

揚水条件の変化する自由地下水帯への塩分侵入阻止効果に関する研究

徳島大学工学部 正 員 尾島 勝
 徳島大学工学部 学生員 石川 俊彦
 高松市役所 正 員 ○ 坂東直樹

1. まえがき；海岸部地域における地下水の塩水化は年々深刻な問題となっている。これは主に揚水によって塩分侵入が助長されることに起因するが、利用価値の高い地下水の使用を取りやめることは不可能に近く、生活環境は悪くなる一方である。本研究はこれらの問題に対処する目的をもって種々の条件下で砂層モデル実験を行い、護岸矢板の開口比の相違に着目して塩分侵入阻止効果を明らかにする。

2. 実験方法および実験タイプ；実験水槽は幅40cm

で図-1に示した寸法の砂層模型が形成され、塩水側水深：35.00cm、淡水側水深：36.01cm、塩水濃度 $C_0=20826$ ppm は一定に保たれる。また、計測量は各観測井戸の砂層底面から3.75, 11.25, 18.75, 26.25cmの位置における電気伝導度で、実験開始から5分毎に定常状態まで測定した。実験タイプは表-1に示される25タイプであり、①矢板、②観測井戸、③砂止め用フィルターメッシュ、④水頭可変装置、⑤塩水流入バルブ、⑥淡水流入バルブ

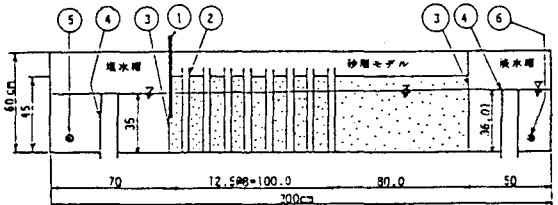


図-1 実験水槽

表-1 実験タイプ

り、Aは無揚水、B、CはそれぞれNo.3, No.7井戸からの揚水を意味し、英字に付したダッシュ('), (''), (''), (''')は矢板開口幅が20cm, 15cm, 10cm, 5cmであることを表示す。

また揚水量は淡水流量と同程度の平衡揚水、約15倍の過剰揚水を数字1,2で表わし、揚水高さは砂層底面から3~8cmを下部揚水(lower)、20~25cmを上部揚水(upper)とし数字におけるダッシュの有無で表現した。さらに、SCはAタイプが定常に達した後で揚水を開始するものである。

3. 実験結果の考察；測定した電気伝導度を塩素イオン濃度に変換し、それを基に塩分濃度感知開始時刻表、塩分侵入速度図、塩分侵入速度表、等塩分濃度線図、塩分濃度フラックス表を作成し、それらを比較考察して塩分侵入現象を把握した。さらには一次元拡散分散現象として取扱ひ、分散係数の評価を行った。

3-1. 塩分侵入阻止効果の考察

①塩分侵入流速について考察すれば、矢板開口比の変化による影響が最も大きいのは無揚水実験系列(A-0系列)であり、ついで塩水槽近傍での上部平衡揚水系列(B-1系列)である。塩水槽近傍で下部平衡揚水を行う場合には矢板挿入に伴って塩分侵入流速は減少するが、開口比が0.43以下になればその減少率はわずかなものとなり、阻止効果は変わらない。また、塩水槽遠方で下部過剰揚水を行う場合には開口比が1.00から0.58までは塩分侵入流速は減少するが、0.58から0.28までは大きな変化はなく、開口比が0.14になると再び塩分侵入流速は減少する。

②塩水化域の消長に関しては無揚水実験系列に最も大きな影響が現われ、したがって阻止効果が大きい。また、子揚水条件が付加された場合は鉛直方向においてその阻止効果が大きい。

③濃度フラックスについては表-2の塩分濃度フラックス表、図-2の評価図に示されるとおり、無揚水条件の場合には矢板による阻止効果が大きいことがわかる。揚水条件が付加された場合については塩水槽近傍での下部平衡揚

