

黒部川扇状地における透水係数の逆推定

富山県立大学工学部

正会員 ○手計 太一

富山市建設部道路河川整備課

正会員 元由 友佳

1. はじめに

黒部川扇状地では古くから地下水を利用した生活、産業が栄えてきた。最近では、地下水を販売する飲料メーカーが増えている。

一方、著者らは、最近 20 年程度の間、黒部川扇状地全体の地下水位が有意に低下していることを報告している¹⁾。また、2011 年 3 月から継続している自噴井戸を対象とした研究では、自噴量の季節変動は認められるものの、水質に季節変化がなくほぼ一定であることが分かっている²⁾。

黒部川流域における地下水の観測データは時空間的に限られているため、将来の地下水保全を考える上では不足している。それを補うために、数値モデルを用いた検討が必要である。著者らは黒部川扇状地流域を対象にした地下水モデルを構築している³⁾。本研究ではその精度向上のために、透水係数の逆推定を試み、それを用いた地下水位の算出結果について検討した。

2. 黒部川扇状地

黒部川扇状地は、我が国屈指の急流河川である黒部川が作り出す扇状地である。黒部川流域は、山地面積が約 99 %を占めており、その他約 1 %が都市地域、農業地域等として利用されている。下流域には宇奈月町愛本を扇頂として半径約 13.5 m, 頂角約 60°, 面積約 120 km²の扇状地を有している。扇頂から上流部は変成岩類及び花崗岩類を主体とする岩石であり、扇頂から下流部は砂礫層で形成されている。

3. 地下水モデル

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 を利用して非定常地下水モデルを構築した。支配方程式は、(1)式の質量保存則と(2)の 3 次元のダルシー則から、(3)式のように導出できる。

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

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

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

ここで、 K : 透水係数(L/T), S_s : 比貯留率(L⁻¹), R^* :

表-1 透水係数の逆推定の結果

層分類		透水係数(cm/s)
表土	kx	3.66×10^{-2}
	ky	1.00×10^{-2}
	kz	2.96×10^{-3}
砂礫系層	kx	2.50×10^{-1}
	ky	3.00×10^{-1}
	kz	1.21
砂礫・粘土混合層	kx	3.50×10^{-3}
	ky	5.00×10^{-3}
	kz	5.05×10^{-3}
難透水層	kx	1.00×10^{-6}
	ky	1.00×10^{-5}
	kz	6.29×10^{-6}

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。

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、250 m × 250 m の DEM データを使用した。帯水層をできるかぎり正確に表現するために、扇状地全域に 283 地点のボーリング柱状データを本モデルに利用し、地層を鉛直方向 6 層に分類した。4 種類の土質分類(表土、砂礫層、砂礫・粘土混合層、難透水層)を 6 層の地層に当てはめた。涵養量は、日平均降水量として、水田に水が張られる 5, 6 月には湛水深(100 mm)を加えた。境界条件は難透水として、流動境界条件は海と黒部川を設定した。

4. 透水係数の逆推定

扇状地の透水係数を推定するために、大域的探索法の一つである Gauss-Marquardt-Levenberg (GML)法を用いた⁴⁾。GML 法は、逆 Hessian 法と最急降下法のそれぞれの利点を利用して関数の最小値を探索する勾配法のアルゴリズムの一つである。

地下水位のデータは、扇状地内 19 箇所の観測井戸のうち、冬期における消雪用水の影響が大きい 2 箇所を除いた 17 箇所の観測井戸を利用した。

5. 解析結果

キーワード 地下水モデル, MODFLOW, 逆解析, 黒部川扇状地, 富山県
連絡先 〒939-0362 富山県射水市黒河 5180 T E L 0766-56-7500

