

九州産業大学工学部 正会員 細川土佐男

九州大学工学部 正会員 神野 健二

鳥取大学 正会員 舩井 和朗

1.はじめに 感潮河川周辺帯水層においては、地下水の揚水使用により河川水位に比べて周辺地下水位が低い場合には海から遡上した塩水が侵入し、地下水の塩水化が問題となる。本報は、感潮河川から不圧帯水層への塩水の侵入・分散機構について、室内実験および数値計算により基礎的検討を加えるものである。

2. 室内実験 図-1に実験に用いた装

置の概略を示している。実験では、平均粒径が $d_m = 0.57 \text{ cm}$ の相馬砂を使用して不圧帯水層を作成した後に、図の左側の淡水深を $H_L = 53.3 \text{ cm}$ 、右側の淡水深を $H_R = 52.2 \text{ cm}$ および河川水深を $H_0 = 51.9 \text{ cm}$ に設定し、河川に目視観測が可能なように食用色素赤色 2 号で赤紫色に着色した塩水を注水し、流れを安定さす。次に、流れが安定した境界水位から右側の淡水位を $H_R = 50.0 \text{ cm}$ まで一気に低下させて、河川からの塩水の非定常侵入過程の実験を行った。塩分濃度は、図-1の●の位置に取り付けた試作濃度センサーとパーソナルコンピュ

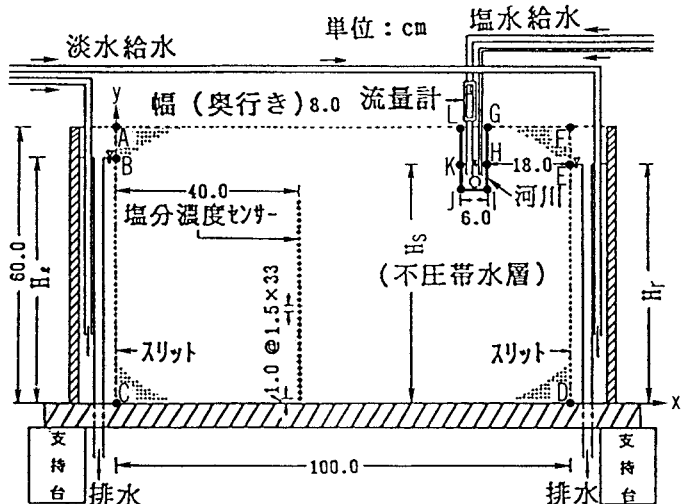


図-1 鉛直断面不圧帯水層の実験装置と解析領域

ータとによって一定時間間隔で自動測定した。なお、塩水密度は 1.025 g/cm^3 に設定している。

3. 数値計算 地下水流れの基礎方程式および二次元移流分散方程式は次式で与えられる。

$$(C_w + \alpha S_s) \partial h / \partial t = - \partial u / \partial x - \partial v / \partial y \quad \cdot \cdot \cdot (1)$$

$$u = -k \partial h / \partial x \quad \dots (2) \quad v = -k (\partial h / \partial y + \rho / \rho_f) \quad \dots (3)$$

$$\begin{aligned} \partial(\theta C)/\partial t + \partial(u' \theta C)/\partial x + \partial(v' \theta C)/\partial y = & \partial(\theta D_{xx} \partial C/\partial x + \theta D_{xy} \partial C/\partial y)/\partial x \\ & + \partial(\theta D_{yx} \partial C/\partial x + \theta D_{yy} \partial C/\partial y)/\partial y \quad \dots (4) \end{aligned}$$

ここに、 S_s : 比貯留係数、 C_w : 比水分容量、 h : 圧力水頭、 t : 時間、 k : 透水係数、 ρ : 流体密度、 ρ_f : 淡水密度、 θ : 体積含水率、 C : 塩分濃度、 u, v : x, y 方向の Darcy 流速、 u', v' : 実質流速、 $D_{xx}, D_{xy}, D_{yx}, D_{yy}$: 分散係数で、帯水層の分散に関する等方性を仮定すると、次式のように流速依存型で与えられる。

$$\theta D_{xx} = \alpha_L u'^2 / V + \alpha_T v'^2 / V + \theta D_H, \quad \theta D_{yy} = \alpha_T u'^2 / V + \alpha_L v'^2 / V + \theta D_H, \quad \theta D_{xy} = \theta D_{yx} = (\alpha_L - \alpha_T) u' v' / V$$

