

徳島大学工学部

正 員 尾 島 勝

八重建設コンサルタント

正 員 〇 垂 水 陽一

1. まえがき

一昨年および昨年度と地下水塩水化現象についての研究を報告してきた。^{1), 2)} 今回は主に滞水層内の塩分濃度の変化から、地下水塩水化における分散現象の場所的・時間的变化について考察を行う。

2. 実験方法

塩水化現象に及ぼす空隙の幾何学的条件の違いによる影響を調べるため砂層を2種類(透水係数 $k=0.28\text{ cm/sec}$, $k=0.56\text{ cm/sec}$), また密度差の違いによる影響を調べるため密度差を2種類($\Delta\sigma=0.04$, 0.37)とした。また、揚水条件の違いとして、揚水地点を3か所、揚水口深さを2か所、揚水量を4種類変えて合計31タイプの実験を行った。なお、実験装置については前年度と同様であって説明は割愛するが、塩水は KMnO_4 で着色して目視できるようにしてある。

3. 分散効果に関する考察

準一次元地下密度流の仮定を用いれば、非定常理論による塩水楔の先端の位置と時間との関係は次式で表わされる。

$$\frac{x_0 x}{4\lambda \sqrt{\pi}} t = -\frac{1}{3} \left(\frac{\sqrt{x_0}}{\sqrt{\pi}} - 1 \right)^3 - 2 \left(\frac{\sqrt{x_0}}{\sqrt{\pi}} - 1 \right) - 8 \log \left(2 - \frac{\sqrt{x_0}}{\sqrt{\pi}} \right) + 0.212 \quad (1)$$

ここに、 $\eta = \frac{\epsilon k_s \sqrt{L}}{2\sigma \lambda}$, k : 透水係数, $\Delta\sigma$: 淡・塩水槽の水
位差, λ : 空隙率, L : 定常時の楔侵入長, t : 時刻, x_0 : 楔

先端の位置, $\epsilon = \frac{\sigma}{\sigma_s}$, σ_s : 塩水槽水深である。図-1に無揚水の実験A-1($k=0.56\text{ cm/sec}$, $\epsilon=0.04$), A-1($k=0.28\text{ cm/sec}$, $\epsilon=0.04$), E-1($k=0.56\text{ cm/sec}$, $\epsilon=0.37$)の3タイプにおける目視から求めた実験結果と式(1)との比較を示す。図において、横軸は無次元化された時刻、縦軸は無次元化された塩水槽からの距離を示し、図中の曲線が理論値、各記号が各実験結果の値を示している。図より3タイプとも、理論式よりも現象が速く進んでいることがわかる。この実験値と理論値との差が分散効果による楔の侵入と考えるならば、各実験において侵入の様相が異なっていることから、分散効果の強さは、透水係数、密度差の違いによつて異なっていることがわかる。この分散効果の場所的・時間的变化および砂層の透水係数、密度差、揚水条件の違いによる変化について滞水層内の塩分濃度変化から詳しく考察する。

一例としてA-1(無揚水, $k=0.28\text{ cm/sec}$, $\epsilon=0.04$)の塩分濃度変化曲線を図-2に示す。図は縦軸に (C/C_0) 濃度(ppm)、横軸に時刻 t (分)をとり、鉛直断面内で6点($z=2, 7, 12, 17, 22, 27\text{ cm}$)の塩分濃度変化を上から順に示してある。なお実線はN0.1($x=15\text{ cm}$)、破線はN0.2($x=30\text{ cm}$)、一点鎖線はN0.3($x=45\text{ cm}$)の各井戸内の塩分濃度変化を示している。図より各測点において塩分の侵入現象に違い、様相がみられる。 x 方向にみれば、塩水槽に近い井戸ほど曲線の立ち上がり(勾配)が急で、早く限界濃度に達している。また z 方向にみれば、楔下層部の点になるほど曲線の勾配は急である。この

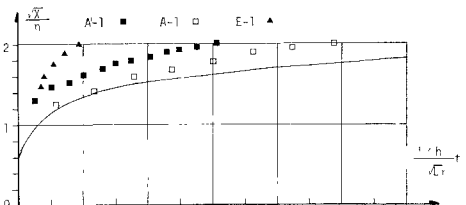


図-1 塩水楔先端の侵入状況

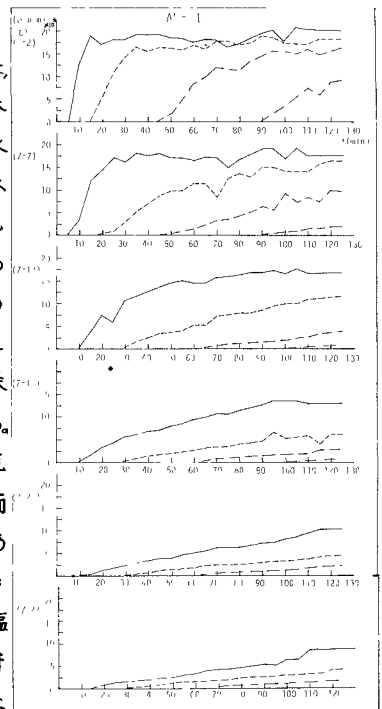


図-2 濃度変化曲線(無揚水)

