

地球統計学的な疑似生成観測値の利用によるパラメータの空間分布同定 Distributed Parameter Identification from Geostatistical-generated Observations

○ 浜口 俊雄・小尻 利治・中北 英一

○ Toshio Hamaguchi, Toshiharu Kojiri, Eiichi Nakakita

This study proposes a mathematical approach to uniquely identify distributed parameters of an ill-posed inverse problem in hydrology and demonstrates a performance of such an approach through numerical tests by employing geostatistics-generated observation data. For numerical tests, we design a hypothetical aquifer divided into twenty piecewise zones. Twenty permeabilities are individually identified with inaccuracy just through the conventional method using prior information. They are also estimated with well accuracy along the given method of employing observation data generated by geostatistics. It can be proven that the proposed approach is greatly effective and helpful in parameter identification with ill-posedness.

1. 序論

近年の水文解析において、空間的な挙動の違いを表現したモデル構造を持ち、かつ、空間的水文量(例えば、流出量)の高精度な把握・再現を目的として、分布型モデルの採用は必要不可欠である。例えば、分布型モデルは降水量の空間分布、河川に沿った流量の空間分布、流域の水資源賦存量分布などの表現に適用できる。その際には、各所の観測データを基にして、対象水文量の空間分布に関わるモデルパラメータ、または空間分布したモデルパラメータ自身を同定する必要がある。観測数が多いほど同定精度には有利に働くが、物理的/経済的制約によって観測数は通常それほど多くない。本研究では、客観的手法により、妥当なデータの観測数を擬似的に増やすことで同定計算に有利な条件を作り出すことを提案する。観測データ $[y]$ と同定すべきセル要素のパラメータ $[x]$ は、流出解析の場合に $[y]$ 流出量/河川水位, $[x]$ 等価粗度/斜面勾配など、地下浸透解析の場合に $[y]$ 地下水位, $[x]$ 透水係数/(有効)間隙率/土壌水分特性パラメータなどが該当する。いま議論を簡素化すべく、帯水層を例に検討を進めても一般性は失われない。また有効間隙率一定で不均一な透水係数分布を同定対象に絞る。

2. 地球統計学による水位観測データ生成

地球統計学では変数の空間分布を観測データによる条件付確率場と考える。また任意点の推定値は変数の空間分布傾向を示すトレンド成分と変数間の空間相関性を示すランダム成分の和から成る不偏推定量と定義される。

本研究での透水係数分布同定は、[1]従来と同じく観測値から透水係数分布を同定する、[2]上記結果を用いた水位再現値をトレンド成分とする、[3]モデル誤差を観測値から地球統計学的に推定し、その値をランダム成分と見なす¹⁾、[4]両者の和を取って疑似生成の観測値とし、全計算点を観測点とする、[5]これを時系列毎に行い、全点での時系列観測データを生成する、[6]上記の疑似生成観測データを用いて再び透水係数分布を同定する、という手順を踏んで求める。データ同化手法と違い、計算が容易で、かつ、統計モデルを礎とした生成値のため、同じ物理モデルを使う逆解析の観測値として適切であると言える。ところで逆解析時の未知数は求めるべき透水係数の区域数であるので、上記の疑似観測データ生成により、「未知数 > 観測数」という非適切条件下での逆解析

が回避でき、一意な同分布が得られることになる。

3. 数値実験

本提案手法の効用について検討すべく、図1のような不圧地下水の流れる仮想帯水層を対象として数値実験を行った。本稿の逆解析手法には、事前情報を利用し、かつ、観測データの質を逐次同定結果に反映できる拡張Kalmanフィルタ有限要素法²⁾を採用することにした。地球統計学的推定時に得られる推定誤差共分散行列は同フィルタと同じ構造であるので、同行列を引き続き使用できる事も利点である。本実験に用いる真の透水係数分布は図1の様に設定した。先の手順で各区域毎の透水係数同定を行った結果を図2に示す。これは真の分布と比較しても比較的精度の良い結果となっている。推定精度が良くない場所は水深が浅く揚水の影響が強い場所で、地球統計学的にやや過大評価された疑似生成観測データによって同定結果も過大評価になったと推察される。

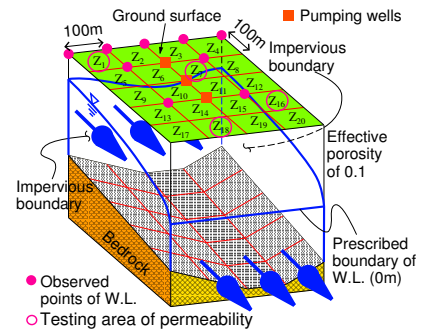


図 1: 仮想帯水層

Exact	215.3322 (Z ₄)	255.5558 (Z ₈)	321.1791 (Z ₁₂)	400.0000 (Z ₁₆)	383.3276 (Z ₂₀)
	173.9983 (Z ₃)	200.0000 (Z ₇)	272.5400 (Z ₁₁)	329.4123 (Z ₁₅)	346.6049 (Z ₁₉)
	136.6654 (Z ₂)	171.4817 (Z ₆)	226.1393 (Z ₁₀)	273.9904 (Z ₁₄)	300.0000 (Z ₁₈)
	100.0000 (Z ₁)	146.4934 (Z ₅)	194.3980 (Z ₉)	235.9593 (Z ₁₃)	265.2360 (Z ₁₇)

Unit: m/day

表 1: 真の透水係数空間分布

Using generated data	219.3378 (Z ₄)	263.3715 (Z ₈)	290.3026 (Z ₁₂)	383.2521 (Z ₁₆)	381.1754 (Z ₂₀)
	168.8896 (Z ₃)	224.4939 (Z ₇)	254.5708 (Z ₁₁)	347.1259 (Z ₁₅)	351.0596 (Z ₁₉)
	135.8147 (Z ₂)	185.9866 (Z ₆)	215.6820 (Z ₁₀)	274.6058 (Z ₁₄)	296.4615 (Z ₁₈)
	101.7642 (Z ₁)	144.2815 (Z ₅)	180.1305 (Z ₉)	237.2620 (Z ₁₃)	260.6362 (Z ₁₇)

Unit: m/day

表 2: 同定結果(疑似生成観測)

4. 結論

本研究では地球統計学的推定することで水文量の疑似観測データを生成し、それを用いることで一意的で精度の良いパラメータ分布の同定結果を得たことから本提案手法は秀逸であり、PUBにも応用可能と思われる。

参考文献

1) 浜口俊雄: 地下水流動に対するモデル誤差の地盤統計学的改善策と最適モデルの選択法, 水工学論文集第47巻, 土木学会水理委員会, pp.295-300, 2003. 2) 例えば, 浜口俊雄, 村上 章, 長谷川高士: 平面解析で移動境界を考慮した地下水モデルと逆解析への応用, 土木学会論文集, No.568/III-39, pp.133-145, 1997.