

II-68

不均質帯水層における地下水流動および溶質輸送に関する数値実験

— 微地形による“水みち”の果たす役割について —

名城大学理工学部 正員 原田 守博

名城大学大学院 学生員 内山 幸治

1. はじめに 地盤沈下や地下水汚染など諸問題に対処するために、数値シミュレーションの手法を用いた広域地下水解析が行われている。地下水解析には、地下水頭分布を求める水収支解析と物質濃度を求める溶質輸送解析とがある。通常、これらの解析は、対象地域を小領域に分割するものの、各小領域は均質と仮定して行われている。しかし、実際の帯水層は必ずしも一様ではなく、種々の地層が入り組んだ不均質場となっている。例えば、沖積平野の中流部では、図-1に示すように旧河道や自然堤防帯などの微地形が複雑に分布しており、地下水の流れにとって“水みち”として働くことが考えられる。本研究では、こうした場の不均質性が地下水頭分布や流速分布、溶質の濃度分布の3者にどのような影響を及ぼすのかを数値実験により検討するものである。

2. 数値実験の方法 解析領域として、沖積平野中に自然堤防等を含む矩形の小領域(縦6km, 横3km)を考え、定常水頭分布及び溶質濃度の輸送過程を解析する。境界条件は、上流及び下流境界で水頭及び濃度一定、両側の境界からの水の出入りは無いものとする。濃度の初期条件は、領域全体で濃度ゼロとする。領域中における自然堤防など“水みち”の存在形態として、図-2に示す6タイプを設定した。こうした透水性の不均一性が地下水頭分布、流速分布及び濃度分布にどの程度変化をもたらすかを定常地下水の支配方程式と移流分散方程式を差分解析することにより検討した。

3. 計算結果 図-3は、水みちが無い均質な場合の地下水頭・流速・濃度の各分布を示す。これに対して、4つのタイプの水みちが存在する場合について、各分布の計算結果を図-4~7に示す。これらの図では、水頭と濃度の分布はコンターラインで、流速分布はベクトルで表示してある。縦断型水みち(図-4)では、水頭分布に水みちの影響が全く現れていないが、水みち部分の流速は、透水性の増加によって増大している。半縦断(上)型水みち(図-5)では、水みち部分の水頭勾配が周辺領域より小さく、尾根状の分布となっているにもかかわらず、水みち部分の流速は周辺領域より速い。そのため、水みちは溶質輸送に対してバイパスとしての役割を果たし、その先端部で溶質の強い拡散が認められる。半縦断(下)型水みち(図-6)では、水頭分布は水みち部分で谷状に窪んだ形状となり、濃度分布には水みちの先端部で溶質の吸い込みが生じている。斜め横断型水みち(図-7)では、水頭分布は水みちを軸とした対称的な形となっている。しかし、濃度分布では、溶質は水みちに沿って輸送・拡散されており、水みちに対して極めて非対称性の強い分布となっている。したがって、溶質は水みちの上流域よりも下流域に早く輸送されるため、上流端より等しい地点であっても汚染濃度は大きく異なる結果となる。