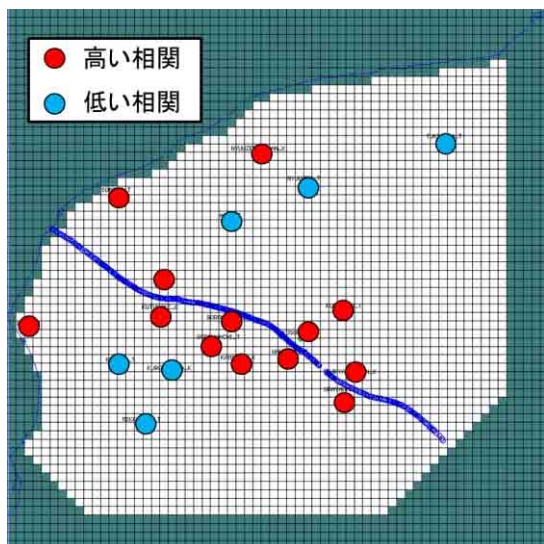


図-1 計算水位の精度検証

上述した GML 法を用いて逆推定した透水係数を表-1 に示す. 既往文献⁵⁾によると, 黒部川扇状地の地層の透水係数は $10^{-1} \sim 10^{-3}$ cm/s 程度と推定されている. 両者を比較すると, 同程度の値である. このことから, 数学的に逆推定された透水係数であっても, 現実に近い値が得られたと考えられる.

次に, 上述で求めた透水係数を用いて計算した地下水位と観測水位を比較した結果, 相関が高い観測井戸を相関が低い観測井戸に分類した. その結果を図-1 に示す. 黒部川沿いと扇端部分で良く一致していることがわかる. 既往研究からも, 黒部川が周辺地下水へ与える影響は非常に大きいことがわかっており, その結果が反映されているものと考えられる. また, 観測値との相関が悪い要因として, 水田の涵養の影響が正しく反映されていないことが挙げられる.

最後に, 計算結果と観測値の地下水位等高線図を比較する(2007年8月27日時点). 図-2 の上図は計算結果, 下図は観測データを補間して等高線図にしたものである. 計算結果は, 約 50 m よりも低い地下水位等高線において, 黒部川河道部を中心に顕著な地下水嶺が認められる. これは観測値も同様の傾向が認められるとともに, 既往研究とも定性的に非常に良く一致している.

6. 最後に

黒部川扇状地の透水係数を推定するために, 大域的探索法の一つである Gauss-Marquardt-Levenberg (GML) 法を用いた. その結果, 既往の透水係数と同程度の現実的な値が得られた. この透水係数を用いて行った地下水位の推定の結果, 既往文献の値⁵⁾を用いた結果³⁾よりも精度を上げることができた.

参考文献

- 1) 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,

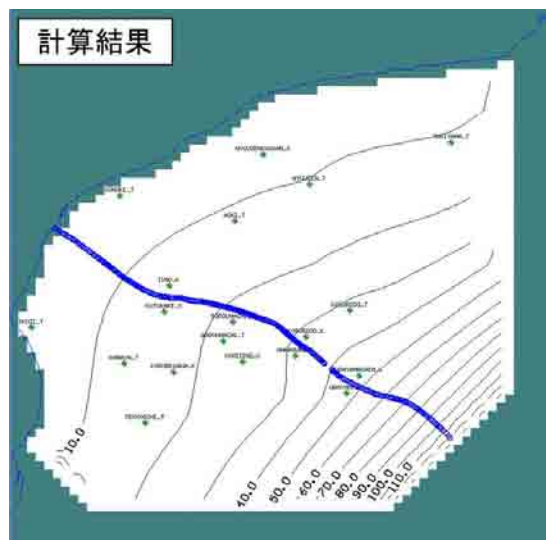


図-2 計算結果(上図)と観測値(下図)の地下水位等高線図を比較(2007年8月27日)

pp.565-570, 2010.

- 2) 元由友佳ら: 黒部川扇状地の湧水調査, 2012 年日本地下水学会秋季講演会要旨, pp. 52-55, 2012.
- 3) 元由友佳ら: 黒部川扇状地における非定常地下水モデルの構築と精度検証, 第 40 回土木学会関東支部技術研究発表会, II-46, 2013.
- 4) Doherty, J.: PEST – Model-Independent Parameter Estimation, Watermark Numerical Computing, Australia, 2002.
- 5) 山本荘毅, 榎根勇編著: 黒部川扇状地における水の循環, 151pp, 1971.
- 6) 丸山響: 黒部川扇状地における地下水涵養源としての河川水役割, 日本水文科学学会誌, 第 36 巻, 第 1 号, pp. 23-36, 2006.
- 7) 竹内正信ら: グリッド型循環系解析モデルによる黒部川伏没・湧水機構の解明, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol. 68, No. 4, pp. I_481-I_486, 2012.