

揚水履歴の相違による自由地下水帯への塩分侵入現象の変化

徳島大学工学部 正員 尾島 勝
徳島大学大学院 学生員 藤山 真希

四電技術コンサルタント 正員 西内 剛三
佐伯建設 正員 新居 仁志

1. まえがき 本研究は 海岸部不圧帯水層における塩水化現象を解明し、その防止策を見出そうとするものである。とくに 揚水履歴の相違による現象の変化に着目して揚水条件・矢板条件の種々異なる砂層模型実験を行い、砂層内の塩分挙動の相違および塩分侵入阻止効果について評価を行った。

2. 実験方法 図-1に示すような砂層模型 ($d_{10}=0.17\text{mm}$ 、

$G_s=2.67$, $U_c=2.90$, $e=0.21\%$) を形成し、揚水・護岸矢板条件の異なる20種の実験を行った。実験タイプ表示は、無塩水をA、No.2井戸揚水をB、No.7井戸揚水をC、またSかつくと淡水界面形成後の揚水タイプにはそれぞれSを冠し下部揚水を1,2、上部揚水を3とした。なお、2,3は淡水定常流量の約0.5倍の過少揚水、1は約1.5倍の過剰揚水とし、矢板開口比0.57を α で0.29を β で表わした。基本測定量は5分毎の計測時における各観測井戸の(間隔12.5cm)4測点(水槽底面より3.75, 11.25, 18.75, 26.25cm)の電気伝導度(塩分濃度換算)および揚水量とその電気伝導度であり、さらにモニターとしてKMnO₄着色の塩水楔の形状スケッチを用いた。

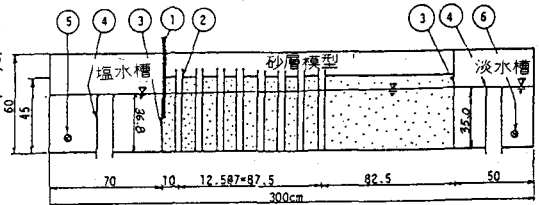


図-1

3. 塩分挙動に関する考察 図-2は、

無揚水無矢板のA-0タイプの地点濃度変化を示したものである。測点No.1-1 ($X=10\text{cm}$, $Z=3.75\text{cm}$)では、塩水侵入開始後、塩分濃度を感知してから濃度は急激に増大し、それ以後はしだいに濃度変化速度が減少し、つづつ緩やかに増加を続け、それ以後は

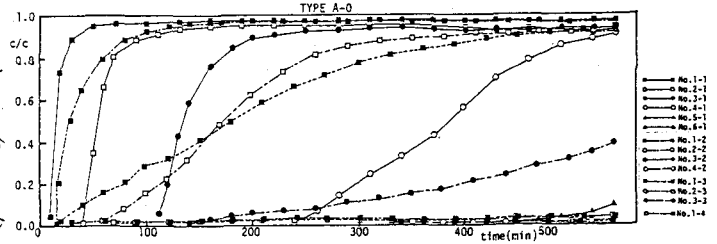


図-2

ほとんど一定値を示し塩分侵入現象が平衡状態に至るまで変化しない。続いて測点No.1-2 (10, 11.25cm), No.1-3 (10, 18.75cm), No.1-4 (10, 26.25cm) と順次感知始め時間とともに増大するがその濃度変化速度は上層部ほど、また内陸部ほど小さく、定常濃度値も小さい。このような各測点における塩分濃度変化の様相の相違は、非混合の2層流あるいは分散を考慮しない密度流現象としては説明できず、塩水域内の濃度分布に着目した現象解析が必要となることから、

そこで、各測点における濃度値から塩水槽の初期濃度 C_0 に対し、 C/C_0 が0.10, 0.25, 0.50, 0.75となる座標値を求め、等塩分濃度線と描き、その時間変化図及び各実験45の平衡淡水塩界面形状($C/C_0=0.1$)を求め考察した。表-1は平衡状態におけるそれぞれの等濃度線図から、各等濃度線区分の面積にその区分の平均濃度値を乗じて算出した値と塩分濃度フラックスとして示した。この塩分濃度フラックス値は、砂層内に侵入した塩分量を定量的に考察しうる一つの指標である。

