

揚水条件の変化に伴う地下水塩分挙動に関する実験的考察

日本ユニシステム㈱	正 員	李 圭太
福山大学工学部	正 員	尾島 勝
福山大学大学院	学生員	大賀 祥一

1. まえがき

地下水の塩水化現象は、工業用水の過剰揚水に起因する被圧地下水帯のみならず、農業用・養殖漁業用としての揚水量の増大や河川改修工事の進歩に伴う漏水量の減少に起因するものとして、海岸部低平地の自由地下水帯においてもかなり深刻な社会問題になりつつある。侵入塩分挙動は、揚水条件の変化や護岸矢板などの開口条件（根入れ深さ）の相違によって異なる。したがって、このような複合的な人為条件の変化に伴う塩分侵入・分散機構ならびに侵入阻止効果の解明が急務である。本研究は砂層模型を基本とするものであり、侵入塩分のフラックス値に着目して、地下水塩分の挙動を実験的に解明することを主要課題としている。

2. 実験方法

本研究では、従来とほぼ同様の砂層模型を用いているが、砂層下流端($X=0$)における塩分濃度計測に改良を加えている。砂層模型は、図-1 にその諸元を示したように、長さ 207cm、幅 43cm、高さ 45cm の単一砂層であり、使用砂の物理諸元は、 $d_{10}=0.29\text{mm}$ 、 $U_c=2.28$ 、

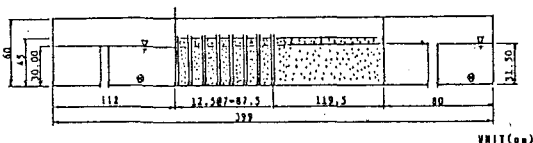


図-1 実験水槽

$ks=0.044\text{cm/sec}$ 、 $\lambda=0.48$ である。砂層下流端から 12.5cm 間隔で中心線上に設置された 8 本の濃度センサーが設置されている。塩水槽水深 h_s は 30cm 淡水槽水深 h_f は 31.5cm である。

実験方法は次のとおりである。1) まず、所定の水位条件 ($\Delta h=1.50\text{cm}$)・矢板開口条件の下に淡水定常流れをつくり、上流側淡水槽への供給流量と余水吐からの越流流量、下流側余水吐からの流出流量を測定して、初期定常浸透流量と砂層平均透水係数を決定する。2) 下流側塩水槽に止水板をはめ、槽内の淡水を塩水 ($\rho_2=1.024\text{g/cm}^3$ 、 $\text{Cl}^-=18300\text{ppm}$) に置き換えヘッドタンクからそれぞれ淡水・塩水を供給して上下流貯水槽水深を所定の水深に保つ。

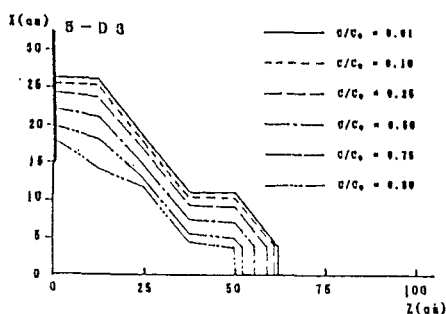


図-2 等塩分濃度線図

3) 止水板をはずすと同時に実験開始となり、必要計測量の測定が行われる。測定時間間隔は実験開始から 3 時間までは 5 分、5 時間までは 10 分、7 時間までは 15 分、9 時間までは 20 分、その後は実験終了まで 30 分とした。揚水量は、初期定常浸透流量のほぼ 1.5 倍のいわゆる過剰揚水とし、その揚水位置と揚水高さを変えている。各計測時における各プローブの測定濃度値に基づき、塩水化域（相対塩分濃度 $C/C_0 \geq 0.01$ ）の決定と相対塩分濃度 ($C/C_0=0.01, 0.10, 0.25, 0.50, 0.75, 0.90$) に対する侵入流速の算出と等濃度線図（図-2）の作成を行う。

3. 塩分濃度フラックスの経時変化に基づく考察

塩分侵入過程を定量的に比較考察する物理量として、各井戸断面を通過する塩分量（平均濃度フラックス）を用いた。その算出方法は次のとおりである。1) まず、各計測時に対して作成された等塩分濃度線図から、対象井戸断面よりも内部へ侵入している総塩分量を計算する。すなわち、等濃度線間の閉領域の面積にその等濃度線図の平均濃度を乗じて塩分量としこれを加算して総侵入塩分量が求まる。2) 次にこの総侵入塩分量の差を計測時間で除しさらに塩水水深で除して単位時単位面積当りの侵入塩分の増加量が求まる。これが各

