

疑似 3 次元モデルを用いた宮古島白川田流域の流動解析

Seepage flow analysis of Shirakawata basin in Miyakojima using pseudo-3D seepage flow model

酒井 一人*、吉永 安俊*

Kazuhito SAKAI, Anshun YOSHINAGA

1. はじめに

広域の地下水流動のモデルは水平 2 次元飽和浸透流モデルが一般的であり、地下水流のみをシミュレーションするだけなら問題はない。しかし、宮古島における地下水の硝酸性窒素汚染のような問題の場合、不飽和帯における水分および溶質の挙動の把握が重要であり、飽和域のみを考慮した水平 2 次元飽和浸透流モデルでは十分な解析ができない場合がある。宮古島における硝酸性窒素汚染は、農地に施用される化学肥料が最大の原因だとされているが（中西，2001）、硝酸性窒素のような汚染物質は、主に不飽和域において脱窒などにより量的、質的に変化すると考えられる。また、地表面近くに施肥された窒素の到達速度など不飽和域を考えなければ十分に表現できない。このように、汚染物質の不飽和域での挙動が地下水質を考える上で重要になってくるため、不飽和域も考慮した地下水流動モデルが求められている。

不飽和域を含んだ完全 3 次元による飽和不飽和浸透流解析があるが、計算規模が大きく、パソコンが発達した現在においても、計算量を軽減するための工夫が必要となる。広域の流域を対象とした長期間のシミュレーションを行う場合はより規模が大きくなりさらに困難になる。したがって完全 3 次元による広域の地下水流動解析は実用的ではないのが現状である。

このような問題に対して、臼井（2001）の構築した疑似 3 次元浸透流モデルを構築した。しかし、このモデルの広域集水域への適用例はな

い。そこで本研究では、疑似 3 次元モデルの広域流域への適用性を確認するため、宮古島の白川田水源流域においてシミュレーションを行った。また粒子追跡法による物質移動解析により、広域流域での物質移動の特性を明らかにした。

2. モデル概説

疑似 3 次元浸透流モデルとは、不飽和域を鉛直 1 次元不飽和浸透流で、飽和域を水平 2 次元飽和浸透流で計算し、それらを連続条件により組み合わせたモデルである。鉛直 1 次元不飽和浸透流をガラーキン型有限要素法により解き、飽和面の位置を求める。次にその得られた飽和面から水平 2 次元飽和浸透流を連続条件の下再びガラーキン型有限要素法を用いて解き、飽和域・不飽和域間の水分の移動量を計算する。それらの結果が十分に一致するまで繰り返し計算を行うことにより各時間の地下水面形が決定される。

また物質移動に関しては不飽和域と飽和域を統一的に扱える粒子追跡法を採用した。粒子追跡法では疑似 3 次元モデルにより計算された流速により物質の移動が計算される。不飽和域での拡散は小さいと考えられるため無視することとし、不飽和域では移流の効果のみを、飽和域では移流とランダムウォーク法による拡散の効果を検討した。

3. シミュレーション

対象流域は宮古島最大の飲料水源である白川田水源流域とした。有限要素法による計算を行

*琉球大学 農学部, University of the Ryukyus

キーワード：疑似 3 次元浸透流モデル、有限要素法、ランダムウォーク法

うため、三角形からなる 65 個の要素に分割した (Fig 1)。その際には、地下水変動の激しいところでは要素を小さくする、要素の形状は出来るだけ鋭角三角形にする、地形や地質などを考慮して領域の境界を定めること等に留意し要素分割を行った。地表面及び不透水基盤上面の標高は、調査されている点ではその値を、それ以外は 25,000 分の 1 の地形図などを用いて既知の値から考えられる値とした。降雨条件として宮古島市で観測された降雨データを用い、境界条件は白川田水源に位置する節点において水位を一定として計算を行った。また土質は領域内で一様と仮定し、飽和透水係数などの土壌の水分特性パラメータはそれぞれ代表的な値を用いた。

また物質移動解析では全要素の重心の座標に、様々な深さでいくつかの粒子を設置し、その挙動を解析した。

3. 結果および考察

以上のような条件で地下水流動を計算した結果、地下水位分布は湧水地点である白川田湧水の地点に向かって緩やかな勾配で、条件として与えた地形から考えられる十分妥当な結果を得た。また流況を見るため流速ベクトル図を以下に示す (Fig 2)。これを見ると、ほぼ全領域で白川田湧水のある節点に向かってのわかる。また湧水の節点から遠いような領域の

端では流速が小さく、湧水に近づくほど流速が大きくなっている。

次に物質移動解析では、不飽和域と飽和域での移動に大きな差があった。飽和域では 1 年も経過すればほぼ全領域の粒子が湧水地点に集まってくるが、不飽和域では 1 年で数メートルしか進まない粒子もあった。飽和域での粒子の移動の様子を以下の図に示す (Fig 3)。湧水に近い場所では 1~2 ヶ月で湧水に達するが、領域の端では粒子の移動がほぼないことがわかる。したがって場所による物質移動の違いがあることが明らかになった。すなわち地表での影響が即時的に湧水の水質として現れる場所と、数年以上もの時間を経てかなりの遅れをもって影響が現れる場所があると考えられる。



Fig.1 Finite element meshes

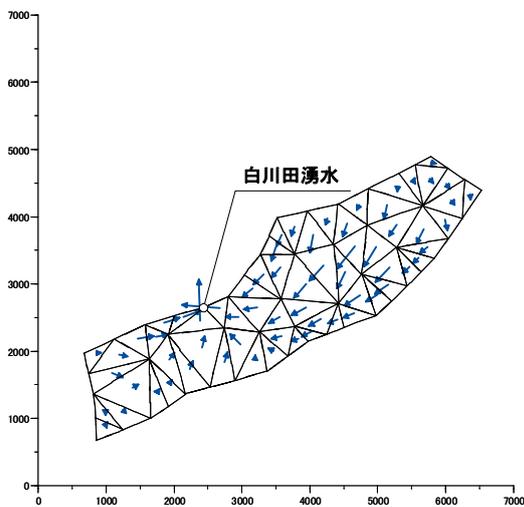


Fig.2 Flow direction

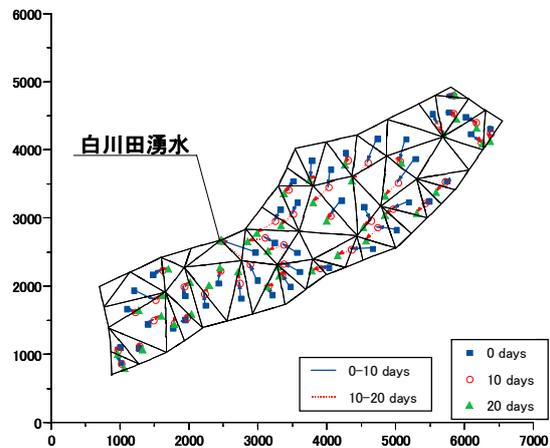


Fig.3 Particle movement