

統計的手法を利用した地下ダムにおける地下水の挙動解析

Groundwater analysis at the underground dam with the statistical method

○寺西 俊*, 小林 晃*

TERANISHI Shun, KOBAYASHI Akira

1. はじめに

地下ダムは、山地を持たない離島や乾燥地帯における水源確保に関して大いに効果を発揮し、水利用状況の大幅な改善が見込めると期待される。地下ダムの挙動を知るためには、地下水盆の地下水流動モデルを作成することが有効であるが、そのためには精度の高い透水性の分布の推定が必要である。しかし、実際は地盤内の透水性の分布は複雑であり、実測される透水係数等は費用がかかるなどして情報が限られている。そこで本研究では、対象地域を宮古島の砂川ダムとして統計的手法によって透水性の分布を推定することを試みた。そして、有限要素メッシュの全要素を不均一にして浸透流解析を行った。

2. 統計的手法

本研究では地盤統計学のクリギング(Kriging)と呼ばれる手法によって、透水性の分布を既知のデータから推定した。そのシステムを次式(1)に示す。

$$\begin{cases} \sum_{\beta=1}^n v_{\beta}(u)C(u_{\beta}-u_{\alpha}) + \mu(u) = C(u-u_{\alpha}) \\ \sum_{\beta=1}^n v_{\beta} = 1 \end{cases} \quad (\alpha, \beta = 1, \dots, n) \quad (1)$$

ここで、 $v_{\beta}(u)$ は重み係数、 $C(u)$ は共分散関数、 $\mu(u)$ はラグランジュ乗数、 n は測定点数、 u は測定地点である。方程式の左辺は、各測定点間の共分散を記述しており、右辺は各測定点と推定対象の位置の間の共分散を記述している。

3. バリオグラム

通常型クリギングでは重み係数の総和が1という条件から、距離との相関を示すセミバリオグラム(非類似度) $\gamma(h)$ をシステムに組み込む。バリオグラムが有限の値 $\gamma(\infty)$ をもつ場合、セミバリオグラム関数と共分散関数は等価であり以下の関係式(2)を持つ。

$$C(h) = C(0) - \gamma(h) \quad \gamma(h) = \frac{1}{2}(z(x_{\alpha} + h) - z(x_{\alpha}))^2 \quad (2)$$

砂川ダムで取られた測定値から求めた物性のセミバリオグラムを図1～3に示す。

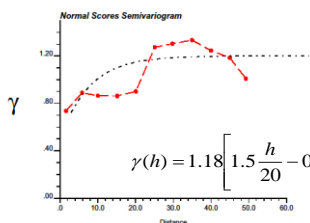


図1 透水係数のバリオグラム
Bariogram of permeability

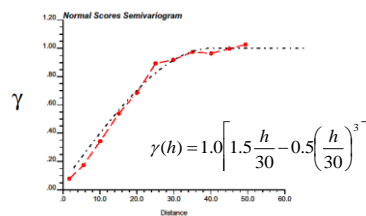


図2 基盤深度のバリオグラム
Bariogram of basement depth

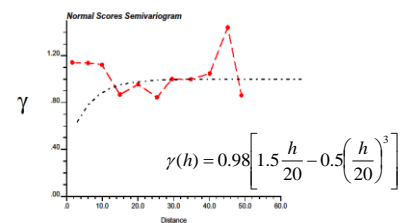


図3 有効間隙率のバリオグラム
Bariogram of effective porosity

図1～3で示したセミバリオグラムに基づいたクリギングによって対象領域の透水性の分布を推定した。図4は透水係数の分布を示したものである。データは173個であったが、クリギングによって貯留域を1680個(48×35)の要素に補間した。止水壁は透水係数を $1.0E-6(\text{cm}/\text{sec})$ と設定し、要素の等価透水係数を求めた。貯留域は東西約2km、南北約3kmである。貯留域の西側は、透水係数が低くなっている。これは流入粘土の影響であると考えられる。また中央部から東側にかけては、かなり高くなっている。これは地盤内の空洞の影響を受けたものであると考えられる。

