

徳島大学工学部 正員 ○尾島 勝
徳島大学大学院 学生員 室水陽一

① まえがき 近年、わが国における沿岸部地下水の塩水化現象の被害が各地で深刻化してきている。それらの原因は種々考えられるが、本研究ではその主原因である地下水揚水との関連において、地下水帯への塩分侵入の挙動を明らかにするとともに、塩水化防止策を見出すことを目的として実験的検討を行った。

② 実験装置・実験方法 実験水槽本体は長さ300cm、幅40cm、高さ60cmであり、その中央部200cmに川砂を高さ50cmまで敷き渾水砂層をつくり、集水孔を切、内径5cmの塩化ビニールパイプ9本を砂層中心線上20cm間隔に打設して揚水戸および観測戸とした。使用した川砂は粒径2.5mm~0.15mm、有効径0.28mm、均等係数2.46、比重2.47であり、定水位試験による透水係数は0.19cm/secである。中央部200cmの前面は5cm間隔に目盛付けしたアクリライト張りであり、背面には長さ方向20cm間隔、高さ方向10cm間隔にピエゾ水頭取出し口が取り付けられている。両端貯水槽の淡水深(h_1)および塩水深(h_2)ならびに塩水密度(ρ_2)の設定は、楔の侵入長を100cmとして、水理公式集の野滴の式を用い、塩分濃度測定計器の精度をも勘案して、 $h_1=3$ cm、 $h_2=30$ cm、 $\rho_2=1.04$ とした。また、塩水は侵入状態が直視できるようにKMnO₄で着色されている。実験タイプは表-1に示すとうりであり、表-1 実験タイプ

TYPE	揚水	揚水戸	観測戸	揚水量
A-1	無			
A-2	無	NO.4	H	Q ₂
B-1	有	NO.2	L	Q ₁
B-2	有	NO.2	H	Q ₁
B-3	有	NO.2	L	Q ₂
B-4	有	NO.2	H	Q ₂
C-1	有	NO.4	L	Q ₁
C-2	有	NO.4	H	Q ₁
C-3	有	NO.4	L	Q ₂
C-4	有	NO.4	H	Q ₂

り、揚水戸No.2、No.4は塩水槽(下流端)からの距離がそれぞれ40cm、80cm、であり、ストレート位置し、Hはそれぞれ戸底面より15~20cm、23~28cmの5cm区間である。揚水量Q₁、Q₂はそれぞれ600cc/min、800cc/minである。実験開始までは仕切り板により、塩水の渾水砂層内への侵入は防止されており、実験開始と同時に仕切り板をはずす。同時に、①各戸における塩分濃度、②前面に現われる楔形状のスケッチ、③揚水した水量と塩分濃度を5分ごとに計測し、各実験とも定常状態に達するまで続ける。

③ 塩水楔の侵入に関する考察 ここでは、スケッチ

された楔形状をもとに考察を進める。実験結果の一例としてA-1を図-1に示す。図より一般に塩水楔は侵入開始初期においてその侵入速度は速く、時間経過とともに遅くなりやがて定常状態に達する。また、上層部、下層部の侵入状況をみれば下層部の方が速い。しかし、揚水した場合、その侵入速度は揚水戸に近づくにつれて速くなり、揚水戸を過ぎると逆に減少する傾向がみられ、いわゆる揚水による吸入効果が現われる。これを実験タイプ別に比較し考察する。表-2に塩水楔の先端が、表-3に上層部が10分間に移動した距離(cm)を示した。なお、表中の○印は楔の先端および上層部が揚水戸地点を通過した時刻を示している。

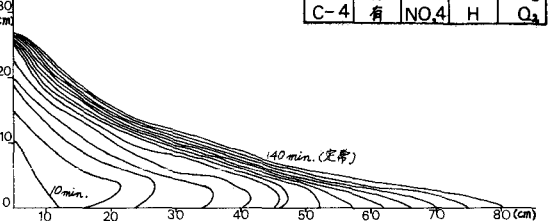


図-1 表-2 塩水楔先端の移動距離

表-2は、実験タイプ別に比較し考察する。表-2に塩水楔の先端が、表-3に上層部が10分間に移動した距離(cm)を示した。なお、表中の○印は楔の先端および上層部が揚水戸地点を通過した時刻を示している。

1) 揚水地点の違いによる比較 表-2より、楔の先端は一般に侵入初期においてNo.2の戸で揚水したB系列の方が侵入速度が速く、その増加率も大きい。揚水地点を通過した後は逆にその減少率が大きくなる。また、表-3より、楔の上層部も同様にB系列の方が侵入速度が速く、楔の形状は上に凸の形状を呈する。

2) ストレートの位置の違いによる比較 一般に上部揚水をした方が楔の侵入速度が速いことが表-2,3より明らかである。すなわち、上部揚水を行なう方が塩水楔の挙動に与える影響が大きい。