曲線のそれぞれ違、た形により分散効果による塩分侵入現象が大略的に説明される。もし塩分の侵入が密度効果のみで生じているならば各曲線は同じ様相を呈するはずである。しかし、図のように違、た様相を呈しているということは分散効果が場所によ、て違、うということである。曲線のこう配が急であるほど分散効果が大きであると考えられることから、塩水槽に近くしかも楔内下層部の点になるほど分散効果による塩分の侵入度は大きであることがわかる。しかし、そのような点は限界濃度に達するのが早いことから分散現象が生じている時間は短く、以後密度効果のみによ、て塩分の侵入が生じていることがわかる。それに比べて、塩水槽から離れ、また上層部の点になると、一定の割合で濃度は上昇し続けていることから、小であるけれども分散効果による塩分の侵入がなおも生じていることがわかる。また、目視で得た淡・塩界面の挙動と比較した場合、紙面の都合上図は割愛したが、界面が定常状態に達し静止してから楔上層部ではなおも濃度は上昇しており高濃度化される傾向がみられる。塩水化現象を正しく説明するには楔理論だけでは不十分であることがわかる。つぎに、図-2と同様な図をA-1, E-1について描いて透水係数、密度差の違いが分散効果に与える影響を検討した結果、透水係数が大きいほど、また密度差が大きいほど各測点とも分散効果による塩分の侵入は大きであると判断できた。

揚水した場合の結果の一例としてC-1 (NO.4, 上部揚水, 過剰揚水) を図-3に示す。なお、図についての説明は前述と同様である。一般に、揚水した場合でも濃度変化曲線は全体的な様相として塩水槽に近い地点ほど、楔上層部の地点ほど濃度こう配が緩やかになるという傾向は、無揚水の場合と似ているが、その濃度こう配の値等に変化がみられる。それらについて揚水条件の違い別に考察すると、i) 揚水量が多くなるほど分散効果は増大していること、ii) 上部揚水をした場合、楔下層部においては下部揚水をした場合と大差ないが、上層部において分散効果は増大していること、iii) 塩水槽に近い井戸で揚水するほど分散効果は増大していることがわかった。しかし、滞水層内への淡水流入量以下で揚水すると、濃度変化は無揚水時と差はなくな、ている。これは目視で捉えた淡・塩界面についても言えることであり、適正揚水をすれば揚水による楔侵入への影響はほとんどなくなるということである。

つぎに、以上の事柄を数値で捉えるため分散定数 D_x , D_y の推定を試みた。一例としてA-1の結果を表-1に示す。表より分散定数は約 $10^{-4} \text{ cm}^2/\text{sec}$ のオーダーでやや小さいが、その変化には一定の傾向があることがわかる。それは場所的にみると塩水槽に近い地点ほど、また上層部の地点ほど値が小さいことである。また時間的にみると下層部では急激に大きい値が求まり、徐々に減少しているが、上層部では初期に値が増大しやがてピークを迎え、ついで減少するという塩分濃度曲線の変化から求ま、た結果とほぼ一致している。

4. あとがき この研究においては、準一次元流の仮定を用いて揚水を伴う場合の非定常過程理論式を誘導したが、現象が解析結果と合わず今後改良を加えて、次の機会にでも紹介したい。

参考文献 1) 尾島・垂水：沿岸部自由地下水における塩水楔の挙動に関する実験，第31回年講，II-126，1976.10. 2) 尾島・垂水：沿岸部自由地下水の揚水に伴う塩水楔の挙動，第29回中四，pp.97-102，1977.5. 3) 尾島：揚水による塩水化現象の変化に関する解析，第24回海講，115，1977.11.

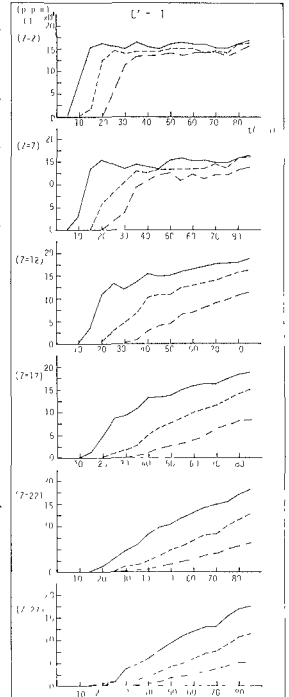


図-3 濃度変化曲線(揚水)

表-1 分散定数 ($\times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{sec}$)

Dy	t	No	分散定数 ($\times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{sec}$)			
			1	2	3	4
25	No 2	1	2.20	0.595	2.290	0.017
		2	0.897	0.525	1.400	0.083
		3	0.760	0.162	0.933	0.210
		4	0.504	0.594	0.522	0.320
35	No 2	1	0.493	0.195	0.358	0.545
		2	0.610	0.217	0.300	0.496
		3	0.520	0.518	0.437	0.111
		4	0.010	0.115	0.600	1.150
55	No 2	1	0.365	0.150	0.218	0.013
		2	0.708	0.683	1.920	0.543
		3	0.260	0.650	0.334	0.038
		4	0.600	0.340	0.847	0.346
65	No 2	1	0.552	0.730	0.247	0.035
		2	0.510	0.456	1.210	0.496
		3	0.423	0.324	7.000	1.160
		4	0.060	0.338	0.244	0.042
75	No 2	1	0.720	0.298	0.682	0.452
		2	0.519	0.386	2.620	0.842
		3	0.090	0.332	0.246	0.040
		4	0.586	0.502	0.672	0.476
85	No 2	1	0.622	0.771	0.050	0.734
		2	0.090	0.552	0.671	0.040
		3	0.515	0.305	0.682	0.497
		4	0.181	0.188	1.960	0.609
95	No 2	1	0.090	0.293	0.244	0.040
		2	0.520	0.305	0.680	0.472
		3	0.514	0.194	1.790	0.561
		4				