TYPE	揚水条件	揚水高さ (cm)	定常流量 (cc/min)	揚水量 (cc/min)	透水係数 (cm/sec)
A-0	-	-	114	-	0.224
B-1	NO.3	upper	124	124	0.251
B-1'	NO.3	lower	125	125	0.241
C-2'	NO.7	lower	125	180	0.238
SC-2'	NO.7	lower	114	171	0.224
A''-0	-	-	95	-	0.186
B''-1	NO.3	upper	95	95	0.189
B''-1'	NO.3	lower	98	98	0.196
C''-2'	NO.7	lower	98	147	0.215
SC''-2'	NO.7	lower	95	143	0.186
A'''-0	-	-	97	-	0.197
B'''-1	NO.3	upper	90	90	0.188
B'''-1'	NO.3	lower	97	97	0.201
C'''-2'	NO.7	lower	100	150	0.190
SC'''-2'	NO.7	lower	97	146	0.197
A''''-0	-	-	95	-	0.196
B''''-1	NO.3	upper	90	90	0.177
B''''-1'	NO.3	lower	85	85	0.179
C''''-2'	NO.7	lower	86	129	0.170
SC''''-2'	NO.7	lower	95	143	0.196
A'''''-0	-	-	80	-	0.152
B'''''-1	NO.3	upper	80	30	0.167
B'''''-1'	NO.3	lower	86	86	0.165
C'''''-2'	NO.7	lower	80	120	0.152
SC'''''-2'	NO.7	lower	80	120	0.152

表-2 塩分濃度フラックス表

系列	開口比	C/C ₀ の値分による塩分 S (cm)					平均濃度					C/C ₀ の値分による濃度フラックスとその割合					A-0に對する濃度フラックス比				
		1.00	0.75	0.50	0.25	0.10	1.00	0.75	0.50	0.25	0.10	1.00	0.75	0.50	0.25	0.10	1.00	0.75	0.50	0.25	0.10
		0.75	0.50	0.25	0.10	0.05	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
A	0	1,074.2	247.5	252.3	221.5	1,795.6	1,014.7	805.7	729	123.7	12	63.1	6	22.2	2	1.04	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
B	1	1,355.8	255.5	259.2	204.3	2,074.8	1,239.9	1,016.9	83	123.8	10	64.6	6	17.0	3	1.16	1.21	1.00	1.21	1.00	1.21
C	2	1,714.5	137.7	147.7	169.9	1,69.9	1,558.6	535.8	81	68.9	10	36.9	6	12.0	3	0.65	0.65	1.00	0.65	1.00	0.65
C-2	2	1,626.3	286.7	191.5	119.5	2,226.0	1,423.9	1,219.7	86	144.4	10	47.9	3	12.0	3	1.24	1.40	1.00	1.40	1.00	1.40
SC-2	2	1,743.4	245.6	250.9	158.2	2,358.1	1,508.9	1,307.5	87	122.8	8	62.7	4	15.8	1	1.34	1.49	1.00	1.49	1.00	1.49
B-1	0	318.5	163.5	190.4	114.6	786.9	379.7	238.9	63	81.7	22	47.4	13	11.5	3	0.44	0.37	0.37	1.00	0.37	1.00
B-1	1	1,648.5	184.9	278.5	145.0	1,626.9	905.4	801.3	63	92.4	10	57.1	6	14.5	2	0.91	0.95	0.78	2.54	0.78	2.54
B-1	2	1,669.1	143.4	150.3	120.0	902.5	488.1	366.8	75	71.7	15	37.6	8	12.0	2	0.50	0.46	0.74	1.29	0.74	1.29
C-2	1	1,100.0	246.2	235.5	187.8	1,769.3	1,025.7	825.0	80	123.1	12	58.8	6	18.8	2	0.99	1.01	0.72	2.70	0.72	2.70
SC-2	2	1,075.9	230.6	237.4	194.7	1,736.4	1,001.3	886.9	81	115.3	12	59.4	6	19.4	2	0.97	0.99	0.64	2.64	0.64	2.64
B-1	0	117.3	76.9	101.6	58.2	360.5	169.3	103.0	61	36.5	25	22.0	12	5.8	3	0.20	0.17	0.17	1.00	0.17	1.00
B-1	1	744.6	214.8	248.7	196.2	1,404.6	747.8	558.6	75	107.4	14	62.2	8	19.6	3	0.78	0.74	0.43	4.42	0.43	4.42
B-1	2	474.0	126.6	157.1	112.1	819.9	431.8	318.0	74	63.3	15	39.3	9	11.2	3	0.46	0.43	0.64	2.55	0.64	2.55
C-2	1	708.0	224.5	234.2	156.4	1,323.3	717.5	531.0	74	112.2	16	58.6	8	15.7	2	0.74	0.71	0.50	4.24	0.50	4.24
SC-2	2	807.3	242.3	259.0	225.5	1,534.1	813.9	605.5	74	121.1	15	64.7	8	22.4	3	0.85	0.80	0.54	4.81	0.54	4.81
A-0	0	454.9	162.0	185.3	104.5	1,046.7	526.9	371.1	70	91.0	17	46.3	9	16.4	3	0.58	0.52	0.43	—	0.43	—
B-1	1	304.4	187.0	159.6	120.4	771.4	373.7	278.3	61	93.5	25	39.9	11	12.0	3	0.43	0.37	0.57	—	0.57	—
C-2	2	634.0	218.5	223.7	151.0	1,227.1	655.7	475.5	73	109.7	17	55.9	9	15.1	2	0.68	0.65	0.46	—	0.46	—
SC-2	2	516.0	180.6	228.7	152.0	1,218.1	617.2	379.5	61	165.3	27	57.2	9	15.3	2	0.68	0.61	0.41	—	0.41	—
A-0	0	446.9	175.5	221.4	230.8	974.5	426.3	260.0	61	87.7	21	55.3	13	23.1	4	0.54	0.42	0.35	—	0.35	—
B-1	1	305.1	94.5	135.4	86.5	621.6	318.6	228.8	72	47.3	15	33.9	11	8.7	3	0.35	0.31	0.48	—	0.48	—
C-2	2	341.3	32.9	374.2	170.7	979.0	410.0	254.0	62	46.4	11	93.6	23	17.1	4	0.55	0.41	0.29	—	0.29	—
SC-2	2	341.3	32.9	374.2	170.7	979.0	410.0	254.0	62	46.4	11	93.6	23	17.1	4	0.55	0.41	0.29	—	0.29	—

