水分分布による鉛直水分分布の近似

*京都大学防災研究所 (Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University)

**京都大学大学院工学研究科 (Graduate School of Engineering, Kyoto University)

キーワード: 広域地下浸透流, 不飽和流, モデル簡便化

程度)の大きな水平領域分割を行った場合の地下浸透量は、砂よりも透水性の低いロームであっても表面流の発現範囲が1つの分割サイズ以内に収まるため、降雨が1分割領域内に全て一様に浸み込んだ浸透量にほぼ等しいと言える。

4.DBモデルによる広域地下水解析

仮想領域は全長100km、透水層厚50m、基盤高-5m、透水係数 3.38×10^{-4} cm/secとした。水平分割間隔は5kmとし、斜面下流端に定水位境界0mを与えた。Richardsモデルによる広域飽和不飽和流解析では、1.節や2.節に述べた水平・鉛直分割サイズ比の問題があって安定した計算には同分割サイズ調整などの作業が必要になる。本稿ではモデルを表面流・不飽和流・平面地下水流に分けることで対応を図り、その上で不飽和流解析の簡略化・安定化のため、Dagan and Breslerの提唱する簡便化モデル(DBモデル)¹⁾の導入を提案する²⁾。このモデルはFig.3の様に降雨イベント毎の降雨浸透を等価水分分布で近似したもので、平均不飽和流束は降雨強度と等しい。このモデルを複数の降雨イベントに適用する場合は各降雨イベントの等価水分分布モデルを重ね合わせることで同分布状態を表現する。

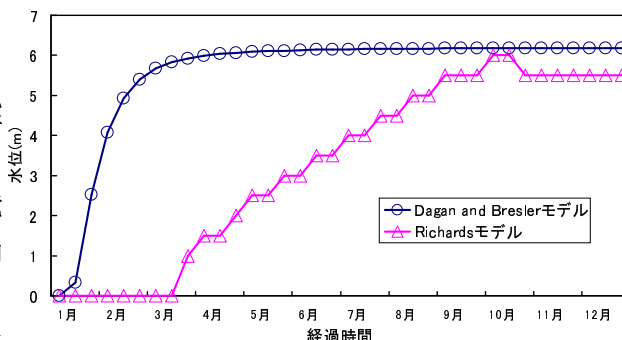


Fig.4 Changes in groundwater levels by DB models
DBモデルによる地下水位変動

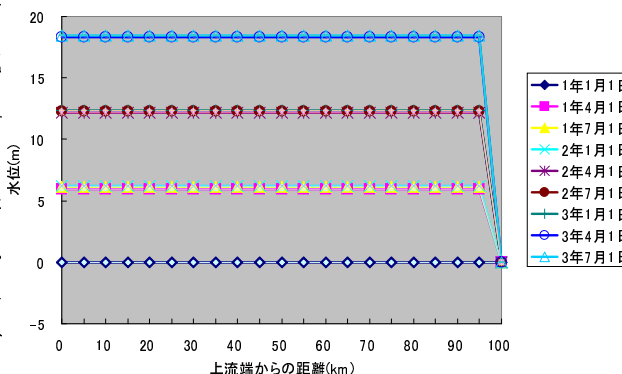


Fig.5 Distribution changes in groundwater levels
地下水位分布の変動

計算期間は1月1日から1年間とし、その時のモデル降雨は1月にだけ1mm/hrの降雨を一様に与え続けるがそれ以外は無しとして、DBモデルとRichardsモデルの涵養量評価の違いを地下水位で比較検討した(Fig.4)。それぞれの涵養期間はRichardsモデルの場合が3月中頃～10月頃で、DBモデルの場合が1月中頃～4月頃であった。DBモデルでは平均流束と降雨浸透との関係を近似的に簡便化したため地下への浸透量が過大になり、涵養もRichardsモデルの場合に比べて早く始まったと推測される。したがって、この提案手法では浸透能に対する浸透強度を正しく定める必要がある。

次に計算期間を3年とし、上記実験に同じモデル降雨を3回繰り返した。DBモデルによる水平一次元地下水解析の結果をFig.5に示す。同図から、涵養のある時期だけ水位が約6mずつ上昇し、涵養の無い時期には、本来下流端(定水位境界)から流出していく一方で水位が下降してしまうが、ここではほとんど変化しなかった。これは、仮想領域の全長が100kmと長いため、涵養による地下水増水分が下流端に到達して流出し始めるには百年以上の長期解析が必要であると言える。

5. 結論

乾燥地の広域表面流・地下浸透流解析に対して、モデルを表面流・不飽和流・平面地下水流に分け、不飽和流に簡便化したDBモデルを導入して数値実験を試みたところ、浸透強度が過大評価されている点だけが問題であることがわかった。なお本研究は、RR2002「広域水循環予測及び対策技術の高度化(研究代表者：植田洋匡)」の補助を受けて行った。ここに記して深謝の意を表します。

参考文献

- 1) Dagan, G. and Bresler, E. : Unsaturated Flow in Spatially Variable Fields, 1. Derivation of Model of Infiltration and Redistribution, Water Resour. Res., Vol.19, No.2, pp.413-420, 1983. 2) 原田 守博 : 不均質場における不圧地下水状態の時空間変動過程に関する研究, 名古屋大学学位論文, pp.55-94, 1989.