

黒部川扇状地を対象とした地層構造の変化が地下水流動に与える影響

富山県立大学工学部
富山県立大学工学部

学生会員 ○ 北 隆平
正会員 手計 太一

1. はじめに

黒部川扇状地では多くの湧水地点が存在し、飲料水などの生活用水や工業用水に使われている。豊かな水を生かした環境づくりと地下水の保全に向け、地域住民・事業者・行政の三者が協働し、積極的な地下水保全策が推進されている¹⁾。

近年、黒部川扇状地における観測井に地下水位が統計的に極めて有意に漸減していることがわかっている²⁾。地下水位の低下などから、塩水化や地盤沈下といった地下水障害がおこる可能性がある。地下水を適切に管理するためには地下水をデータ化し、地下水流動のメカニズムを把握する必要がある。

本研究では、地下水モデルの精度向上を目的に逆解析法を利用して地下水理パラメータを推定し、その結果を利用して地下水位を算出し、観測値と計算値の比較を行った。

2. 対象地域

図-1 に黒部川扇状地と観測井戸の位置を示してある。黒部川扇状地は、急流河川である黒部川が作り出した富山県の扇状地である。本扇状地は扇頂(愛本)から黒部川河口まで約 13.5 km、頂角約 60°, 面積約 120 km²、勾配約 1/100 を有している。地下水の帯水層を構築しているのは第四系の砂礫層などであり、その基盤をなしているのが新第三系の砂岩または泥岩となっている³⁾。

3. 地下水モデルの構築

3.1 支配方程式

本研究では、アメリカ合衆国地質調査研究所(USGS)が開発しソースコードが公開されている

MODFLOW を利用して非定常 3 次元地下水モデルを構築した。支配方程式は、(1)の質量保存則と(2)のダルシー則から、(3)の偏微分方程式で導入できる。

$$\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} = -S_s \frac{\partial h}{\partial t} + R^* \quad (1)$$

$$q_x = -K_x \frac{\partial h}{\partial x}, q_y = -K_y \frac{\partial h}{\partial y}, q_z = -K_z \frac{\partial h}{\partial z} \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} + R^* \quad (3)$$

ここで、 K : 透水係数(L/T), S_s : 比貯留率(L⁻¹), R^* : 吸い込み/湧き出し項(T⁻¹), h : 水理水頭(L)としている。空間と時間に有限差分法を用いる。

3.2 地下水モデルと境界条件

モデル領域は、境界条件の影響を受けないように実際の扇状地よりも広く 16 km×16 km と設定した。

涵養量は、魚津と泊(AMeDAS)の日平均降水量に水田の湛水深を加えた値を用いた。水田の湛水深は、富山県農林水産部と黒部農業協同組合が農業事業者に推奨している値を使用した。

流動境界条件は海(観測潮位)と黒部川(愛本観測所の日平均水位)を設定した。また黒部川流域の上流域からの地下水の供給を想定して、既往文献⁴⁾を参考に、地下水位を設定した。

図-1 に示す金屋、三日市、黒部川出張所は黒部市市街値の中心部に位置しており、冬季における消雪用水によって、地下水位に大きく影響している。また、園家と生地は被圧地下水である。計算地点はこれらの 5 地点を除いた 14 地点を対象とした。

