

第II部門

カトマンズ盆地における水資源評価のための地下水流動モデルの構築

京都大学工学部 学生会員 ○大矢尚人  
 京都大学大学院工学研究科 正会員 市川 温  
 京都大学大学院工学研究科 正会員 萬 和明  
 京都大学大学院工学研究科 正会員 立川康人

1 序論 発展途上国における急激な人口増加と都市開発による環境汚染やインフラ整備の遅れは深刻な問題である。ネパールの首都であるカトマンズにおいても、人口の増加から水資源が逼迫しており、また下水道システムが十分に機能していないことから河川水の汚染が著しい。このため、住民は比較的良質で入手しやすい地下水を多く利用している。これらの背景から地下水の流れを知ることは重要であり、本研究では地理データや水文気象データをもとにネパールカトマンズ盆地における地下水流動モデルを構築し、モデルによる計算値と観測値を比較するとともに、種々の境界条件が計算にどのような影響を与えるかについて検証した。また、現地の観測値の妥当性についても検証した。

2 地下水流動モデル

2.1 基礎式 本研究では地下水流動モデルとしてUSGSが開発したMODFLOWを用いた。(1)式にMODFLOWの基礎式を示す。

$$\frac{\partial}{\partial x}(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z}) + W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

ここで、 $K_{xx}, K_{yy}, K_{zz}$ :  $x, y, z$  方向の透水係数、 $h$ : ピエゾ水頭、 $W$ : 涵養量、 $S_s$ : 比産出率、 $t$ : 時間である。この微分方程式を有限差分法で数値的に解き、地下水のピエゾ水頭を計算する。

2.2 カトマンズ盆地の地下水流動モデルの構築 図1はカトマンズ盆地の土地利用の分布である。山梨大学が収集した地理データの中から地表面の標高データおよび各帯水層の厚さのラスターデータを用いてラスター演算を行い、基盤面の標高データを作成した。また、河川のポリラインデータの中から主要と思われる河川を選別し、その河川水位を地下水の定水位として設定した。境界条件として地表面からの浸透量は降水量の70%と仮定し、蒸発散量はBrutsaert & Strickerの補完関係式およびThornthwaite法の式を用いて推定した値を用いた。周辺山地部からの横流入量はカトマンズ盆

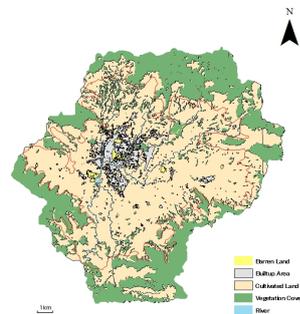


図1 カトマンズ盆地

表1 モデル構築に使用したパラメータ

パラメータ	値
透水係数 $K_x$	$1.0 \times 10^{-4}$ [m/s]
透水係数 $K_y$	$1.0 \times 10^{-4}$ [m/s]
透水係数 $K_z$	$1.0 \times 10^{-5}$ [m/s]
比産出率 $S_s$	$1.0 \times 10^{-5}$ [1/m]

地中心部の水収支から求めた値を用いた。パラメータはVisual MODFLOWで標準とされている値(表1)を使用した。計算セルの大きさは250×250mとした。

3 モデルの適用と分析 初期水頭は地表面の標高値として10年間のシミュレーションを行った。観測地下水位には季節的な変動があまり見られないため、年間通して平均的な地下水位に着目する。10年間のうち9年間の計算で定常状態にして、最後の一年間の計算値の平均水位を計算水位とした。図2はMODFLOWによる計算水位の分布である。また、図3は計算水位と現地の井戸で観測された地下水位を比較したものであり、全体的に計算水位が上回っていることが分かる。この要因として、境界条件として与えた値が適切でない、あるいは観測値の精度が十分ではないことが考えられる。そこで、この計算結果を基本として(以下基本モデル)、境界条件と観測値の検証を行う。

