

II-66

低濃度地下水塩分の平面2次元移流分散現象としての挙動解析

福山大学工学部 正員 ○尾島 勝
鹿島建設 正員 鐘ヶ江敏樹

1 まえがき 海岸部低平地における地下水挙動を定量的に解析しようとするとき、境界条件や付加条件があいまいなために、なかなか確信のもてる結果を得ることが難しい。著者らは吉野川河口部低平地における自由地下水を対象として、その水位変動、水収支、流況および塩分挙動を総合的に解析してきた^{1),2)}ここでは、塩分挙動の解析結果についてのみ報告する。

2 平面2次元移流分散方程式によるモデル化 紙面の都合上、詳細な説明は割愛する。

$$\lambda \frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} (D_x \frac{\partial c}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (D_y \frac{\partial c}{\partial y}) \quad (1)$$

これが平面2次元移流分散方程式であり、境界条件としては濃度 C が与えられる境界 S_1 と濃度フラックス t が与えられる境界 S_2 とが考えられる。すなわち、 $C = \hat{C}$ on S_1 (2)

$$t = q_x l + q_y m = (p c u - p D_x \frac{\partial c}{\partial x}) l + (p c v - p D_y \frac{\partial c}{\partial y}) m = \hat{t} \text{ on } S_2 \quad (3)$$

また、(3)式中の拡散項のみを設定すれば、 $b = D_x \frac{\partial c}{\partial x} l + D_y \frac{\partial c}{\partial y} m = \hat{b}$ on S_2 (4)

式(1)を式(2)~(4)の条件の下に解くために、重み付き残差方程式を作成し、さらに解析対象域を三角形要素分割し、形状関数を用い、有限要素法による定式化を行い次式を得た。

$$M_{\alpha\beta} \frac{\partial}{\partial t} (C \lambda)_{\beta} + (B_{\alpha\beta} + S_{\alpha\beta}) C_{\beta} = \hat{J}_{\alpha} \quad (\alpha, \beta = 1, 2, \dots, N, N: \text{節点数}) \quad (5)$$

3 解析対象域の概要と境界条件の設定

解析対象域は、徳島市をほぼ東西に貫流している吉野川の北岸側河口域の面積約50km²の低平地である。地下地質は砂質土と粘性土が比較的良く互層を成しており、帯水状態は良好である。本解析に用いた地下水位及び塩素イオン濃度の観測井戸は 図-1 に示した31の浅井戸であり、その利用水深は3~7mである。使用データは昭和58年10月~61年3月までの毎月1回の定時観測値である。

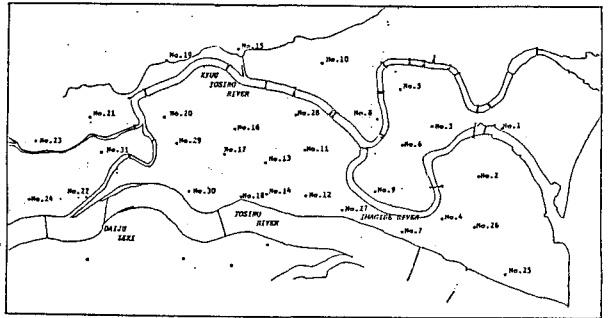


図-1 対象域と観測井戸

次に図-2に示すように各井戸を含むティーセン分割による多角形領域(井戸間距離約1km、面積約2km²)を、その水位変動解析結果とボーリング調査資料を参考にしてA~Eの5ブロックに大別した。表-1にそれぞれのブロックの透水係数と有効空隙率の初期設定値を示した。対象域の有限要素分割は、観測井位置、河川堤防、山地側境界を考慮して節点を配置し、節点総数368 要素総数651とした。

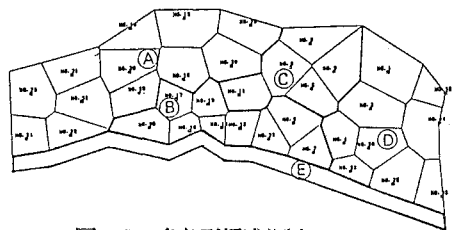


図-2 多角形領域分割

水位境界条件としては、1)河川境界(図の下辺E)では、第十堰より上流は月平均河川水位、下流感潮区間

表-1 透水係数と有効空隙率の初期設定値

は最近5ヶ年の平均潮位、2)海岸境界(図の右辺)は最近5ヶ年の平均潮位、3)山地側境界および上流側境界は、観測井戸水位に基づく比例配分値を与えた。

	Aブロック		Bブロック		Cブロック		Dブロック		Eブロック	
	K	λ	K	λ	K	λ	K	λ	K	λ
砂質シルト	0.0005	0.15	0.0005	0.15	0.0005	0.15	0.0005	0.15	0.0005	0.15
砂礫	0.5	0.30	0.02	0.30	0.0035	0.30	0.002	0.30	0.002	0.30
砂	0.0035	0.15	0.0035	0.15	0.0035	0.15	0.0035	0.15	0.0035	0.15

さらに、塩分濃度境界条件としては観測濃度値に基づき、次のように与えた。

- 1)河川側境界；第十堰より上流80ppm、下流1000ppm、海岸部境界；1000ppm、3)山地側境界；5つの観測井(No.1,5,10,15,19)の濃度値に基づく比例配分値 4) 上流側境界；近接観測井の観測値から推定した節点No.1の値と節点No.6(井戸24)の実測値に基づく比例配分値

表-2 分散係数値(cm^2/sec)

