

揚水を伴う自由地下水帯における塩分挙動の解析

徳島大学大学院 学生員 ○ 鐘ヶ江敏樹
 福山大学工学部 正 員 尾島 勝
 徳島県庁 三好 一生
 エコー建設コンサルタント 阿利 直人

1. まえがき 影響要因が複雑であり、水位変動幅も大きい自由地下水帯における侵入塩分の挙動については、まだ多くの解明されねばならない問題が残されている。今回は、吉野川下流低平地（面積約3K^m）で実施した地下水観測資料に基づく数値シミュレーション結果と砂層模型実験の流量ポテンシャル理論に基づく考察結果について報告する。

2. 調査対象域と地下水塩分挙動の概要

観測調査対象域の観測井戸位置および河道内測点を、図-1に示した。各井戸の利用水深は2～3mのものが多いが、深度10mと仮定した断面平均の塩分濃度値は表-1に示す程度である。NO.7、NO.3井戸では200ppmをかなり超過しているが水稻生育限界値（1500～2000ppm）よりは低く、また対象域全体としてはまだ低濃度であり、まだそれほど深刻な塩水化の弊害はみられない。図-2は、侵入塩分の長期的変動傾向を把握するために、NO.7、NO.3および過去に200ppmをかなり大きく超えたNO.10の各井戸について、昭和57年8月から昭和60年8月までの毎月1回の観測結果を示したものである。この図から明らかにように、NO.10およびNO.7では、塩分濃度値は漸次低下傾向にあるが、NO.3ではかんがい期に高濃度化する一年周期性が現われていると同時にその濃度値は漸次上昇傾向にあるとことが認められる。

3. 移流分散現象としての解析 対象域を図-3に示すようにTyson-Weber型の多角形領域に分割し、次式のように書ける物質収支式に基づき、分散係数値を同定し、低濃度塩の挙動について考察した。

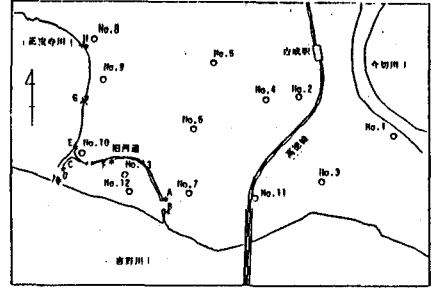


図-1 観測調査対象域

表-1 各井戸断面平均塩分濃度（昭和60年）

Well No.	Day 8/1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	175	166	174	225	161	163	161	152	192	173	133	65	62	138	58	129
2	189	197	203	197	204	215	201	197	193	202	196	195	187	190	87	190
3	382	370	374	370	384	407	369	396	360	365	372	353	581	332	355	356
4	169	169	169	170	168	169	167	166	164	174	168	174	160	166	73	168
5	95	78	89	81	82	89	76	79	70	80	69	77	55	66	24	68
6	96	112	109	103	108	136	103	111	102	113	107	114	94	109	39	94
7	797	818	806	756	762	742	693	736	739	793	693	572	783	821	812	805
8	-	108	117	106	117	115	144	115	114	-	47	103	107	44	108	103
9	131	141	140	139	140	133	131	131	130	130	52	121	115	50	121	120
10	103	97	112	105	110	108	109	103	98	91	87	94	92	38	93	91
11	199	193	194	190	196	221	187	178	185	193	190	96	183	88	89	194
12	202	203	228	205	235	258	236	222	208	209	206	112	200	103	197	194
13	142	133	153	136	154	141	145	142	133	137	135	80	120	50	120	119

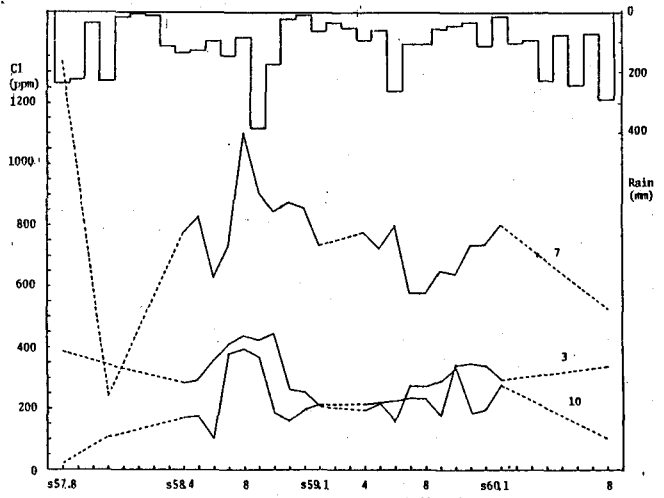


図-2 各井戸断面平均濃度月変化

$$-\left(\frac{\partial C_o}{\partial t}\right) \cdot A_o \cdot \lambda \cdot \delta z_o \cdot dt = \sum_{i=1}^n (C_m \cdot k \cdot \frac{h_o - h_i}{L} + D_{Li} \cdot \frac{C_o - C_i}{L}) \cdot J_{io} \cdot \delta z_i \cdot dt \quad (1)$$

