

揚水を伴う沿岸部地下水帯への塩分侵入とその濃度分散について

徳島大学工学部 正 員 尾 島 勝
 徳島大学工学部 正 員 西 内 剛三
 中国電力 正 員 〇 齊 藤 直
 竹中土木 正 員 高 岡 完吉

1. まえがき 本研究は、周辺の環境変化に伴う影響が大きい沿岸部不圧地下水帯における塩分侵入現象を対象として、とくに、同時付加の揚水条件および護岸矢板条件の相違による影響度を明らかにするとともに塩分侵入の阻止効果を定量的に評価することを目的としている。今回は、解析精度の向上をけり、分散係数の算定法を改善したことばらびに平衡浸透界面形成後に揚水条件を与えた場合の現象解析を新たに試みた。

2. 実験方法 図-1に示すような砂層模型 ($d_o = 0.17\text{cm}$,

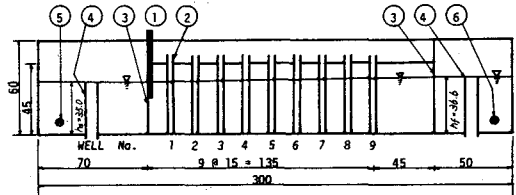


図-1 砂層実験モデル

$U_c = 2.00$, $\alpha = 0.17\text{cm}^2/\text{sec}$, $\lambda = 0.32$) を形成し、揚水・護岸矢板条件の異なる3種の実験を行った。表-1の実験タイプ表示は、無揚水をA、揚水地点がNo.2の場合をB、No.5の場合をCとし、上部揚水を1,2、下部揚水を3,4とした。なお、1,3は淡水定常流量にほぼ等しい揚水量(平衡揚水)、2,4は淡水定常流量の約1/2の過少揚水である。また、矢板開口比0.57を ϵ で0.29を ϵ' で表わし、平衡浸透界面形成後に揚水条件が付加されたものをD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。

3. 塩分濃度変化に関する考察 基本測定量より、濃度感知開始時刻、地点濃度経時変化図、侵入速度図、等濃度線経時変化図および塩

表-1 塩分濃度フラックス

分濃度フラックス表(表-1)を作り、これらの考察指標として、次に挙げる現象把握がなされた。

i) 揚水条件の相違による塩分侵入の様相を等濃度線図に基づく塩水化域形状および表-1を用いて考察すれば、矢板の無い場合に塩分侵入を助長する揚水条件は、塩水槽より遠方で揚水するCタイプであり、揚水量の多いC-1の総塩分侵入量は表-1に示すとおりA-0の約2.3倍になる。一方、塩水槽の近くの下部揚水の場合には、揚水地点が塩水化域内にあらため、侵入塩分を砂層外へ揚水し除去する効果が強く総塩分侵入量もB-3ではA-0にほぼ等しく、B-4では約0.97倍であり、塩水化域の内部侵入も阻止されており、阻止効果が十分発揮されている。

ii) 矢板が挿入された場合に揚水条件の付加による影響度が大きいのは、第一に揚水量条件であり、次いで揚水位置の相違、次いで揚水高さの相違である。とくに、開口比が小さくなるほどこれらの揚水条件の相違による影響度の差が明確になる。

iii) C-3系列とD-3系列を比較すれば、無矢板の場合には総塩分侵入量はC-3の方が約1.3倍ほどD-3よりも多いが、塩水化域に占める各濃度フラックスの割合には変化が無く、したがって揚水付加時間の相違による分散効果の明確な相違は無いようである。しかし、矢板が挿入された場合には総塩分侵入量ならびに塩水化域形状はほとんど変わらないにもかかわらずD-3の方が各濃度フラックスの割合が増加しており、分散効果の相違がみられる。

iv) 濃度感知開始時刻、侵入速度図の比較により、いずれの実験系列でも矢板の開口比が小さくなるに従って

TYPE	平均濃度 % [Sc]	G/G ₀ の区分による濃度フラックスとその割合					
		1.00-0.75	%	0.75-0.50	%	0.50-0.25	%
A-0	476.25	306.25	81	58.5	12	31.50	7
A'-0	535.50	430.50	81	63.50	12	41.50	8
A''-0	241.75	169.50	70	42.00	17	30.25	13
B-1	846.75	705.00	83	95.00	11	46.75	6
B'-1	535.50	430.50	81	63.50	12	41.50	8
B''-1	241.75	169.50	70	42.00	17	30.25	13
B-2	583.50	481.50	83	64.00	11	36.00	6
B'-2	283.25	217.50	77	42.00	15	23.75	9
B''-2	169.25	110.25	65	31.00	18	28.00	17
B-3	479.00	386.25	81	57.00	12	35.75	7
B'-3	285.00	224.75	79	38.50	13	22.25	8
B''-3	217.75	161.25	74	36.50	17	20.00	9
B-4	460.75	380.25	83	52.00	11	28.50	6
B'-4	260.00	205.50	79	35.00	13	19.50	8
B''-4							
C-1	1109.75	961.50	87	73.00	6	75.25	7
C'-1	577.50	448.50	78	83.50	14	45.50	8
C''-1	383.50	232.50	61	98.00	26	52.50	14
C-2	768.25	621.75	81	95.00	12	51.50	7
C'-2	315.50	226.50	72	58.00	18	31.00	10
C''-2							
C-3	907.50	747.75	82	107.50	12	52.25	6
C'-3	571.75	438.00	77	60.50	19	31.50	8
C''-3	486.00	341.25	70	95.50	20	49.25	10
C-4	737.25	592.50	80	93.50	13	51.25	7
C'-4	320.75	228.75	71	60.50	19	31.50	10
C''-4	131.75	97.50	74	21.50	16	12.75	10
D-3	703.75	575.25	82	85.00	12	43.50	6
D'-3	536.75	384.00	71	105.00	20	49.75	9
D''-3	515.75	375.75	73	93.50	18	47.00	9