断面（井戸）各時間における塩分濃度フラックスである。このようにして求めた塩分濃度フラックスの経時変化図の一つのシリーズとして塩水槽近傍上部揚水条件の解析結果を図-3に示した。これらの経時変化図より次のような考察結果を得る。

1) フラックスの経時変化の様相は、実験開始 200 分程度までの初期では、変動幅が大きくまた、井戸ごとにかなり異なっているといえる。しかし、それ以後の経時変化は、各井戸とも類似の変動の様相を示していることが

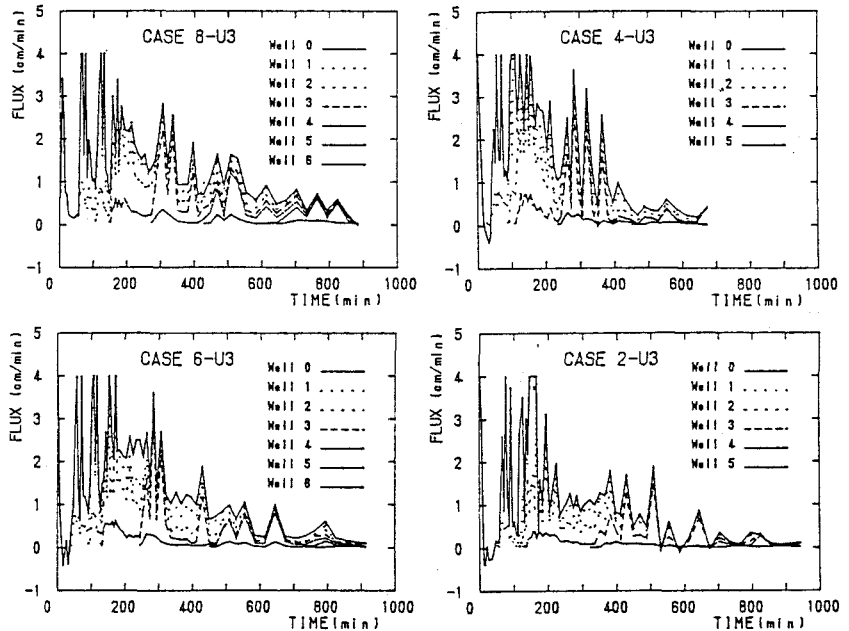


図-3 FLUXの経時変化図

- わかる。とくに揚水の影響が強い実験ケースほどその傾向が明確である。すなわち、塩分侵入過程の初期では、塩分挙動の非線形性、非定常性が強いことが推測される。
- 2) 無揚水条件下では、矢板開口比の減少とともに濃度フラックス値は、急速に小さくなり、開口比 6/10 以下では、フラックス値は微小である。以後は各井戸とはほぼ同じ低濃度フラックスを保持した定常な侵入過程である。したがって、矢板による塩分侵入阻止効果が大きいといえる。
- 3) 塩水槽近傍上部揚水条件のU-3系列についてみれば、いずれのケースでも 200分までの初期段階において大きなフラックス値を示しており速やかに多量の塩分が侵入しているといえる。また、矢板開口比 5/10 の実験ケースを除く他の 5 ケースでは、No.0~No.3の井戸において 300分から 400分に明確なピークが認められ、その後もかなり大きなフラックス値を示しながら塩分侵入過程が継続しているのに対しケース5-U3では 200分以後は、フラックス値は急速に小さくなり、塩分侵入域もNo.2井戸までにとどまっている。したがって、U3系列の場合は、矢板開口比 5/10 で阻止効果が最も大きくなるといえる。
- 4) 塩水槽近傍下部揚水のD-3系列についてみれば、300分~400分においてU-3系列ほど明確なピークは認められず、また、フラックス値もU-3系列に比べてやや小さい。このことは、同じ矢板開口比であれば揚水高さが下部の方が塩分侵入阻止効果が大きいといえる。
- 5) 塩水槽遠方上部揚水条件のU-6系列についてみれば、矢板開口比が 10/10, 8/10, 6/10, 5/10 の場合には 400~500分、および 700~800分においてフラックス値にかなり明確なピークが認められる。したがって、この条件下では開口比が 4/10 最も有効な阻止効果を発揮しているといえる。
- 6) 塩水槽遠方下部揚水条件のD-6系列についてみれば、開口比 5/10 でフラックス値はきわめて小さくなり明確な阻止効果が認められる。開口比をさらに 4/10, 2/10 と小さくしてもフラックス値は逆に増大し塩分侵入を助長することになり上部揚水条件の 4-U6, 2-U6に比べて塩分侵入阻止効果は劣る。

4. あとがき

今回の報告では、塩分侵入過程を侵入塩分の濃度フラックスの経時変化の考察に力点をおいた。今後それより流速等を算出し現地における現象解析を進め、その適用性の評価を行いたい。