ここに、Co、Ciは中心井戸およびその隣接周辺井戸iにおける断面平均塩分濃度、ho、hiはそれぞれの井戸の水位、Aoは領域oの面積、Lは井戸間距離、JはLの中点に直交する多角形の一辺の長さ、δzは領域の帯水層厚さ、kは透水係数、λは空隙率であり、DLは算出すべき分散係数である。Cmはho>hiに対して

は C_0 , $h_0 < h_i$ に対しては C_i をとる。

実際の計算に当っては、(1)式を差分表示し、Gauss-Seidel法による反復形式をとり、最適化基準は全中心領域、全時間ステップに対する式(2)で示される残差(R.E.S.)が最小となることとした。

$$R.E.S. = \sqrt{\frac{N}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^J (C_{cal.} - C_{ob.})^2}} \quad (2)$$

ここに、 $C_{cal.}$ は計算塩分濃度値、 $C_{ob.}$ は観測塩分濃度値、

i は中心領域数(5)、 j は時間ステップ数(16)である。

なお、井戸 o と i の水位は一般には異なるから δz は各領域毎に異なるが、水位変動幅が帯水層厚に比べて小さいとして全領域に一律の $\delta z = 10\text{m}$ 、さらに $\lambda = 0.1$ と仮定した。また透水係数については観測水位データから同定した値を用いた。紙面の都合で分割領域の諸元については省略したが、各井戸間距離は500~600m、面積は0.3 km^2 程度である。

解析結果について簡単に述べる。昭和59年8月(無降雨期間)の水位観測データから算定された透水係数値は0.090cm/sec、昭和60年8月(降雨期間)の観測データから算出された値は0.179cm/secである。図-4は計算水位と観測水位の合致度を示したものであるが必ずしも再現性は良くない。

式(1)の水位 h_0 および h_i には揚水量の変化を考慮して算出された上述の計算地下水位を用い、式(2)の最適化基準によって、昭和59年、昭和60年のそれぞれの観測期間に対する分散係数を求めた。昭和59年のデータからは、式(2)のR.E.S.が最小となる分散係数値を決定できず、昭和60年のデータからは $DL = 2838\text{m}^2/\text{day}$ のときR.E.S.は最小となった。図-5はそのときのNo.7井戸における観測塩分濃度と計算塩分濃度の日変化の様相を示した。観測濃度値の日変化を再現させるためには、 DL の値を極めて大きくとることが必要であり、例えば $DL = 10^5\text{m}^2/\text{day}$ とした場合には図-6のようになる。

4. あとがき 今回得られた分散係数値は、従来浸透流場で採られている値に比べて極めて大きい。この値は一つのパラメータ同定法の結果であって、現象の本質をとらえているかどうか若干不安も残る。しかし、低濃度塩分の分散現象であり移流の効果が大きくなれば分散係数値も大きくなる。

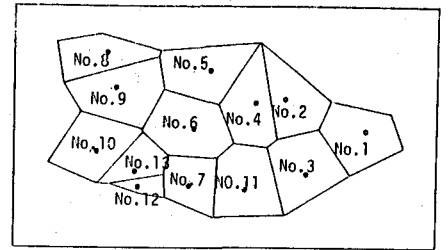


図-3 対象域の領域分割

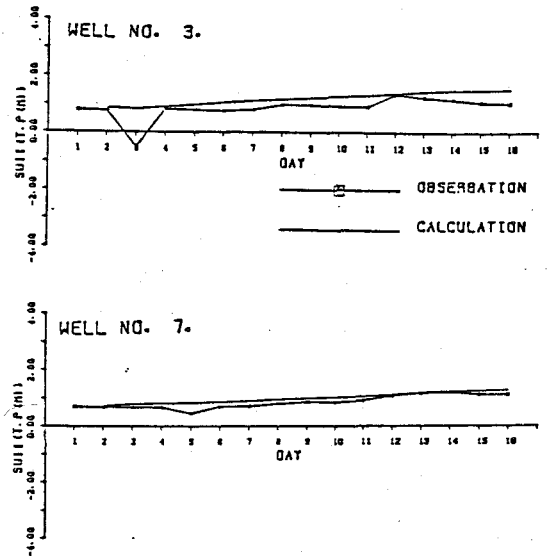


図-4 計算水位と観測水位の比較

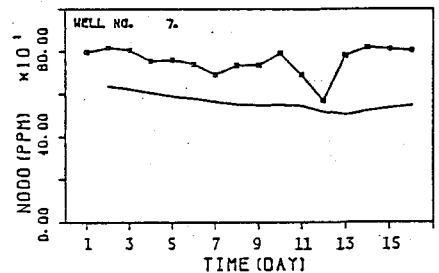


図-5 計算塩分濃度と観測塩分濃度の比較($DL=2838\text{m}^2/\text{day}$)

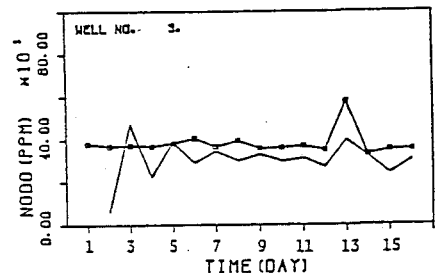


図-6 計算塩分濃度と観測塩分濃度の比較($DL=10^5\text{m}^2/\text{day}$)