塩分侵入は緩慢に行っていることがわかる。とくに過少揚水の場合にこの傾向が顕著である。しかし、C-3系列では感知開始時刻の遅れは他の実験系列の場合に比べて少なく、B-3系列では揚水の吸引効果が相対的に強くなり、矢板開口比の相違による侵入速度に及ぼす影響は判別しにくい。

ⅴ 塩分濃度フラックスを用い、塩水化の程度を定量的に判別できらばかりでなく、分散効果をも定量的に評価することが出来る。

4. 分散係数に関する考察 ここでは、塩分挙動を分散現象として考察した。解析に用いた基礎式は次式である。

$$\frac{\partial C}{\partial x} + U \frac{\partial C}{\partial x} + C \frac{\partial U}{\partial x} = -D_L \left\{ \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{1}{A_2} \frac{\partial C}{\partial x} \frac{\partial h}{\partial x} \right\}$$

ここに、 D_L は分散係数、 C 、 U は塩分濃度、塩水侵入流速の断面平均値、 h はその断面における塩水深である。

図-2に各実験タイプの分散係数の経時変化の例を示した。この図によ

ると、無揚水条件(A-0)では分散係数は時間的に指数的に減少し、塩水槽より遠方の平衡揚水条件(C-1)では分散係数値は無揚水条件に比べ大きく、揚水井近傍で急激に増加する。また、過少揚水条件(C-2)では揚水井近傍の増加は見られず、やはり無揚水条件に比べ大きい値になる。また、同一揚水条件で矢板条件が加わると(C'-1)分散係数は減少していることが理解される。すなわち、分散係数は揚水条件が加わることによって、とくに平衡揚水における揚水井近傍の吸引効果では急激な増加として現われていることと揚水条件の付加による影響は分散係数の増大として表現され、矢板の挿入による塩分侵入阻止効果は分散係数の減少として現われることになる。

図-3は各井戸周の塩分侵入速度とそれに対応する分散係数の平均値の関係を、塩水槽より遠方の揚水条件について矢板の開口幅毎に両対数紙上に表したものである。この図によれば、塩水槽より遠方の揚水条件において矢板の開口幅が小さくなるに従い塩分侵入速度に対する分散係数の比率が減少することがわかる。また、多少のずれはあるものの、ほぼ分散係数と塩分侵入速度は両対数紙上において直線として表わされることがわかる。塩水槽の近くの揚水条件においては、求め得る分散係数値が少なかったために正確な比較検討は行わずにかたが同様の結果が得られると思われる。また、揚水条件の相違によって分散係数と塩分侵入速度の関係には顕著な相違は現われない。

5. あとがき 本研究によって、護岸矢板条件および揚水条

件の相違による塩分侵入現象への影響度の定量的評価に關して、図-3 平均分散係数と塩分侵入速度の関係くつかの成果が得られた。今後も、より定量的評価を行なうよう研究を進めていきたい。

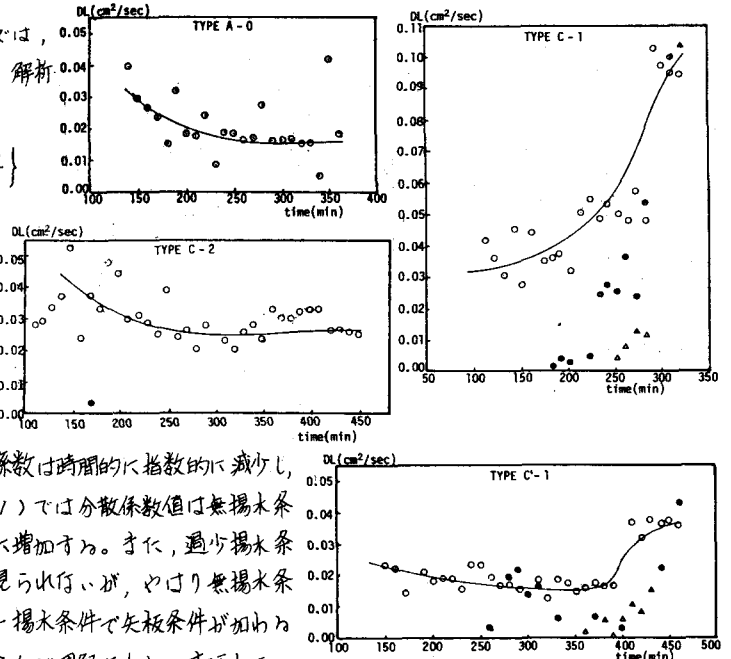


図-2 分散係数経時変化図

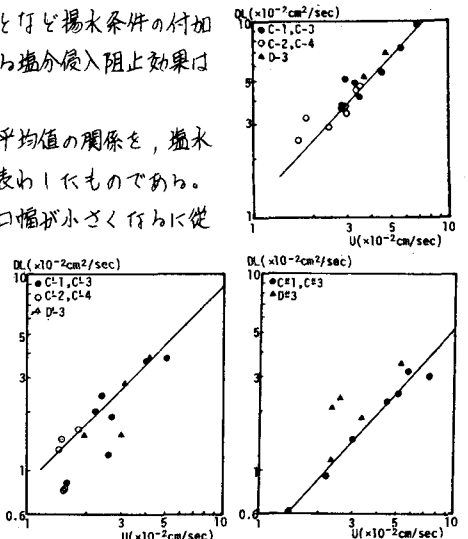


図-3 平均分散係数と塩分侵入速度の関係