粒子フィルタを用いた宮古島仲原地域における透水係数の推定
Identification of Hydraulic Conductivity by Particle Filter in Nakabaru, Miyakozima

○種子永栄輝*, 村上　玄**, 村上　章*, 藤澤和謙*
○Eiki Tanenaga*, Gen Murakami**, Akira Murakami*, Kazunori Fujisawa*

1　はじめに

沖縄総合事務局宮古伊良部農業水利事務所管内の宮古島仲原流域では，現在仲原地下ダムが建設中である．これがダムの直下地域にある仲原鍾乳洞に対してどのような影響を与えるか，また地下水上昇の際に安全性を保つことができるかを検討するために地下水解析モデルでの計算が行われている．しかし，現状では地下水位の再現性はそこまで高くはない．一方で，モデルを適応する際の透水係数として，実測値や流域内の地質特性を考慮して計算した結果を用いているが，広域的な透水性を表しているとは限らない．このことが地下水位の再現性に影響を及ぼしていると考えられる．そこで本研究では，データ同化手法の一つである粒子フィルタ[1)]を用いて，モデルの重要なパラメータである透水係数を推定し，モデルの精度向上に役立てることを目的とした．

2　推定方法・解析条件

図 1 に宮古島全体の図を示す．本研究では図中の四角で囲まれた部分を三角形要素を用いた有限要素法によって解析した水位データと観測点における水位データに粒子フィルタを適用した．解析モデルでは，全部で 10 個の透水ゾーンを想定し，地下水流動解析を行った．この際，地質状況や地下水位の変動状況から，同様の傾向を示すと判断した範囲を一つの透水ゾーンとして扱った．図 2 では解析モデルのメッシュデータ，透水ゾーン，観測データとして用いた水位計の位置（図中の丸の箇所）並びに地下ダムの建設予定位置（図中の赤線）を示している．

推定方法として，具体的には以下の順序で行った．

1. 一様乱数に従い，透水ゾーンごとに設定した範囲で一定の値をとる透水係数の組み合わせを 2,000 通り用意した．
2. 降雨条件を考慮した 2 次元地下水解析により，日ごとに各観測点における地下水位を求めた．
3. 粒子フィルタを用いて，実際の観測水位データに対し，各粒子のシミュレーション結果がどれだけの尤度を持つかを計算し，重み分布を求めた．

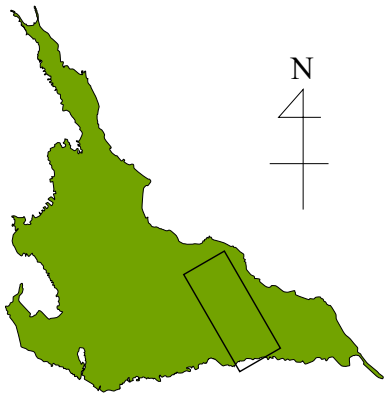

図 1.　宮古島全体の地図
Fig.1　Map of Miyakojima

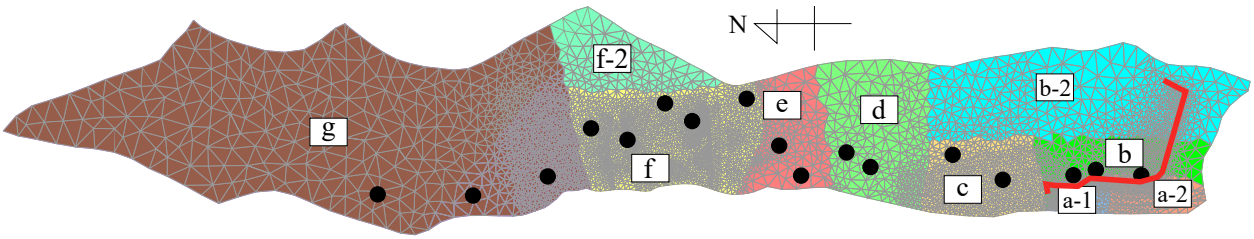

図 2. 解析に用いたメッシュと観測点の位置
Fig.2　Mesh and Observation Points

各透水ゾーンにおける透水係数の設定範囲を表 1 に示す．なお，本研究では解析条件に影響を及ぼす下流領域の透水係数を調べるため，ダム上流側にあたるゾーン e よりも北側のゾーンの透水係数は一定の値とした．

本研究では，計算コストの比較的少ない地下ダム建設前の降水条件（2011 年 5 月 1 日から 7 月 31 日）を用いた解析結果と現場水位データを上記の推定方法に適用することで，各透水ゾーンにおける透水係数の推定を試みた．