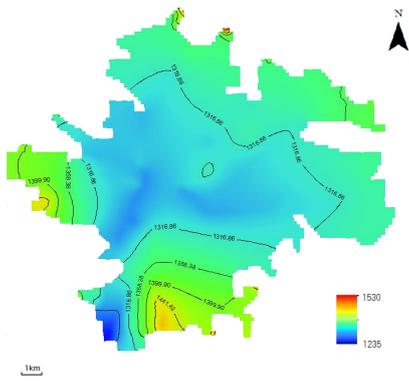


図2 計算水位の分布

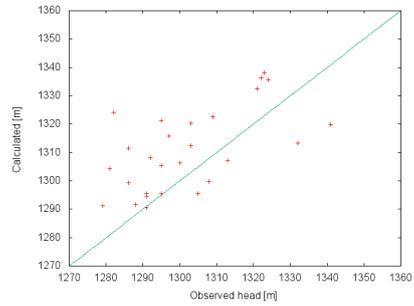


図3 モデルの計算結果と観測値との比較

**4 境界条件の検証** 図4は基本モデルと各境界条件を変更した結果との比較である。図4(a)は浸透域・難浸透域を考慮したものである。カトマンズ盆地の土地利用に応じて浸透域・難浸透域を定め、浸透域では降水量の80%が、難浸透域では10%が浸透するとした。水位が高い地点ではわずかに値が増加しているが、大きく変化していないことが分かる。また、横流入量を増加させたところ、全体的に水位が増加傾向にあるものの計算水位に与える影響はさほど大きくないことが分かった。図4(b)は河川を新たに追加したもので、カトマンズ盆地全体にわたって水位が増加しており、境界条件として用いる河川水位の与え方によって計算水位が大きく変わることを示唆している。これらの結果から、河川水位の与え方に特別な注意を払わなければならないことが分かる。

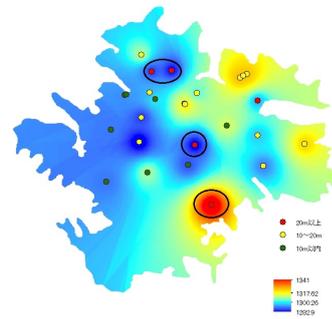
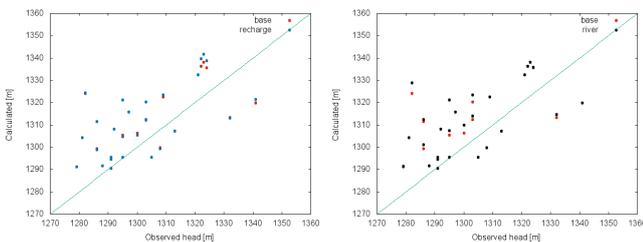


図5 井戸で観測された地下水位(井戸以外の地点では内挿値)および井戸地点における計算水位と観測水位の差(丸印)



(a) 浸透量の与え方の違いによる地下水位の変化

(b) 河川水位の与え方の違いによる地下水位の変化

図4 基本モデルと種々の境界条件を変更したモデルの比較

**5 観測地下水位の検証** 現地で観測された地下水位の中には、ひと月で約20 mの変動を示すものや地表

面からの深さが90 mと記録されているものがあり、地下水に関する一般的な知見とやや異なっている。図5は観測地下水位とモデルの計算結果の空間分布を比較したもので、水位の差が大きい地点で観測された地下水位は、周辺の地下水位に比べて極端に高いか低い傾向が見られた。モデルによる計算値が正しいという保証はないが、観測値の精度も十分ではない可能性が考えられる。観測データの精査と精度の高い地下水位の観測が必要であると思われる。

**6 結論** 本研究では、ネパールのカトマンズ盆地を対象に、現地で観測されたデータをもとに地下水流動モデルを構築した。モデルによる計算水位と観測水位を比較したところ、全体的に計算値が過大となった。また、種々の境界条件を変更して適用したところ、河川水位が計算結果に与える影響が大きいことが明らかとなった。さらに、観測地下水位とモデルの計算結果の空間分布を比較したところ、観測値の精度が十分ではない可能性があることが明らかとなった。