

地下水塩水化の阻止効果に関する実験的研究

徳島大学 工学部 尾島 勝
徳島大学 大学院○向井 升五

1. まえがき; 地下水は、利用価値が高く、農・工業あるいは生活水として活用されてきた。しかしその反面無計画な揚水によって特に海岸沿岸部、さらにはかなり内陸部まで塩水化が進行して、地下水環境が悪化しているのが現状である。そこで、砂層モデル実験を行い塩分侵入過程を把握し、また護岸矢板が塩分侵入に対してどのような効果があるか、実験的論証を見い出そうとするものである。

2. 実験方法および実験タイプ; 実験水槽は図-1

に示すものであり、塩水側水深を35.2cm、淡水側水深を36.7cm、塩水濃度($C_0=18500\text{ppm}$)を一定に保ち各観測井戸には水槽底から3.75, 11.25, 18.75, 26.25cmの位置に電気伝導度計測プローブを設置した。なお測定時間間隔は5分であり異常になるまで電気伝導度を測定した。実験タイプは表-1に示してあるが、ダツシュの有無は矢板の有無を表わし、(')、(")は矢板開口幅が20cm, 10cmを意味し、揚水位置が水槽底より3~8cmと下部揚水(lower), 20~25cmを上部揚水(upper)とし、数字1および3で表現している。揚水量は淡水流量の約1.5倍で過剰揚水とした。なおSB, SCというのは、Aタイプ終了後に揚水条件を付加するものである。

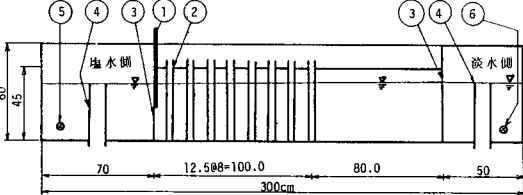


図-1 実験水槽

表-1 実験タイプ

TYPE	揚水井戸	揚水高さ (cm)	定常流量 (cc/min)	揚水量 (cc/min)	透水係数 (cm/sec)
A -0	-	-	161	-	0.218
B -1	NO.3	lower	157	236	0.209
B -3	NO.3	upper	154	240	0.207
C -1	NO.8	lower	146	220	0.201
C -3	NO.8	upper	148	223	0.197
SC -1	NO.8	lower	147	222	0.197
A' -0	-	-	115	-	0.181
B' -1	NO.3	lower	118	175	0.178
B' -3	NO.8	lower	118	176	0.178
SB' -1	NO.3	lower	115	173	0.181
SC' -1	NO.8	lower	117	173	0.178
A'' -0	-	-	93	-	0.151
B'' -1	NO.3	lower	106	159	0.175
C'' -1	NO.8	lower	90	154	0.149
SB'' -1	NO.3	lower	95	155	0.151
SC'' -1	NO.8	lower	100	155	0.167

3. 実験結果の考察; 測定された電気伝導度を塩素イオン濃度に換算し、それに基づいて塩分濃度感知開始時刻表、等塩分濃度線図、塩分侵入速度図および塩分濃度フラックス表を作成することにより塩分挙動を把握し次いで一次元移流分散現象として分散係数による評価を行った。

3.1. 塩分侵入阻止効果; 図-2, 図-3より無揚水実験系列で、塩分侵入速度および塩水化域を比較すれば、矢板開口比減少による塩分侵入阻止を大きく期待できるとがわかり、次いで下部揚水実験系列について同様な考察を行えば塩水槽に近い所で過剰揚水がなされた場合、A系列に比べ矢板開口比減少による塩分侵入阻止効果は、ほとんど期待できず揚水による吸引の影響として逆に塩分侵入を助長することになりかねないといえよう。表-2の濃度フラックス表において $\bar{C}_{A0}$, $\bar{C}_{SC0}$ をみれば揚水により塩水化域が増大、あるいは高塩分濃度の侵入が増大していることがわかる。この $\bar{C}_{SC0}$ と縦軸に、矢板開口比を横軸にとり塩分侵入阻止効果を評価したものが図-4である。この図の直線の傾きから開口比が1.0から0.57になる場合、A系列より阻止効果が大きいのはSC系列のみである。またA系列、C-1系列を除く系列では開口比が0.57から0.28になる場合に逆に塩分侵入を助長しているといえよう、図では示さなかったが、

