

Ⅲ-96

逆解析による六日町地域地下水モデルの透水量係数分布の推定（その1）

長岡技術科学大学 学生会員 ○橘川 正男
 岐阜大学 正会員 本城 勇介
 長岡技術科学大学 正会員 小川 正二
 鹿島建設(株) 正会員 福井 宏行

1. はじめに

新潟県南魚沼地域は、全国的にも地盤沈下の著しい地域であり、特に六日町市街地では沈下が著しい。種々の観測結果から、当地域の地盤沈下は、主に消費地下水の過剰汲み上げによる地下水位低下に起因すると考えられており、この問題の解決には、地下水位の挙動の把握は極めて重要な課題と考えられる。そこで、本報告では、六日町を中心とした地域を対象とし、A B I C（赤池ベーズ情報量規準）を用いた拡張ベーズ法と呼ばれる逆解析手法を用いて、現地での種々の調査結果から、将来の地下水の挙動予測に用いることができる、地下水帯水層モデルの透水量係数分布を推定することを目的としている¹⁾。

ここでは擬似的なモデルを用いて、解析を行うことにより拡張ベーズ法と呼ばれる逆解析手法の妥当性を検討する。

2. 解析方法

拡張ベーズ法による逆解析の定式化を行った目的関数を次式に示す。

$$\min J(\underline{u}) = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^N (\underline{h}^{*k} - \underline{h}^k)^T (\rho_{ki} \mathbf{V}_i)^{-1} (\underline{h}^{*k} - \underline{h}^k) + d^T (\underline{u} - \bar{\underline{u}})^T \mathbf{V}_u^{-1} (\underline{u} - \bar{\underline{u}})$$

$\underline{h}^k$: 時刻kにおける観測位の計算水頭ベクトル

$\underline{h}^{*k}$: 観測井における計測水頭ベクトル

$\underline{u}$: 透水量係数などの未知パラメータベクトル

$\bar{\underline{u}}$: 未知パラメータの事前平均値ベクトル

ρ_{ki} : 観測時間間隔に関する観測水頭の共分散

$\mathbf{V}_h$: 平面距離に関する観測水頭の共分散マトリックス

パラメータの推定は、この目的関数を最小にする $\underline{u}$ の組み合わせを求めることによって行われる。

ここで、ベーズ統計学を定式化に取り入れた場合の問題点として、観測データと事前情報との相対的な重み付けをどのように決定するかという問題がある。また、最適モデルの選択には、対象としている

解析地域を幾つの異なった水理定数を持つゾーンに分割するかといったゾーニングの問題がある。

そこで、本報告では、これらの問題を解決する方法として、赤池により提案されたA B I C（赤池ベーズ情報量規準）を用いる。A B I Cは次式で定義される。

$$A B I C = -2(\text{最大対数尤度}) + 2(\text{超パラメータ数})$$

このA B I Cにより、観測データと事前情報の相対的な重みを示すd（超パラメータ）の決定、また最適モデルや事前情報の選択を行う。すなわち最小のA B I Cを与えるこれらの組み合わせを推定する。

3. 擬似的なモデルによる解析方法の検証

図1に設定した擬似的な地下水帯水層モデルを示す。境界条件は上方と下方を水頭一定境界とし、両側を不透水境界としている。また、このモデルでは地下水は下方から上方へと流れる。観測データは、上記の境界条件下における定常水頭を初期値として、図2に示す10本の揚水井戸から揚水を行ったときの、図3に示される各観測井戸における定常水頭を有限要素法により求めたものを用いた。

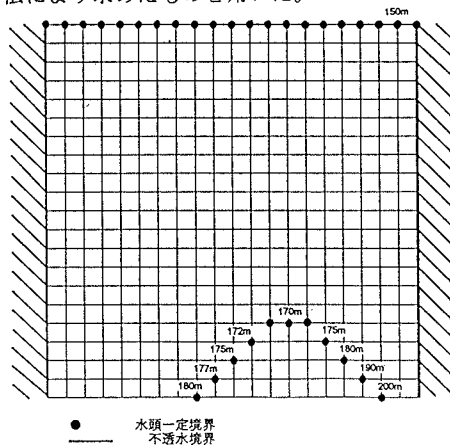


図1 擬似的な帯水層モデル

図4にパラメータ推定のために設定したゾーニングモデルを示す。モデル1, 2は、6ゾーンモデル、モデル3, 4は、12ゾーンモデルであり、モデル5は4ゾーンモデルである。モデル1, 3, 5は、真値の透水量係数分布を比較的忠実にゾーニングしたモデルであり、モデル2, 4は、モデル1, 3を幾何学的に単純化したモデルである。

