

## CS-20 不均質性を考慮した平面地下水流動における移動境界逆解析

京都大学大学院農学研究科 正会員 浜口 俊雄・村上 章・長谷川 高士

## 1. はじめに

広域地下水盆  $V$  は水位境界  $S_h$  もしくは分水嶺 (0 流量境界  $S_q$ ) で閉じられ、かつ不透水性基盤層が地下谷を形成しているため、標高が高い周辺領域にある地下水面端部が涵養をうけて傾斜基盤に沿って移動し得る<sup>1),2)</sup>。筆者らは、以前に平面的移動境界を扱うため、地下水モデルの修正を提案した<sup>3)</sup>。同修正手法は、0-拡張理論<sup>4)</sup>によって、移動境界  $S_t$  を有しながら地下水盆地全体で考察可能な地下水流動モデルを作成し、同時に有限要素方程式による定式化まで行ったものである。同法の特長は、定式化の時点で平面貯留域の変動を含めているため、逆解析を行う際に、従来の逆解析アルゴリズム<sup>5)</sup>をそのまま用いられる<sup>6)</sup>ことにある。本発表では、特に不均質な仮想地盤の逆解析について言及し、移動境界の挙動と地盤の不均質性が同定精度に及ぼす影響に重点をおいて議論する。なお、模擬観測値は順解析で作成し、それを用いた拡張 Kalman フィルタ有限要素法逆解析を行っている。

## 2. 逆解析同定・推定結果

筆者らが提唱した修正モデルの定式化のフローチャートは、図 1 に示すとおりである。均質／不均質地盤の相違による両結果の比較を行うため、図 2 に挙げられる等方透水な仮想地下水盆について、透水係数をそれぞれ  $[1]k_1 = k_2 = 100(\text{m/day})$ ,  $[2]k_1 = 70(\text{m/day})$ ,  $k_2 = 120(\text{m/day})$  (ただし,  $1(\text{m/day}) = 1.16 \times 10^{-5}(\text{m/sec})$ ) と設定した。また、両ケースについて、共通な模擬涵養の下で、1 日を 1 ステップとした計 2 カ月分 61 ステップの拡張 Kalman フィルタ有限要素法逆解析を行った。本逆解析において、透水係数の初期値は各々  $[1]200(\text{m/day})$ ,  $[2]100(\text{m/day})$  とした。また、観測は節点 A～E の計 5 点における擬似地下水位  $\tilde{h}$  で行うものとした。与条件下で、両解析から不均質地盤の逆問題への適用性を検討する。

図 3,4 に逆解析結果を示す。両グラフの構成は上から順に、模擬降雨・涵養量 (涵養図)、透水係数の同定値 (同定図)、水位境界上の F 地点における流出量 (流量図)、観測点 A～E における水位変化 (水位図) である。両水位図ともに、各地点の推定値は、全ての解析時期で精度良く推定がなされていることが伺えるが、いずれのケースにおいても、26 日目後における急激な水位上昇直後、1 ステップ分だけ水位観測による観測更新が行われなかった。これは、先験情報として与えた流動履歴が乏しいために起きたものと思われる。この観測更新誤差による同定値への影響が、両ケースの同定図から見てとれる。同定値は急上昇前までに一度は真値に収束する