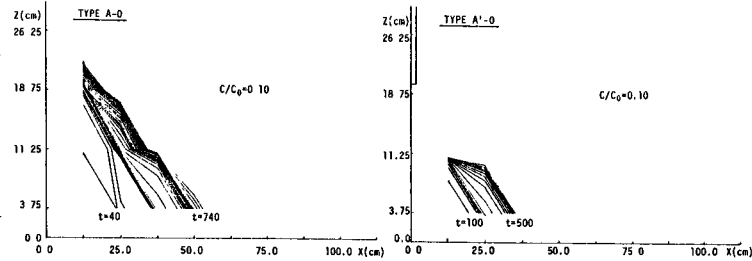


図-2 等塩分濃度線図 (A-0, A'-0)

水の場合、A系列に比べ矢板開口比減少による塩分侵入阻止効果は、ほとんど期待できず揚水による吸引の影響として逆に塩分侵入を助長することになりかねないといえよう。表-2の濃度フラックス表において $\bar{C}_{A0}$, $\bar{C}_{SC0}$ をみれば揚水により塩水化域が増大、あるいは高塩分濃度の侵入が増大していることがわかる。この $\bar{C}_{SC0}$ と縦軸に、矢板開口比を横軸にとり塩分侵入阻止効果を評価したものが図-4である。この図の直線の傾きから開口比が1.0から0.57になる場合、A系列より阻止効果が大きいのはSC系列のみである。またA系列、C-1系列を除く系列では開口比が0.57から0.28になる場合に逆に塩分侵入を助長しているといえよう、図では示さなかったが、

侵入速度については、 $z=3.75\text{cm}$ の方が $z=1.25\text{cm}$ のそれよりもかなり大きく、また Sc_0 値の相違による速度変化より高さの相違による速度変化の方が大きいことがわかり、矢板開口比減少による侵入速度減少が顕著に認められるには、A系列のみで、B-1系列、C-1系列では揚水による強い影響を受けることが実証された。

32. 分散係数による塩分侵入現象の把握;

$$\text{塩水流れの連続式 } \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{\partial(AU)}{\partial x} = 0$$

と考慮して分散物質の保存則を要約すれば $\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(U C)}{\partial x} = -A \frac{\partial \langle \hat{C} \rangle}{\partial x} \dots (1)$

ここに A; 任意断面の塩水化水深

U; 塩水侵入速度の断面平均値

C; 断面平均濃度, $\langle \hat{C} \rangle = D_L \frac{\partial C}{\partial x}$

(1)式は、

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} + C \frac{\partial U}{\partial x} = -D_L \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{1}{h} \frac{\partial C}{\partial x} \right)$$

と書かれこれが分散係数を求める基礎式で、 h は $Sc_0=0.1$ による塩水化水深、

Uは $Sc_0=0.5$ の塩分濃度の $z=3.75\text{cm}$ における各井戸間の平均侵入流速を与えた。上式を差分化し $\Delta t=10$ 分、 $\Delta x=12.5$

cm とし D_L を算出しその時間的变化を図示したものが図-5である。 D_L はNo.1井戸において、A-0で $2.6 \times 10^3 \text{cm}^2/\text{sec}$ 、B-1で $8.5 \times 10^3 \text{cm}^2/\text{sec}$ 、C-1で $5.5 \times 10^3 \text{cm}^2/\text{sec}$

に収束している。このことから矢板開口比減少が分散係数の減少として、また揚水による吸引の影響が分散係数の増大として実証される。

4. 結論

i) 無揚水の場合、矢板による塩分侵入阻止効果は大きい。

ii) 揚水が付加された場合、吸引との相乗効果により塩分侵入阻止効果が最大となる矢板開口比が存在する。

iii) 決壊界面形成後に揚水するものは、最初から揚水条件が付加されるものより塩水化が大きい。

iv) 塩分侵入現象は、矢板開口比減少による分散係数の減少、揚水条件の付加による分散係数の増大、またこれらの相乗効果として分散係数の複雑な変化によりとらえられた。

参考文献 1) 尾島勝・鎌田義人・板東敏雄; 不圧地下水層への塩分侵入に対する揚水および護岸矢板の効果に関する実験的研究, 第27回海岸工学講演会論文集, pp 537~541, 1980.

2) 尾島勝・西内剛三; 不圧地下水帯への塩分侵入阻止効果に及ぼす揚水履歴の影響に関する考察, 第27回水理講演会論文集, pp 627~632, 1983.