図5に解析結果としてABICとdの関係を各モデルについてプロットしたものを示す。また、表1には、各モデルにおける各ゾーンの透水量係数の推定値を示す。ABICにより各モデルを比較すると、モデル1, 5, 2, 3, 4の順によりモデルであると判定された。ゾーン数6のモデル1が最適なモデルとして選ばれたことは、観測データの量を考慮した場合、適切なモデル選択が行われていると思われる。また、図5に示すようにdも最適化されている。

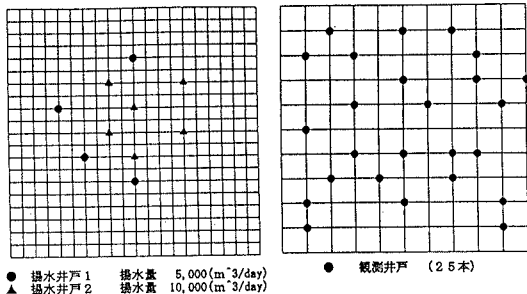
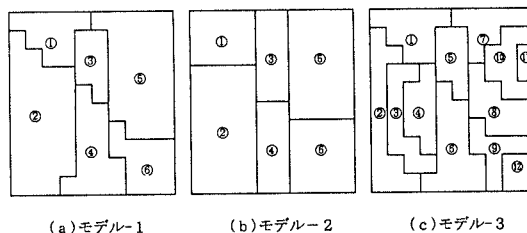
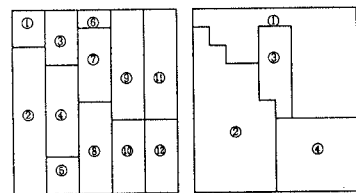


図2 揚水井戸の分布 図3 観測井戸の分布



(a) モデル-1 (b) モデル-2 (c) モデル-3



(d) モデル-4 (e) モデル-5

図4 推定モデルと設定した事前平均値

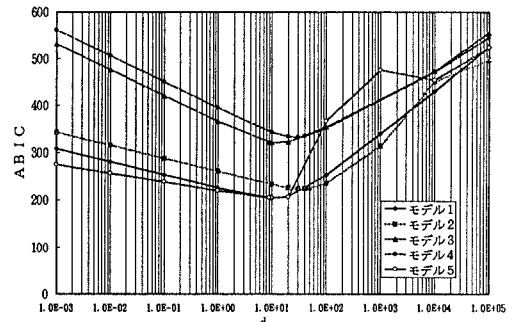


図5 ABICとdの関係

表1 各ゾーンの透水量係数の推定値（単位：m³/day）

	モデル-1		モデル-2	
d	1.0E+01		4.0E+01	
ABIC	203.531		223.563	
RSS	16.740		59.327	
	事前平均値	推定値	事前平均値	推定値
Zone 1	4500	4503	15000	14790
Zone 2	30000	29950	25000	23848
Zone 3	500	500	1000	997
Zone 4	5000	5042	5000	4971
Zone 5	4000	4054	3000	2957
Zone 6	2000	2085	2000	1914

	モデル-3		モデル-4	
d	1.0E+01		3.0E+01	
ABIC	321.209		333.102	
RSS	11.761		35.753	
	事前平均値	推定値	事前平均値	推定値
Zone 1	8000	7637	9000	8984
Zone 2	25000	24988	25000	24964
Zone 3	35000	35752	6000	5984
Zone 4	50000	50265	50000	49902
Zone 5	500	497	15000	15006
Zone 6	5000	5626	3500	3499
Zone 7	3500	3542	500	499
Zone 8	4000	3989	5000	4993
Zone 9	3000	3151	4000	3982
Zone 10	2000	2011	3000	2981
Zone 11	1500	1585	2500	2492
Zone 12	1000	1001	2000	1975

	モデル-5	
d	1.0E+01	
ABIC	203.808	
RSS	91.572	
	事前平均値	推定値
Zone 1	5000	19699
Zone 2	30000	23232
Zone 3	500	778
Zone 4	4000	7779

5. まとめ

本報告では擬似的なモデルを用いて、解析を行うことにより拡張ベイズ法と呼ばれる逆解析手法の妥当性を検討した。その結果、ABICは、与えられた観測データの量に応じて、最も予測に適したモデルを選択できると言える。

参考文献

- 1) 本城勇介（1989）：地下水浸透流解析モデルのパラメーター推定：最適モデルの選択、土質学会講演集、No. 24、pp. 1647～1650