3) 揚水量の違いによる比較 表-2,3より、揚水量が多いほど楔先端の侵入速度が速く、揚水戸に到達する

表-3 塩水楔上層部の移動距離

TYPE	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
B-1					2.5	2.5	0.5				
B-2				4.5	2	2	1	②			
B-3				9	②	3.5	3.5	1.5	1		
B-4			5	4	4.5	③	3	2.5	1		
C-1				3	1	0.5	1	2	1		
C-2				2	1.5	3	4	1	0.5		
C-3				4	0.5	1.5	3	3	2.5	4	1.5
C-4					4.5	2.5	3	2.5	3.5	1.5	

までの侵入速度の増加率が大きく、通過後の減少率が大きくなる。ことがわかり、梗上層部においても同様の傾向がみられ揚水量が多いほど塩水楔の挙動に与える影響が大きいと判断される。

つぎに、塩水化防止という観点から各揚水条件の違いによる楔の最大侵入長を考えれば、図2に示したようにB系列ではいずれも無揚水のA-1の侵入長よりも短く、明らかに楔の侵入は阻止されていること、一方、C系列では逆に侵入長は長くなり楔の侵入を助長していることがわかる。また、揚水量が少ないほど、下部揚水ほど侵入長は短くなり、塩水化防止策としては常識的な結果が得られる。

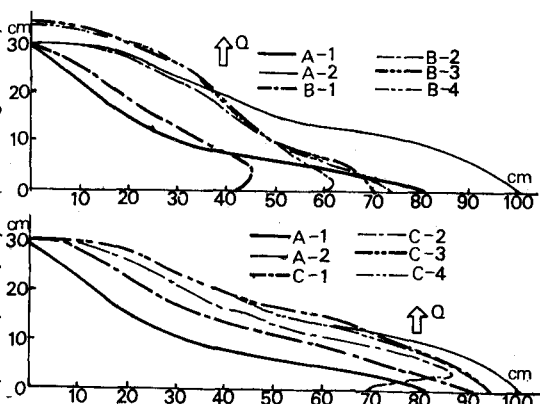


図-2 塩水界面の形状

しかし、揚水地点をなるべく塩水境界近くにしてたとして侵入長が短くな、たとしても楔形状が図2にみられるように極端に上に凸になる傾向があることから、揚水井戸より下流側の地下水帯はかなり上部まで塩水域が広がることになる。したがって、塩分濃度の場所的な変化をもあわせて十分検討しなければならない。

田 塩分濃度変化に関する考察

実験結果の一例を図3に示した。実線、破線はそれぞれ上層部、下層部の塩分濃度を、一点鎖線は揚水の塩分濃度を、○印で示した数字は井戸番号を表わす。

各井戸の下層部における塩分濃度の時間変化は、破線で示した曲線が平行でなく、その変化率は①、②、…の順に小さくなり、下層部濃度の時間変化の様相が非定常性を呈することを示している。一方、上層部では直線的な定常変化を示していることがわかる。

図3から各井戸の限界濃度とその到達時間を読み取り考察した。揚水した場合、揚水井戸より下流側の限界濃度はA-1に比してかなり高く、上層部の濃度も下層部の濃度と同程度にまで高まり、到達時間もかなり短縮される。一方揚水井戸より上流側では低濃度にとどまり明らかに塩分侵入は阻止されている。これを実験タイプ別に比較し考察する。

1) ストレータの位置の違いによる比較 揚水量の小さい系列については濃度変化特性に若干の相違がみられるが、揚水量が大きい系列ではほぼ同様の変化特性であり、あまり顕著な違いを見出せなかった。今後測定方法、ストレータ間隔などを検討する必要がある。

2) 揚水量の違いによる比較 B系列の実験では揚水量の多い実験の方がいずれの測点(井戸)についても限界濃度は高く、反応速度も速く、明確な相違がみられたが、C系列では各測点における濃度変化特性にほとんど相違がみられず、このことから揚水量よりもむしろ揚水地点の相違による影響が大きいと思われる。

以上のことをさらに明確にするために、無揚水のA-1の実験において楔の侵入がとまり定常状態に達した後、引き続きNo.4で揚水したA-2をみれば、楔はさらに侵入し、各測点(井戸)における塩分濃度も高くなることから揚水地点、揚水量について十分な検討を加えないで揚水を行えば、さらに塩水化域の拡大と塩分の高濃度化が起こることという点に注意しなければならない。

田 あとがき

本実験は本研究テーマの第一段階であり、得られた結果から塩水楔の挙動を侵入性状の非定常性と塩分濃度変化の非定常性に着目し、この両者を総合的に判断して塩水化防止策を見出すべきであることを指摘しようとしたものである。しかし、まだ理論的な検討にまでは至らず、今後さらに努力していきたい。

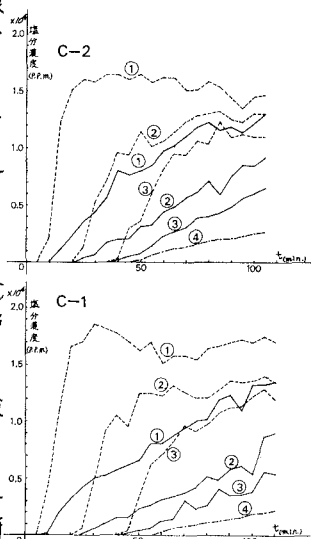


図-3 塩分濃度変化図