

Ⅲ - A257

既定境界の不確定性を評価した平面地下水盆モデルの透水係数同定

京都大学大学院農学研究科 正会員 浜口 俊雄

同 上 正会員 長谷川 高士

同 上 正会員 村 上 章

1. はじめに

不透水性基盤高が盆状に広がり、その外周が分水嶺または水位境界で閉包されている領域を地下水盆という。この地下水盆における透水係数を客観的に同定する際、平面地下水モデルで数値解析出来れば、同係数は極めて平易に求め得る。そこで筆者らは、地下水貯留域の渚線(移動境界)が盆の傾斜基盤層に沿って移動する現象を取り入れた平面地下水盆モデルおよびその定式化を提案し、移動境界平面地下水モデルの逆解析を可能にした¹⁾⁻³⁾。ところで、逆解析において、プロセスノイズや観測ノイズ等の設定が、逆解析解の安定性に重要な役割を果たすことは周知のとおりである⁴⁾。これらは、モデル化の誤差や計算時の丸め誤差等から生じたノイズ、および観測計器の測定ノイズである。本発表では、既定境界における設定(モデル)誤差があった場合について論じ、逆解析時に同誤差の評価を行った数値実験を試みるものとする。

2. 既定境界モデル誤差

一般の既定境界は、移動・自由境界とは異なり、「解析領域外部からの拘束」もしくは「同領域内外の量的釣合」が支配的要因となって、その位置やその境界値が既定される。地下水モデルを例にとると、海に面した地下水位境界では海拔0(m)となり、分水嶺の流量境界では水収支が無いために流量境界値が0(m³)となる。よって、特に前者に当たる既定境界は、領域内の物理モデルから独立に定まるモデルと考えてよい。従って、その既定境界には幾らかのモデル誤差が存在していると捉える発想が至極当然である。その上、そういった既定境界上で境界値を計測している事など稀なことと思われる。このことを踏まえ、以下の数値実験を行った。

3. 同定数値実験

筆者らが誘導した地下水盆における平面不圧地下水モデルの有限要素式は参考文献^{2),3)}に詳述してあるので、そちらを参照されたい。その定式群に拡張Kalman フィルタFEMを適用し、移動境界平面地下水モデルの透水係数同定を行った。数値実験の対象には、図1に挙げる等方向均質な仮想地下水盆を用いた。

解析期間は、時間ステップを1日として61日分を与え、観測値は模擬的に順解析で作成した。また、透水係数の初期値は真値100(m/day)に対して200(m/day)を与え、初期水位分布は真の分布より全体的に高いものを与えた。

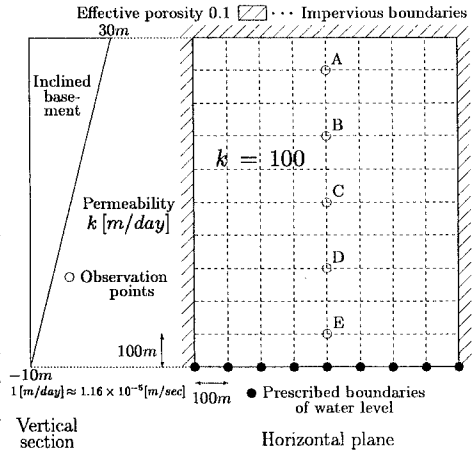


図1: 仮想地下水盆

表1: 逆解析設定比較

実験 No.	x_t 構成	q_t	r_t
(1)	$\hat{h}_t^1, \log k_t$	4.47×10^{-4}	2.0×10^{-3}
(2), (3)	$\hat{h}_t^1, \log k_t, \hat{h}_t^2$	1.41×10^{-2}	1.73
(4)	$\hat{h}_t^2, \log k_t, \hat{h}_t^1$	4.47×10^{-4}	2.0×10^{-3}

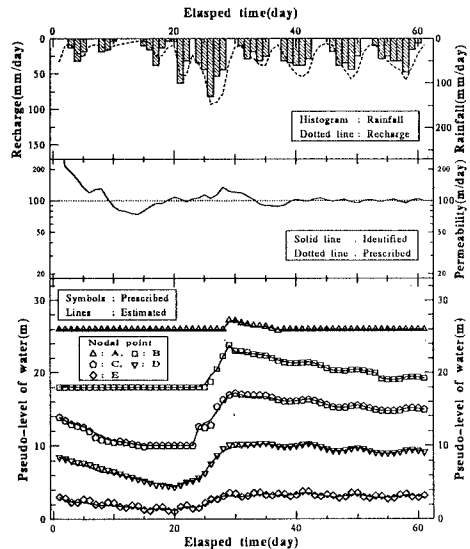


図2: 逆解析結果(1)