*京都大学 Kyoto University, **株式会社三祐コンサルタンツ Sanyu Consultants INC.　　土構造物の解析, 逆解析

表 1. 各透水ゾーンにおける乱数設定範囲

Table.1　Range of permeability for each zone

透水ゾーン	乱数設定範囲（cm/s）	透水ゾーン	乱数設定範囲（cm/s）
a-1	$1.00\times10^{-2}-1.00\times10^{-1}$	d	$1.00\times10^{1}-5.0\times10^{1}$
a-2	$1.00\times10^{-4}-1.00\times10^{-3}$	e	4.01×10^{-1}
b	$1.00\times10^{-2}-1.00\times10^{-1}$	f	1.14×10^{-1}
b-2	$1.00\times10^{-2}-1.00\times10^{-1}$	f-2	8.16×10^{-1}
c	$1.00\times10^{-1}-5.00\times10^{-1}$	g	1.87×10^{-3}

3　推定結果と考察

図 3 に, 解析の結果である重み分布図を示す. 図 3(d), (e) にあるようにゾーン b-2, c では明瞭なピークが見られたことから, これらのゾーンでは透水係数 k の推定ができたといえる. 一方で他のゾーンに関しては重み分布図からピークを読み取れるとは言えず, うまく推定ができていないと考えられる. 特に最下流領域（ゾーン a-1, a-2）でこの傾向は顕著である. これは観測点の数が上流領域と比較して少ないことに起因していると考えられる. また, ゾーン d で推定がうまくいかない原因としては, ゾーン d と定義した領域に他の透水ゾーンが混ざってしまい, それが正確な推定を妨げた可能性が示唆される.

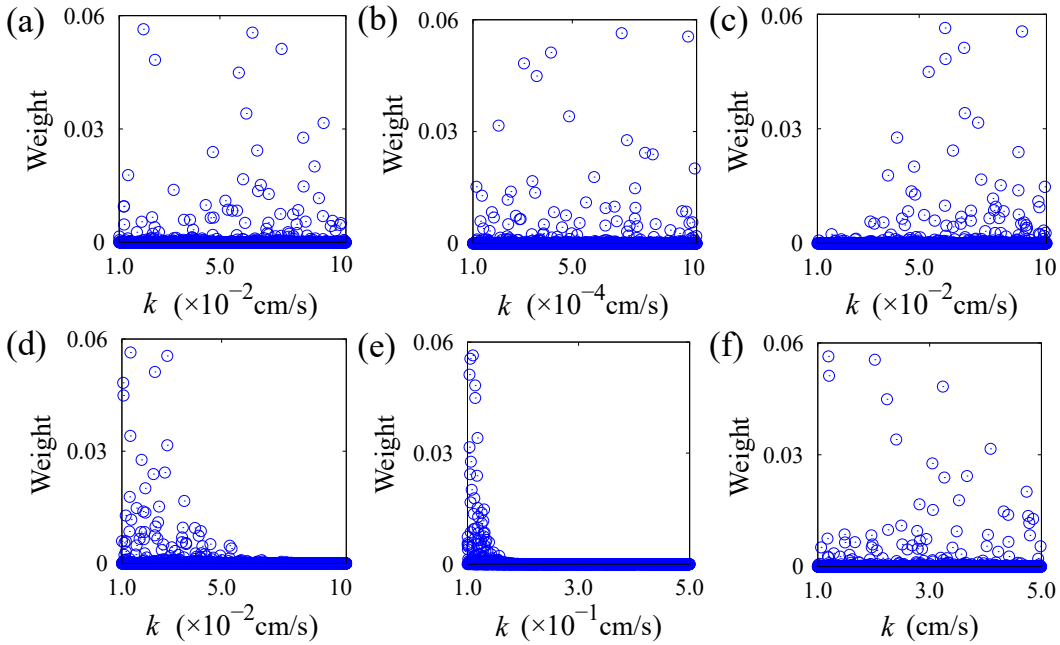

図 3. 各透水ゾーンにおける透水係数の重み分布（(a) ゾーン a-1, (b) ゾーン a-2, (c) ゾーン b, (d) ゾーン b-2, (e) ゾーン c, (f) ゾーン d）

Fig.3　Weight distribution of Hydraulic Conductivity in Case 2((a)zone a-1, (b)zone a-2, (c)zone b, (d)zone b-2, (e)zone c, (f)zone d)

4　まとめと今後の課題

本研究では, 実際の地下水位データと 2 次元地下水解析によるデータを用いて, 透水係数の推定を試みた. その結果, 主に流域中流部においては推定が可能であった. 今後はここで得た透水係数の妥当性を調べると共に, 今回設定した乱数設定範囲の更なる検討, 今回は 3 か月に絞った降雨条件を変更した際の精度に関する考察, ゾーン分けの再検討等を進めていくことを考える.

謝辞 本研究にあたり一般社団法人土地改良建設協会国営事業地区等フィールド調査学生支援事業の支援を得た. ここに記して謝意を表する.

参考文献

1) 珠玖隆行, 村上　章, 西村伸一, 藤澤和謙, 中村和幸 (2010)：粒子フィルタによる神戸空港島沈下挙動のデータ同化, 応用力学論文集, 13, 67-77.