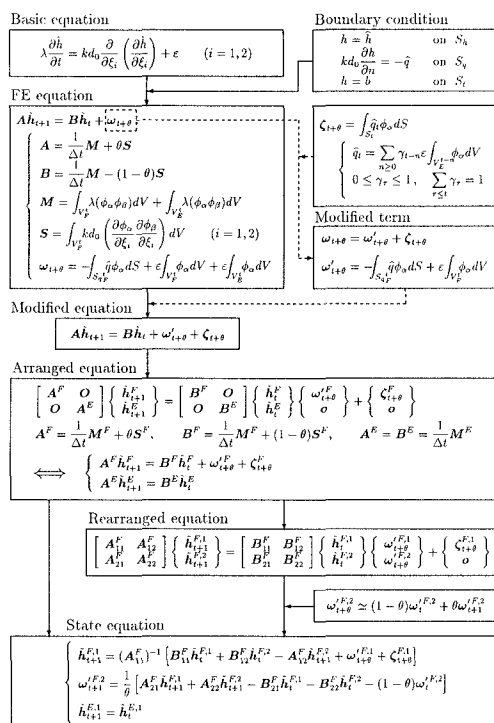


図 1: 修正モデル定式化

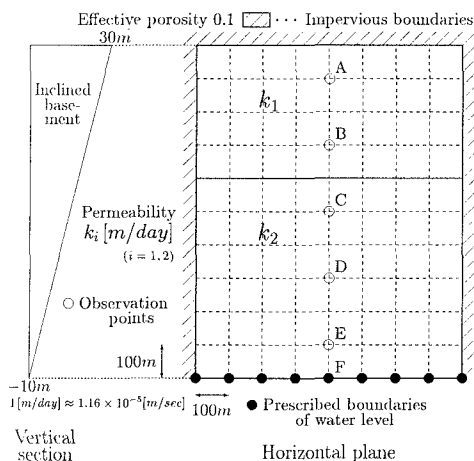


図 2: 仮想地下水盆

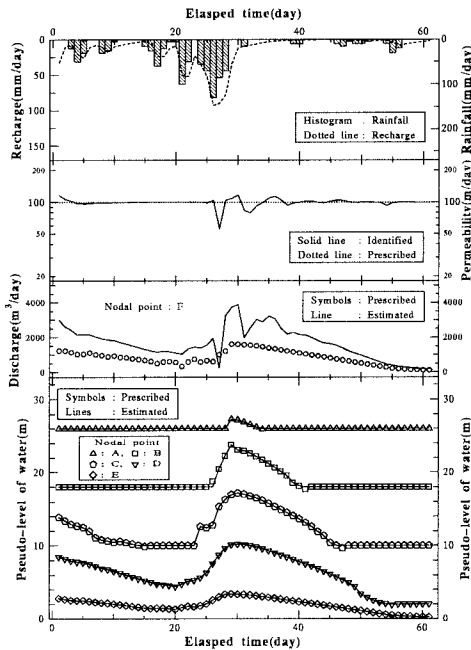


図 3: 均質地盤における逆解析結果

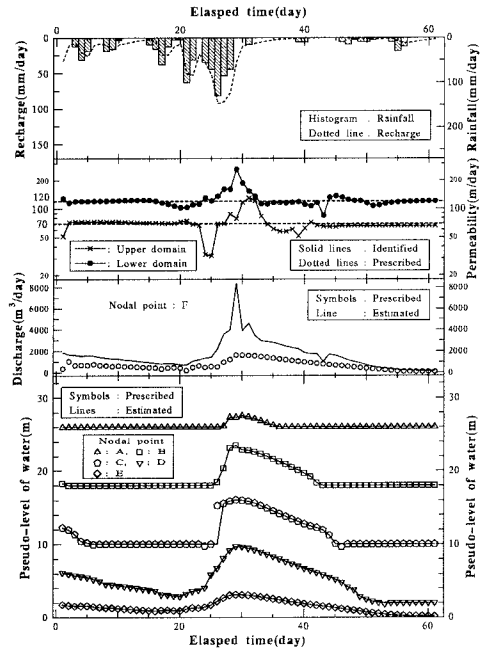


図 4: 不均質地盤における逆解析結果

ものの、大きな水位推定誤差により大きく更新され、直後は収束過程が一旦乱れた同定誤差の影響を持続している。最終的に両者とも真値に対して、ケース[1]およびケース[2]の下流域では1%以下の誤差で収束しているが、ケース[2]の上流域では、約5.5%の誤差で収束していた。この原因は、ケース[2]の43日以降は上流域の2観測点の水深が0の状態（「貯留無し」というデータ）を観測していた結果、観測更新の同定システムで用いる流動観測情報の不足が生じ、更新が停止して収束しまったためと推測される。

注目すべきことに、ケース[2]において、各領域の同定結果が解析期間中程で大きな観測更新を受けているが、ケース[1]との同定特性の比較によって、逆解析システムが上・下流域のいずれで流量を不足または過剰と推定して透水係数を更新したかを知ることができる。 $S_t$ の急上昇過程には、まず、上流域の $k_1$ のみがC地点付近での大きな水位推定誤差のために小さな値に更新され、それによって貯留量の過剰分を観測量に合わせて下流域、上流域の順に透水係数を大きくし収束させようとしていることがわかる。その後の $S_t$ の穏やかな下降移動に合わせて、 $k_1$ のみが小さな値に更新され、最終的に両同定値とも一定の誤差範囲で収束に向かったのである。また、ケース[2]において移動境界の下降時も両同定値は小さく更新されるが、同一流動物性域内では観測点が少ないために更新され易くなっていることが、観測点の多いケース[1]との比較から分かる。

### 3. 結論

筆者らが提唱する地下水流動に関する平面移動境界有限要素法の逆解析を試みたところ、透水係数同定に関して、先験情報の更新の少ないへ移動境界が急上昇するとき、同定値は乱れるが、最終的に精度良く収束することが分かった。ただし、不均質地盤上流域の同定においては、適切な先験情報が与えられることで、移動境界の下降挙動の有無に関わらず、透水係数の同定結果は良好になると思われる。

#### 参考文献

- 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) 岡 太郎：移動境界を考慮した有限要素法による地下水平面解析、応用水文、第4巻、pp.17-21、1992。3) 浜口俊雄・村上 章・長谷川高士：0-拡張された水平2次元地下水モデル解析、土木学会第50回年次学術講演会講演概要集3-A、pp.184-185、1995。4) 河原田秀夫：自由境界問題理論と数値解法、東京大学出版会、1989。5) 長谷川高士・村上 章・浜口俊雄：拡張 Kalman フィルタによる地下水モデルのパラメータ同定と地下水位変動量評価による揚水量決定、土木学会論文集、No.505/III-29、1994。6) 浜口俊雄・村上 章・長谷川高士：0-拡張された地下水モデルと逆解析への応用、土木学会論文集（投稿中）、1996。7) Neuman, S.P. and P.A. Witherspoon: Analysis of nonsteady flow with a free surface using the finite element method, *Water Resour. Res.*, Vol.7, No.3, pp.611-623, 1971。8) 齋藤武雄：移動境界伝熱学、養賢堂、1994。