これから明らかにされる塩分挙動を要約する。

i) 無矢板の場合、すでに塩水化している位置で揚水が付け加えられれば既塩分侵入量を減少さす。

TYPE	平均濃度 74M(SC)	C/C ₀ の区間による濃度フラックスとその割合				S	
		1.00-0.75	0.75-0.50	0.50-0.25	0.25-0.10	Σ	[SC]
A-0	595.6	486.5	81	64.0	11	35.0	6
SB-1	467.6	351.7	75	63.7	13	40.0	9
S8-2	392.9	283.6	72	54.7	14	38.6	10
SC-1	1377.2	1198.2	87	109.8	8	55.0	4
SC-2	1010.8	834.2	83	103.5	10	54.5	5
C-1	1263.3	1058.9	81	135.8	11	59.4	5
C-2	958.4	778.2	81	110.2	11	54.5	6
A'-0	141.2	91.9	65	22.9	16	19.2	14
S8'-2	159.5	102.2	64	30.1	19	20.7	13
S8'-3	386.4	303.8	79	47.5	12	26.6	7
SC'-1	1089.8	915.8	84	105.7	10	53.9	5
SC'-2	635.7	459.1	72	102.1	16	56.0	9
B'-3	251.5	162.0	64	47.6	19	31.2	13
C'-1	521.0	321.0	76	96.5	14	52.0	7
C'-2	284.4	196.4	69	53.7	19	26.9	9
S8'-3	101.0	55.4	55	21.4	21	14.7	15
SC'-1	544.4	386.2	71	92.4	17	51.6	9
B'-3	7.3	7.3	7	7.3	3	100	0.072
C'-1	139.1	75.7	54	39.4	28	18.0	14
C'-2	766.0	595.3	78	105.0	14	49.9	6
C'-2	25.8	25.8	2	25.8	14	18.4	74
						6.4	25
						0.135	0.042

表-1

一方、まだ塩水化していない淡水域での揚水では、矢板条件にかなわず塩水域および塩水侵入量を増加させ、とくに、過剰揚水になるほどその傾向は強く、塩分侵入は揚水地点にまで達する。

ii) 図-3は、揚水履歴の相違による影響を考察するために平衡淡塩界面($C/C_0=0.1$)を示したものである。この図より、無矢板の場合は、わずかに淡塩界面形成後揚水の方が大きい、ほぼ同じであるといえる。しかし、矢板条件が付加されると揚水履歴の相違による影響は明らかに生じており、開口比の大きい場合は淡塩界面形成後揚水の方が明らかに大きく開口比が小さくなると逆に砂層内に塩分が侵入開始すると同時に揚水する方が大きくなるという現象を示す。

iii) 無矢板の場合、塩水化域から揚水するSB系列を除いて、濃度フラックスの割合はほぼ同じであり、それぞれの塩水化形状の大きさが異なるにもかかわらず揚水条件の相違による影響が現れないと言える。しかし、矢板条件が付加された場合、高濃度フラックスの割合が減り、低濃度フラックスの割合が増す傾向が認められ、塩水化域内の濃度分散が大きくなることを示している。しかし、