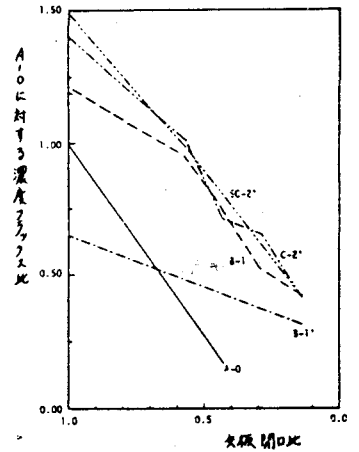


図-2 評価図

水系列(B-I系列)では開口比が大きいときはA-0系列よりもむしろ塩分侵入が抑制されていることがわかる。また、図-2より塩水槽近傍での上部平衡揚水(B-I系列)。

塩水槽遠方での下部過剰揚水(C-2系列), 平衡界面形成後の塩水槽遠方での下部過剰揚水(SC-2系列)については無矢板条件下の濃度フラックス値はそれぞれ異なるが、開口比が0.58→0.43→0.28と減少するにつれその差は減り、0.14になると濃度フラックス値はほぼ等しくなっていることがわかる。すなわち、総塩分侵入量は開口比が小さくなるに従って平衡・過剰揚水、揚水位置、揚水高さ等の揚水条件の相違にかかわらずその矢板条件によって同程度に制御されていることがわかる。

3.2. 分散係数の評価: 分散係数を求める基礎式は物質分散項 $\langle uC \rangle = D_L \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$ を導入して

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

と与えられる。ここに、 x は $96 = 0.02$ による塩水化水深、 C は断面平均濃度、 U は $96 = 0.05$ の塩分濃度の $Z = 3.75$ cmにおける平均流速をとる。(1)式を差分化して、

$\Delta t = 10$ 分、 $\Delta x = 12.5$ cmとして D_L を算出し、その変化特性を示した例を図-3、4に示す。 D_L のNo.1井戸での収束値は無矢板条件下でのA-0で $2.4 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{sec}$ 、B-1でその13倍程度、B-Iで14倍、C-2で24倍である。また開口比が小さくなると D_L も小さくなっている。ここで、図-4(開口比が0.28での塩水槽遠方の下部過剰揚水)をみると350分付近で D_L は急激に増大している。このことは揚水の影響を強く受けた過大な侵入流速を与えたことが原因と考えられるが揚水条件を付加した実験系列において開口比が小さくなるとこのような現象が認められた。

4. 結論

護岸矢板による塩分侵入阻止効果は次のようである。塩分侵入流速は開口比減少にしたがい小さくなるが、下部平衡・過剰揚水条件下ではある開口比以下になると侵入流速が減りにくくなる。塩水化域、濃度フラックスに関しては開口比変化の影響が大である。そして、揚水条件を付加した場合には開口比が小さくなるにつれおのの濃度フラックス値は同程度となり、揚水条件よりも矢板条件の影響が支配的となる。さらに、分散係数値は揚水付加により増し、開口比減少により減ると評価できる。すなわち、塩分侵入流速に支配され、今後流速の算定法が1つの課題である。