また、本解析では、帯水層を構成する砂質シルト、砂、砂のそれぞれの平均粒径と地下水流況解析より得た節点流速に基づき、表-2のように4タイプの分散係数値を設定した。

層\タイプ	A	B	C	D
砂質シルト	1.11×10^{-4}	5.56×10^{-4}	3.00×10^{-5}	1.60×10^{-4}
砂	1.11×10^{-3}	2.78×10^{-3}	3.30×10^{-4}	8.20×10^{-4}
砂礫	5.56×10^{-3}	1.11×10^{-2}	1.64×10^{-3}	3.27×10^{-3}

4. 解析結果の考察 今回の解析例は昭和59年10月と昭和61年1月の2ケースとし、境界条件として濃度ブロックスを与える場合(式(3))と拡散項のみを与える場合(式(4))を考慮して表-3に示すように各ケースについてそれぞれ8通りの計算結果を得る。なお、河川堤防境界(ブロックE)においては表-2に示した分散係数値の1/10の値としている。

表-3 解析ケース

	ケース	分散係数	境界条件
昭和59年10月	a-1	Aタイプ	フックス
	a-2	Bタイプ	フックス
	a-3	Cタイプ	フックス
	a-4	Dタイプ	フックス
	a-5	Aタイプ	拡散項
	a-6	Bタイプ	拡散項
	a-7	Cタイプ	拡散項
	a-8	Dタイプ	拡散項
昭和61年1月	b-1	Aタイプ	フックス
	b-2	Bタイプ	フックス
	b-3	Cタイプ	フックス
	b-4	Dタイプ	フックス
	b-5	Aタイプ	拡散項
	b-6	Bタイプ	拡散項
	b-7	Cタイプ	拡散項
	b-8	Dタイプ	拡散項

ケースaの再現計算の結果、現況を比較的良く再現しているのはa-2とa-6であった。したがって分散係数値は表-2のBタイプとなった。各観測井戸の実測値と計算値とを比較すれば表-4のようになる。

ケースbの再現計算の結果、現況を比較的良く再現しているのはb-2とb-5であった。すなわち、このときの設定分散係数値はそれぞれBタイプ、Aタイプとなる。表-4に示したと同様の誤差評価をすれば、b-5の方が再現性が良いといえる。このときの等塩分濃度線図を描けば図-3のようになる。今回の解析例では両ケースとも境界条件としては拡散項のみを設定した場合の方が再現性が良い。

表-4 観測値と計算値の比較

昭和59年10月			単位:CL (ppm)			
NODE No.	Well No.	観測濃度	計算値 a-2	誤差	計算値 a-6	誤差
302	1	681.0	境界条件	—	境界条件	—
286	2	122.0	120.0	2.0	107.0	15.0
251	3	28.0	53.8	25.8	51.3	23.3
268	4	121.0	152.0	31.0	156.0	35.0
225	5	82.0	境界条件	—	境界条件	—
229	6	135.0	118.0	17.0	120.0	15.0
234	7	90.0	102.0	12.0	230.0	140.0
217	8	24.0	26.5	2.5	26.2	2.2
221	9	32.0	10.9	21.1	91.0	59.0
178	10	79.0	境界条件	—	境界条件	—
172	11	22.0	5.7	16.3	13.0	9.0
174	12	62.0	77.0	15.0	61.5	0.5
144	13	57.0	152.0	95.0	91.9	34.9
146	14	37.0	396.0	359.0	215.0	178.0
118	15	19.0	境界条件	—	境界条件	—
123	16	18.0	31.0	13.0	31.0	13.0
112	17	37.0	64.5	27.5	70.6	33.6
126	18	94.0	28.0	66.0	31.0	63.0
75	19	16.0	境界条件	—	境界条件	—
79	20	94.0	10.9	83.0	34.5	59.5
42	21	16.0	24.7	8.7	47.8	31.8
37	22	91.0	108.0	17.0	80.7	10.3
11	23	23.0	43.5	20.5	64.0	41.0
6	24	28.0	境界条件	—	境界条件	—
310	25	42.0	106.0	64.0	143.0	101.0
288	26	7443.0	443.0	—	585.0	—
200	27	314.0	531.0	217.0	203.0	111.0
164	28	18.0	52.3	34.3	35.9	17.9
80	29	37.0	51.3	14.3	31.1	5.9
93	30	97.0	290.0	19.3	140.0	43.0
45	31	41.0	58.0	17.6	31.4	9.6
平均誤差				57.2		43.0

再現計算にあたっては対象域をさらに36の小ブロックに分割して分散係数値を設定したが、その値は大体 $0.01 \sim 0.04 \text{m}^2/\text{day}$ の範囲にあり、全対象域の平均値は $0.025 \text{m}^2/\text{day}$ ($=2.89 \times 163 \text{cm}^2/\text{sec}$)である。この値はSegol・Pinderや柿沼らの示した値に比較してやや小さい。

- 1)尾島・友道；第30回水講、1986、2)尾島・鐘ヶ江；第31回水講、1987、3)Segol・Pinder;Water Resour.Res.、Vol.12 No.1 1976、4)柿沼；愛媛大学工学部紀要、第10巻、1985

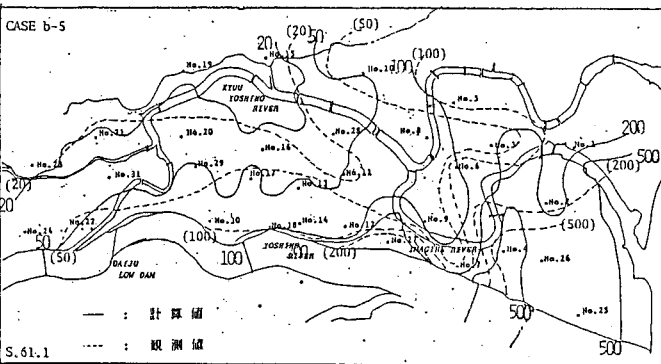


図-3 等塩分濃度線の比較