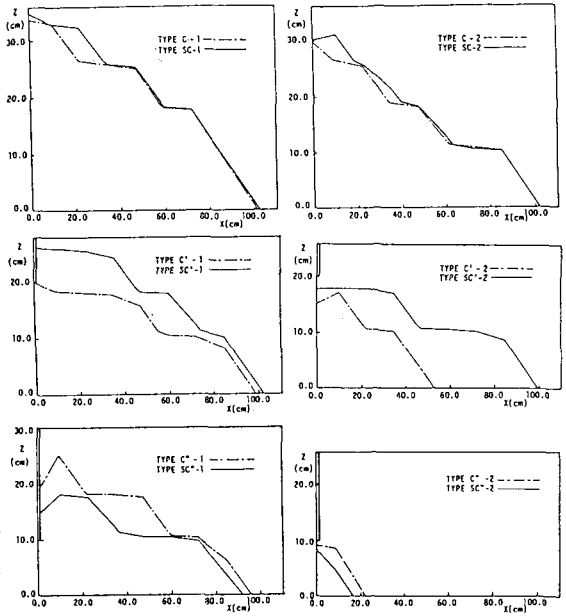


図-3

過剰揚水と過少揚水の相違によって濃度フラックスの割合が異なることから分散効果もそれぞれ異なると言えよう。

4. 塩分侵入阻止効果に関する考察 矢板条件の相違による塩分侵入阻止効果について考察する。

i) 表-2は、矢板による塩分侵入阻止効果を揚水履歴の相違も含めて評価するために各観測井戸間の平均速度を求めたものである。平均流速としては $Z=3.75\text{cm}$ の測点での $C/C_0=0.5$ の感知時刻より算出したものである。この表より内陸部の揚水が塩水化の速度を速くすることは明らかであり、開口比の比較的大きい場合は淡塩界面形成後の方が侵入速度が速く、開口比が小さくなると逆に塩分侵入同時揚水の方が侵入速度が速くなるという差異は見られるものの、確実に開口比が小さくなるに従い侵入速度は減少している。塩分侵入現象の進行速度の鈍化を一つの塩分侵入阻止効果とするならば、開口比が、小さいほど阻止効果は増し、また、揚水量が少ないほどその効果は大きいといえる。

TYPE	No.0-No.1	No.1-No.2	No.2-No.3	No.3-No.4	No.4-No.5	No.5-No.6	No.6-No.7
A-0	980	550	260	83			
SB-3					520	430	740
C-1	880	670	560	410	430	380	89
SC-2					230	170	320
C-2	730	510	370	230	240	180	140
A'-0	230						
SB'-3			140				
C'-1	260	280	400	350	430	300	110
SC'-2			260	220	240	180	
C''-1	390	370	260	95	150	120	
SC''-2			140				
C''-2	340	210	77				
SB''-3	190						
C''-1	140	120					
SC''-2	230	200	170	170	190	130	
C''-2	230	220	140	200	200	160	

表-2

開口比が小さくなると逆に塩分侵入同時揚水の方が侵入速度が速くなるという差異は見られるものの、確実に開口比が小さくなるに従い侵入速度は減少している。塩分侵入現象の進行速度の鈍化を一つの塩分侵入阻止効果とするならば、開口比が、小さいほど阻止効果は増し、また、揚水量が少ないほどその効果は大きいといえる。

ii) 総塩分侵入量は、塩分侵入阻止効果を評価する一つの有力な指標であり、この考察を示すと、無揚水の場合、矢板開口比が減少することにより塩分侵入量は減少し、開口比が0.29になると塩分侵入は、No.1の観測井戸にまで到達しないほど矢板による阻止効果は大きい。しかし、揚水条件が付加されれば揚水の影響により同じ矢板開口比であっても阻止効果は低下する。阻止効果の低下に及ぼす影響は揚水量の少ないものほど小さく、揚水量が多いほど大きいと言え、地下水帯に対する護岸矢板の押入による塩分阻止工法の効果は、完全に締め切れる。揚水条件の改善とはならない限りあまり期待できないように思われる。

5. あとがき 今回は、揚水履歴の相違による挙動を定性的に把握できたが、定量的評価にまでは言及できなかった。今後、揚水履歴の影響を定量的に把握するためには、揚水量の厳密なコントロールが必要であることがわかった。また、今回は井戸間隔を狭げめ精度向上をはかったが、鉛直方向の精度を上げることも必要と思われる点もいくつかあった。今後、さらに精度を向上させ、定量的評価を行なえるよう研究を進めていきたい。