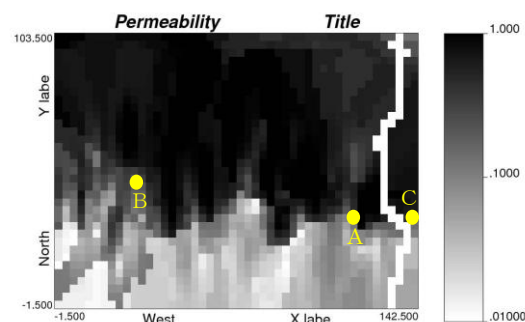


図4:透水係数の分布

4. 浸透流解析

帯水層の深さは解析領域の水平距離に比べて小さいので、準三次元で解析を行った。上流、左右岸部は不透水とした。下流側の境界は地下水を海水位（標高 0m）として規定した。宮古島はほとんど河川がないため地下水涵養源は降雨のみである。本研究ではダムの止水壁を締め切った平成6年3月1日から450日間の降雨を10日ずつ平均を取って使用した。

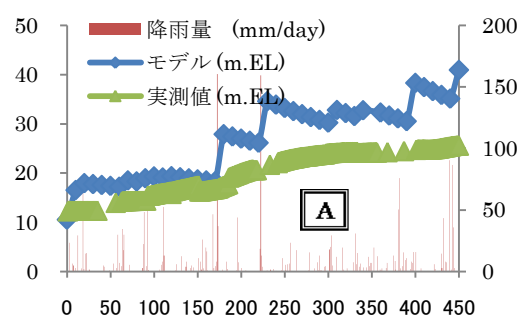


図5:地点Aの水位変化

5. まとめ

45ステップ（10日間隔 450日間）において、すべての要素の流速と水位を計算した。図5～7は地点A,B,Cにおける実測値とモデルの水位変化を比較したものである。A、B地点におけるモデルの水位は、時間の経過とともに確実に上昇している。モデルの降雨による水位変動は実際より大きくなっているが、変動傾向は似ていると言える。C地点（ダム軸より下流側）におけるモデルの水位の上昇は見られない。実際の水位変化とも似ている。このことから、モデルは実際現象の再現性を有しているといえる。しかしながら、降雨による水位変動が大きいので、タイムステップやタンクパラメータを見直す必要があると考えられる。今後は、このモデルの精度の向上とともに、止水壁の透水性や構造の変化による地下ダムへの影響を調べていきたい。

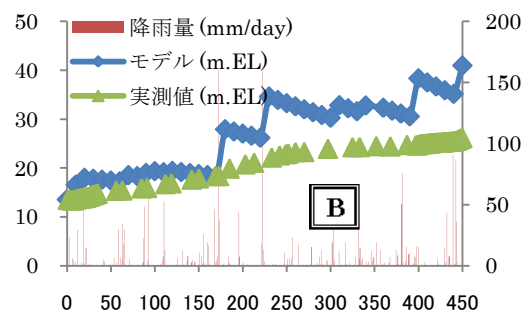


図6:地点Bの水位変化

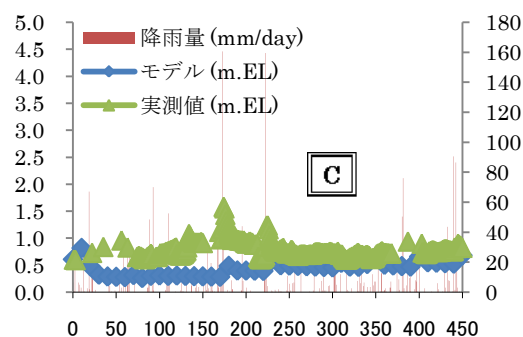


図7:地点Cの水位変化