Keywords: 地下水, 逆解析, 同定, 既定境界, 不確定性

〒606-01 京都市左京区北白川追分町 TEL: 075-753-6153 FAX: 075-753-6346

また以下の実験では全て真の境界水位は、 $\hat{h} = \sin(\pi t/2)$ なる周期変化を伴うと想定した。いまプロセスノイズを q_t 、観測ノイズを r_t と表す。各実験における状態量 x_t の構成および q_t 、 r_t は表1に示す様に設定した。数値実験(1)では、設定水位境界値に時間平均値0を与えた。すなわち、水位境界の不確定性(誤差)を考慮しないまま逆解析を行った。その結果が図2である。同図から、透水係数同定値は観測点のうちの一点が水位境界に近いために、境界値の周期的変化の漏りを受け、同定値が40日目ではほぼ真値付近に収束しつつ、小刻みに周期変動している。しかしながら、40日目以降に関して、その同定値を時間平均の観点から捉えれば、概ね真値に収束したと言える。また数値実験(2)では、状態量の構成に水位境界量 h_t^2 も加えて、境界水位の不確定性を評価した。先述したように実際水位境界位置で境界値を観測していることは稀なため、同観測値を時間平均値で代用した場合を想定した。図3は、その結果を示している。境界水位の不確定性を設定誤差として評価する、すなわち、同不確定性を逆解析の q_t や r_t として処理するようになったため、実験(1)より各ノイズ量を適切な大きさに取らねば解が発散した。適切なノイズ量を与えたとき、同定値が計算過程において境界変動に左右されることなく真値に収束していくことが見て取れる。よって、その不確定性は本手法によって取り除けるものであると言える。更に実験(2)とほぼ同じ設定ながら、境界水位の観測値が代用値でなく実測値であった場合を想定したのが数値実験(3)であり、図4にその結果を与える。実験(2)との比較から、例えば真値と同定値との収束誤差が1%以内となるのは実験(2)が57日目、(3)が47日目であるので、収束速度が速くなっていること、若干推定水位の精度が良くなったことが言えるものの、両図を比べても取り立てて変わったとは言えない。境界水位に実測値がある場合の最大の利点は、両実験結果の比較からは分からない。それは境界水位の不確定性がある程度把握できている点にある。故に、実験(2)、(3)の q_t や r_t を小さくしても、解は収束するものと期待される。そこで、数値実験(4)として、実験(3)の q_t や r_t を実験(1)と同じ値に戻して計算を行ってみた。その同定結果が図5である。同図より、境界水位の不確定性を評価しながらも、逆解析解に高収束性・高精度が得られていることが分かる。

4. 結論

境界水位の不確定性を評価しなくても同定値は真値に収束するが、その境界水流量を状態量に加える手法により、その不確定性が諸ノイズとして処理できるため、同定値の収束過程に不確定性の影響に及ぼされる事なく逆解析できる。また、不確定性の境界水位が観測されていれば、不確定性がある程度把握できるため、境界水位の不確定性を評価しながら、高収束性・高精度の逆解析解が得られると結論づけられる。

参考文献

- 1) 浜口俊雄・長谷川高士・村上 章：境界移動を伴う地下水流動モデルの逆解析手法，第44回応用力学連合講演会講演予稿集，pp.287-288，1995。
- 2) 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（掲載予定），1997。
- 3) 浜口俊雄・村上 章・長谷川高士：地下水非定常貯留域の透水係数同定，第31回地盤工学研究発表会，pp.9-10，1996。
- 4) 吉田郁政・豊田耕一・星谷 勝：時間更新を考慮した逆解析と観測点配置の評価指数，土木学会論文集，No.543/I-36，1996。

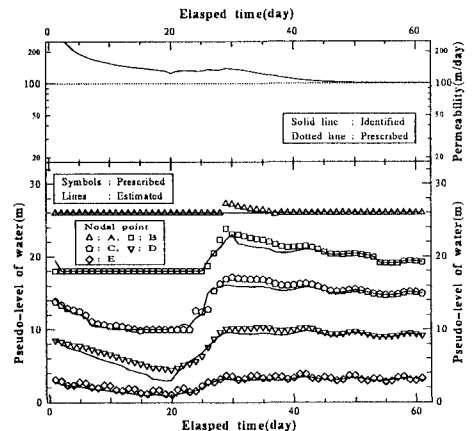


図 3: 逆解析結果 (2)

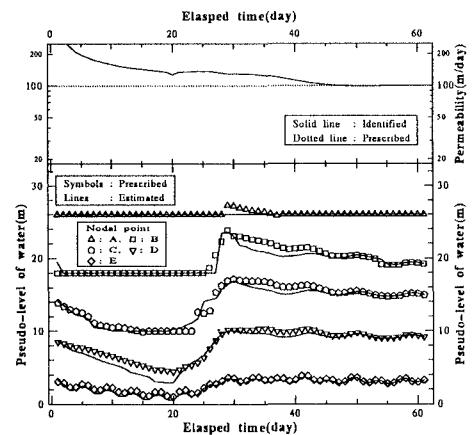


図 4: 逆解析結果 (3)

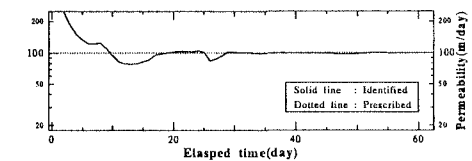


図 5: 逆解析結果 (4)