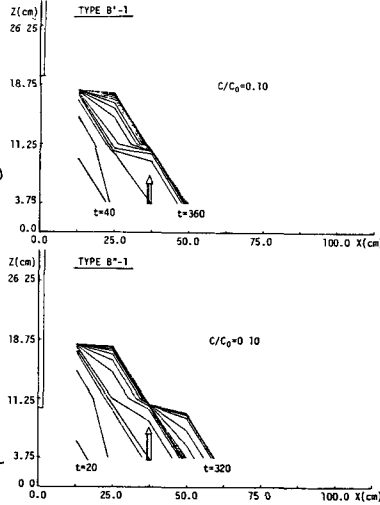


図-3 等塩分濃度線図(B'-1, B''-1)

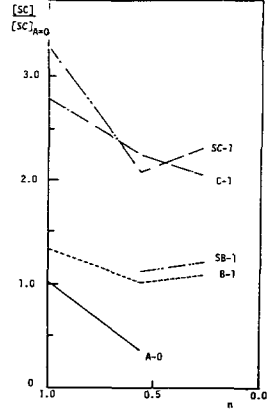


図-4 評価図

表-3 塩分濃度フラックス表

TYPE	C/C ₀ の区分による塩分 S(cm ²)					平均濃度フラックス [Sc]					C/C ₀ の区分による濃度フラックスとその割合					Σ	Σ [Sc] [Sc] _{A-0}	Σ [Sc] [Sc] _{A-0}	Σ [Sc] [Sc] _{A-0}
	1.00-0.75	0.75-0.50	0.50-0.25	0.25-0.10	0.10-0.05	1.00-0.75	0.75-0.50	0.50-0.25	0.25-0.10	0.10-0.05	1.00-0.75	0.75-0.50	0.50-0.25	0.25-0.10	0.10-0.05				
A'-0	413.1	116.5	123.3	201.3	854.2	419.0	309.8	74	56.2	14	30.8	7	20.1	5	1.00	1.00	1.00	1.00	
B'-1	612.5	107.0	116.3	102.1	937.6	592.2	459.4	83	53.5	10	29.1	5	10.2	2	1.10	1.32	1.00	1.32	
B''-1	963.8	225.2	260.5	168.7	1,618.2	917.4	722.8	79	112.6	12	65.1	7	16.9	2	1.89	2.19	—	2.19	
C'-1	1,237.7	280.7	258.2	194.8	1,971.3	1,152.6	920.2	81	140.3	12	64.6	6	19.5	2	2.31	2.75	1.00	2.75	
C''-1	1,870.5	173.8	240.7	185.0	2,170.0	1,343.5	1,177.9	88	86.9	8	60.2	4	18.5	1	2.54	3.21	—	3.21	
SC'-1	1,457.4	254.8	266.1	291.0	2,269.4	1,316.1	1,093.1	83	127.4	10	65.5	5	29.1	2	2.66	3.25	1.00	3.25	
A''-0	100.5	83.9	93.2	66.5	344.1	147.3	75.4	51	42.0	29	23.3	16	6.6	4	0.40	0.35	0.35	1.00	
B''-1	440.5	101.6	108.1	69.5	719.8	415.2	330.4	80	50.8	12	27.0	7	7.0	2	0.84	0.99	0.75	2.82	
C''-1	980.8	220.0	233.5	202.1	1,636.0	924.2	735.6	80	110.0	12	58.4	6	20.2	2	1.92	2.21	0.80	6.27	
SB''-1	464.4	114.8	132.3	208.4	920.0	459.7	348.3	76	57.4	12	33.1	7	20.8	5	1.08	1.10	—	3.12	
SC''-1	888.5	231.0	240.4	173.4	1,533.3	859.3	666.4	78	115.5	13	60.1	7	17.3	2	1.80	2.05	0.63	5.83	
A''-0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
B''-1	463.4	110.1	143.8	105.2	822.5	449.0	347.5	77	55.0	12	35.9	8	10.5	2	0.96	1.07	0.81	—	
C''-1	887.2	211.1	219.3	179.2	1,497.4	843.9	665.4	79	105.6	13	55.0	7	17.9	2	1.75	2.01	0.73	—	
SB''-1	510.8	130.6	140.9	158.9	941.1	499.5	383.1	77	55.3	13	35.2	7	15.9	3	1.10	1.19	—	—	
SC''-1	1,024.7	224.5	224.6	193.9	1,667.7	956.3	768.5	80	112.3	12	56.1	6	19.4	2	1.95	2.28	0.70	—	

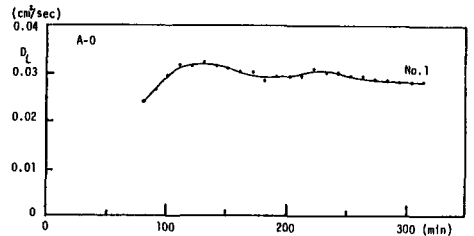


図-5 分散係数の時間的变化