

広大な乾燥地帯を対象とした表面流・地下水流連成解析の問題点と打開策

○ 浜口 俊雄・川久保 愛太・小尻 利治・Sina Nasouhi・中北 英一

1. 序論

水文学においては、集中型と分布型の2種類の流出モデルが考案されている。集中型モデルは、対象流域内の流出特性を均一と見なすことで、流域最下流点での流出の時間的変動に関して許容範囲の精度で平易に再現計算できる点に特化させたシステムである。これに対して分布型モデルは、対象流域内の不均一な流出特性分布を空間的に表現することで、流域内の流出の時空間的変動を比較的高精度に再現計算できるシステムである。表面流の分布型モデルとしては、例えば、kinematic wave法(特性曲線法)が挙げられる。更に大まかであるが、地表面を(i)小流域に分割する[河川網型]、(ii)水文特性に依存して分割する[分類型]、(iii)単純な網状格子を用いて分割する[メッシュ型]ような各種アプローチに分かれる。更に流出予測精度の向上を目指して鉛直方向にも分割を考える場合、(a)地表面を境界として単純に地上と地中の2層に分割する[2層型]、(b)地中を水文特性に合わせて複数の層(例えば地上・表層・中間層・流出に関わる帯水層・流出無関係の帯水層)に分割する[多層型]などのアプローチがある。

2. 表面流・地下水流連成モデル

同モデルの代表例に上記(iii)と(b)を採用した小尻らのhydro-BEAM¹⁾がある。水文特性を算出する分布モデルとして秀逸であるが、まだいくつかの問題があり、議論の余地もある例えば、実際の地層をベ-スとしないで水文特性別のA~D層を鉛直分割に採用すると、そのモデルパラメータ値が現場計測したパラメータ値とは合致しにくいのは周知の事実である。本研究ではこの点を改善すべく、地表水と地下水の結合モデルおよび工夫した解析方法を提案することを目的とする。この解析を難しくしているのが地表水と地下水の流速のオーダー的差異や不飽和流の挙動から生じる水平・鉛直メッシュサイズ整合にある。異なる流速を同時に扱う問題で精度良く数値計算を行うためには、遅い流速に合わせてメッシュを生成せねばならないがそれでは広域には細かすぎる。また地下水流の他に不飽和流の流速も考えた鉛直メッシュを考えねばならない。この様な3次元的検討では、水平方向に対する鉛直方向のメッシュサイズ比が大きくなり過ぎて数値解が求まりにくくなる。

3. 広域を対象とした場合の打開策

広域解析に上述の結合モデルを用いる場合、水平メッシュサイズや、鉛直方向とのサイズ比は更に大きくなって、数値解析にはますます悪条件となる。これを打破する手段としては水平メッシュサイズと鉛直メッシュサイズが互いに依存せずに解析できる単純な近似手法が適当である。不飽和流を簡略化することで、表面流・地下水流がそれぞれのモデルのみで解析できるように独立計算化した近似モデルを考えればよい。実現すれば先述の流速オーダーの差異を考える必要もなくなり、解の安定性

や精度も確保されて、上述の難問を克服できる。

4. 不飽和浸透流モデルと簡便化

従来の不飽和浸透流モデルは、主に負圧 ψ と体積含水率 θ の関係を関数で表した土壌水分特性曲線に対して計測データを基に当てはめているか、計測データを折線状に結

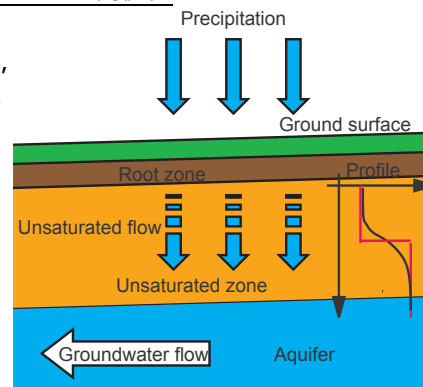


図1: 不飽和流モデルの簡便化

合させた形で使っているかのいずれかである。さらに精密に考える場合は水分特性のヒステリシスもモデルに組み込んだものにすればよい。これらはいずれも同曲線上から対応値を逐次算出せねばならないために不飽和浸透域の計算負荷を増大させてしまう傾向にある。Dagan and Breslerは不飽和浸透流の簡便化モデルを提案した²⁾。これは重力排水完了後の不飽和帯の水分鉛直プロファイルを単純なパターンで表したもので、各時刻毎に浸潤層(θ が圃場容量以上)の θ が均一に一定値 $\theta_c(t)$ で満たされ、不飽和帯の浸潤層下層は θ が圃場容量のみに設定されるプロファイルの等価モデルである。これよりRichards式よりも容易に不飽和浸透流の挙動が表現できる。ただし、同モデルは、不飽和帯の鉛直水分移動量や滞留量が地表流量や地下水流量に比べて、あまり大きい量となっていないことが前提である。また、乾燥地を対象とする場合、不飽和浸透流は鉛直流動が水平流動(水力学的分散や拡散現象も含む)よりも卓越しているため、Dagan and Breslerの鉛直一次元モデルを使うことができ、本来連成的な表面流と地下水流の挙動が上方から順に個別計算してよい非連成解析になる。

5. 結論

以上より、広大な乾燥地を対象とする場合、不飽和流モデルにDagan and Breslerの鉛直一次元モデルを用いることで表面流解析と地下水流解析を結合しながら独立して計算できるようになり、表面流と地下水流の結合した分布型水文解析においては、各流速の差異から来る水平メッシュサイズや時間ステップの決定問題、不飽和帯と帯水層との鉛直メッシュサイズの扱い変化問題などが、全て考えなくてよいということになる。数値解析例については発表時に示す。本手法は広大な乾燥地に対して簡便ながら非常に有効なアプローチであると言える。

参考文献

- 1) 小尻利治, 東海明宏, 木内陽一: シミュレーションモデルでの流域環境評価手順の開発, 京都大学防災研究所年報, 第41号B-2, pp.119-134, 1998.
- 2) 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.