3.3 モデルの地層構造

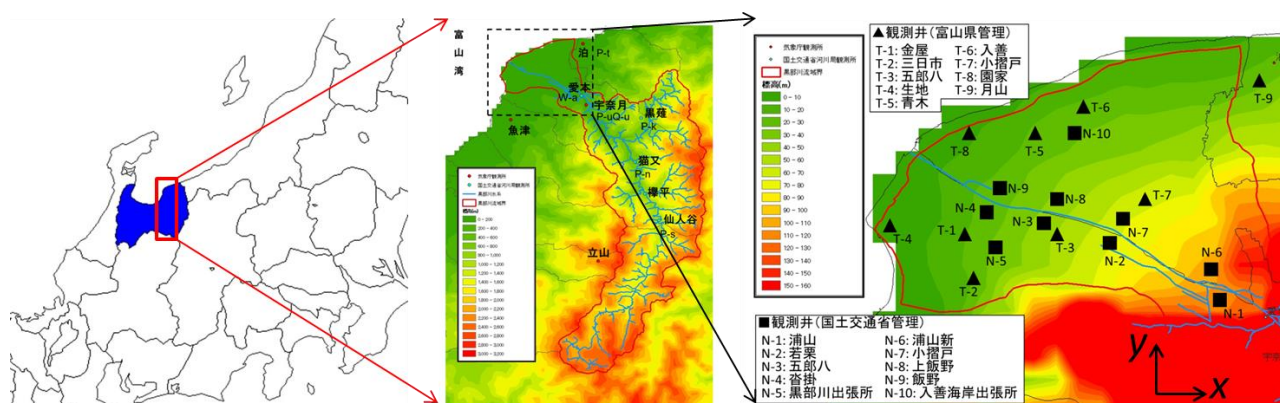


図-1 黒部川扇状地と観測井戸の位置図。

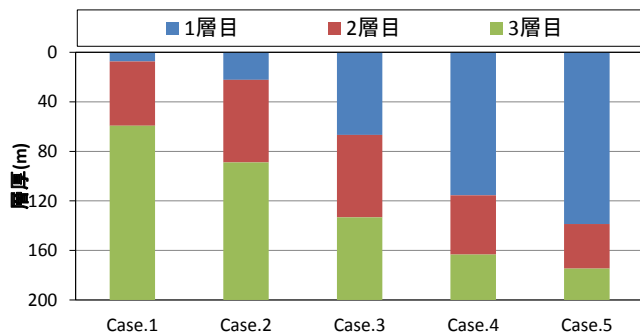


図-2 各 Case の層厚

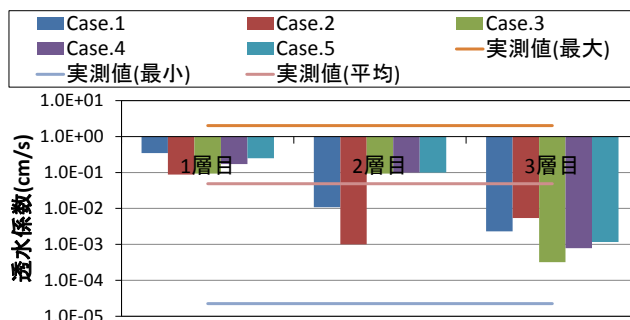


図-3 透水係数 K_z の推定結果

前章で示したように、黒部川扇状地は主に砂礫層で構成されている。既往文献³⁾より砂礫層は大きく分けて、沖積層の扇状地堆積物と洪積層の古扇状地堆積物、呉羽山層の3層である。この層は少なくとも表層から約150 mまで堆積しているため、本モデルでは基盤までの深さを表層から200 mとした。

3.4 PEST

本研究では、パラメータの最適化アルゴリズムとして PEST を利用した。これは非線形最小二乗法を解く Gauss-Marquardt-Levenberg 法を用いた手法である。

4. 結果と考察

前章で示した数値モデルを利用して、透水係数、比貯留率と比産出率の推定した。その結果を利用して地下水位の計算値を算出し、観測値と比較した。本数値実験の概要を図-2 に示してある。地層は3層に分け、層厚の変化の影響を検討した。

4.1 透水係数 (K_z)

図-3 は鉛直方向の透水係数 K_z の推定結果である。2 層目において、透水係数は層厚の変化の影響が少なく、安定的に算出された。各 Case の透水係数の平均値は $0.031 \sim 0.12 \text{ cm/s}$ である。実測値の平均は $4.9 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ であり、概ね妥当な算出結果であると考えられる。

4.2 比貯留率 (S_s) と比産出率 (S_y)

図-4 は各 Case の比貯留率と比産出率の結果である。Case.1 から Case.5 までの比貯留率の平均値は 3.65×10^{-4} になった。対象地域は全体的に自噴が多く

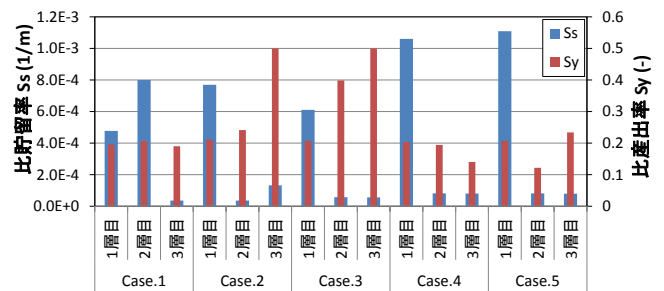


図-4 各 Case の比貯留率と比産出率

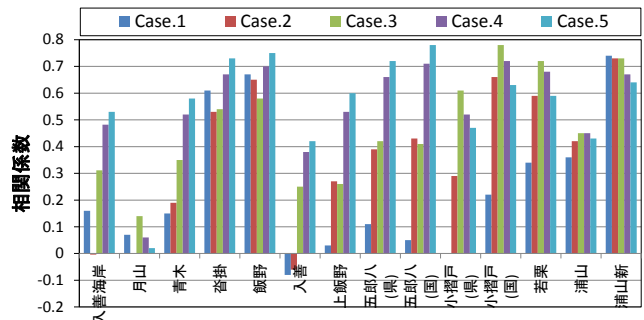


図-4 地下水位の観測値と計算値の相関係数。

広く分布されているので、この値は被圧帯水層の範囲内であると考えられる。比産出率の平均値は 0.25 であり、礫層または砂層の値となった⁵⁾。対象地域は砂礫層であり、値は妥当だと考えられる。

4.3 地下水位の観測値と計算値

図-4 は地下水位の観測値と計算値の相関係数の結果である。横軸は、観測井戸の標高が低い順に示してある。上流部や中流部における河川近傍の観測点の相関係数の傾向が異なる結果となった。

河川近傍の地下水位は季節変動が大きく、五郎八(県)や小摺戸(国)は夏季と冬季の水位差が約10 m ある。Case.1 では相関が非常に小さく、Case.5 では相関が高くなった。これより1層目の層厚が厚いほど、地下水位が大きく変動することがわかった。

上流部の浦山新や浦山ではどの Case においても同程度の相関係数となった。これは上流域からの地下水位が安定して供給されていると考えられる。

参考文献

- 1) 入善町：入善町地下水流量等調査業務，p.253，2004。
- 2) 手計太一：黒部川扇状地における地下水位の漸減現象に関する基礎的研究，水工学論文集，第54巻，pp.565-570，2010。
- 3) 山本荘毅，榎根勇編著：黒部川扇状地における水の循環，pp.6-8，1971。
- 4) 入善町：黒部川扇状地地下水調査報告書，pp.35-36，1991。
- 5) Anderson, M. P., Woessner, W. W.: 地下水モデル実践的シミュレーションの基礎，pp.22-26，1994。