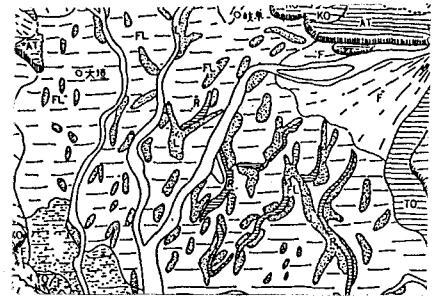


図-1 濃尾平野中流部の微地形

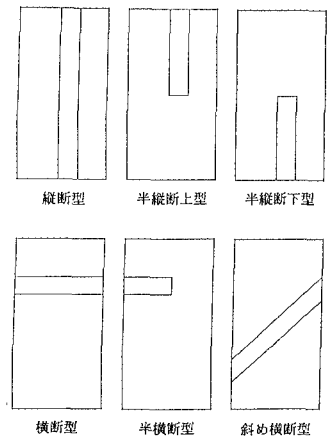


図-2 想定した水みち形態

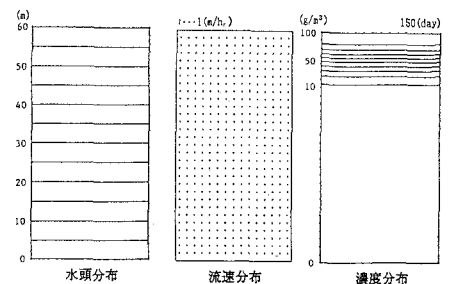


図-3 水みちが無い場合の解析結果

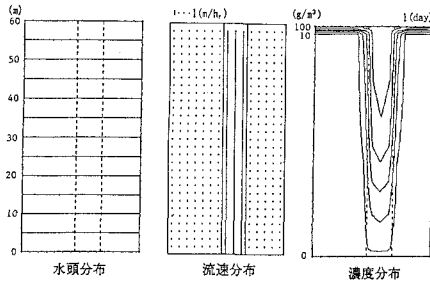


図-4 水みちが縦断型の場合

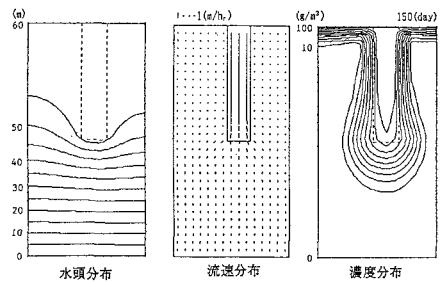


図-5 水みちが半縦断(上)型の場合

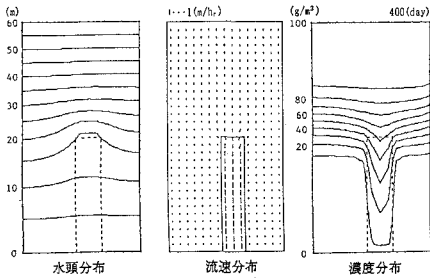


図-6 水みちが半縦断(下)型の場合

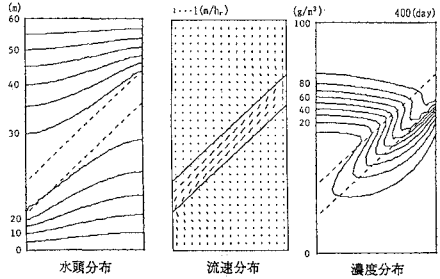


図-7 水みちが斜め横断型の場合

4. 考 察

水みちによる影響の程度を明確にするために、水みちが存在する不均質場の水頭分布・濃度分布と、均質場のそれらの分布とを比較して、水みちの存在による分布の歪みを次の指標により求めることにする。

$$\text{水頭分布の歪み: } I_H = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{H_i - H_0}{\Delta H} \right)^2}, \quad \text{濃度分布の歪み: } I_C = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{C_i - C_0}{\Delta C} \right)^2}$$

ここに、 H_0 , C_0 : 均質場での水頭及び濃度、 H_i , C_i : 不均質場での水頭及び濃度、 ΔH , ΔC : 上～下流端における水頭差及び濃度差、 N : 節点数である。上式によって求めた水みちによる水頭・濃度分布の歪みを図-8に示す。図中の実線は 水頭分布の歪み I_H 、破線は濃度分布の歪み I_C を表している。この図を見ると、横断型水みちでは、水頭分布・濃度分布ともに、他の水みちタイプに比べ歪みは小さく、水みちの影響はほとんど現れていないことがわかる。水頭分布の場合、半縦断型水みちの方が横断型水みちに比べ歪みが大きい。半縦断(上)型水みちと半縦断(下)型水みちとを比較すると、水頭分布では前者よりも後者の方が歪みがやや大きいのに対し、濃度分布では前者の方が後者よりはるかに大きく、大小関係が逆になっている。このことは、流下方向に短い水みちが存在する場合、それが上流側にあるか下流側にあるかという位置関係によって、濃度分布は大きな影響を受けることを意味している。

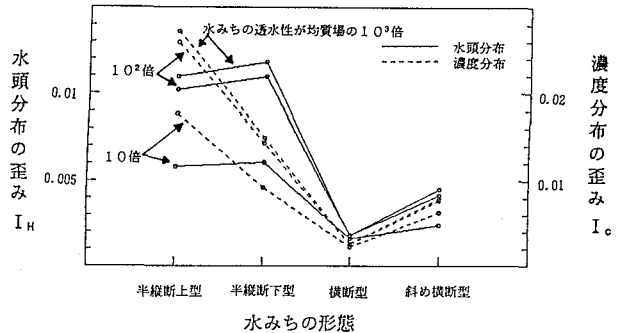


図-8 水みちの存在による水頭・濃度分布の歪み

5. おわりに 本研究では、限られたタイプについてではあるが、水みちの存在による水頭・流速・濃度分布への影響を数値解析により検討した。汚染源としてラインソースの場合を取り扱ったが、現実の地下水汚染ではポイントソースの場合が多く、水みちの形態によってはバイパス効果によって離れた下流地点で先に濃度が上昇することも起こりうる。したがって、溶質輸送の解析精度を高めるためには、帯水層中の水みち分布を把握することが必要不可欠であると考えられる。