・・・(5) 　ここに、 $V = (u'^2 + v'^2)^{1/2}$ 、 α_L ：縦分散定数、 α_T ：横分散定数、 D_H ：透過層内の分子拡散係数

である。式(4)の塩分濃度 C と式(3)の流体密度 ρ との間には $C=100(\rho-\rho_f)/(\rho_s-\rho_f) \cdots (6)$ の関係がある。ここに、 ρ_s : 塩水密度、塩分濃度 C は%表示である。境界条件は、具体的に次のように与えている。

AB、EF、GH、LK境界: $-k \partial h / \partial x = 0$ 、 $D_{xx} \partial C / \partial x = 0$ 、BC境界: $h_b = H_0 - y$ 、 $C_b = 0$

CD境界: $-k(\partial h/\partial y + \rho/\rho_f)=0$ 、 $D_{yy}\partial C/\partial y=0$ 、DE境界: $h_b=H_r-y$ 、 $C_b=0\%$ 、

AL、FG境界： $-k(\partial h/\partial y + \rho/\rho_f) = R_e$ 、 $C_b = 0\%$ 、HI境界： $h_b = (H_s - y) \rho_s/\rho_f$ 、 $u \geq 0$ のとき $C_b = 100\%$ 、

$$u < 0 \text{ のとき } D_{xx} \partial C / \partial x = 0, \text{ KJ境界: } h_b = (H_g - y) \rho_g / \rho_f, u \geq 0 \text{ のとき } D_{xx} \partial C / \partial x = 0, u < 0 \text{ のとき } C_b = 100\%,$$

IJ境界: $h_b = (H_s - y) \rho_s / \rho_f$ 、 $v \geq 0$ のとき $D_{yy} \partial C / \partial y = 0$ 、 $v < 0$ のとき $C_b = 100\%$

数値計算方法は、式(1)に関しては陰形式の差分法を用いて行い、式(4)の数値解は移流項の離散化誤差が無い粒子移動法によっている。なお、数値計算に必要な定数として、飽和透水係数 0.17 cm/s 、空隙率 0.321 、縦方向分散定数 $0.0227 \text{ cm}^2/\text{s}$ 、横方向分散定数 $0.0013 \text{ cm}^2/\text{s}$ 、分子拡散係数 $10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$ 、差分格子間隔 x 方向 1.0 cm 、 y 方向 0.5 cm である。

4. 結果および考察 図-2には、 $x=40 \text{ cm}$ での鉛直濃度分布の時間変化の実測値を示している。淡塩水混合域は、上部に比べて下部のほうが拡がり幅が大きくなっている。

図-3には、室内実験で目視観測により得た塩水侵入域の時間変化を示している。塩水侵入域は、密度効果により時間の経過と共に低下しながら侵入している。また、帯水層内の淡水中に上部から重い塩水が侵入するために塩水侵入域の下部では、 $\square$ $\triangle$ の変化が起こり時間の経過と共に大きくなっている。

図-4には、河川から密度が 1.025 g/cm^3 の塩水を侵入させたときの数値計算による90%等濃度線の時間変化を示している。90%等濃度線で囲まれた塩水侵入域は侵入開始後40分当りから急激に $\square$ $\triangle$ の変化を示している。この事は、帯水層内の淡水中に上部から重い塩水が侵入するために淡水と塩水の密度差による移流の不安定な変化が塩水侵入域で起こり侵入域の不安定現象が発生するためではないかと考えられる。

図-5には、河川から密度が 1.000 g/cm^3 の淡水を侵入させたときの数値計算による90%等濃度線の時間変化を示している。侵入域は、不飽和領域まで上昇しその後水平方向の流れに乗って滑らかに時間の経過と共に水平方向に侵入している。

5. おわりに 本法では、感潮河川周辺帯水層への塩水の侵入・分散についての室内実験と数値計算を行い、侵入域が密度差の影響により下向きに低下しながら侵入し、 $\square$ $\triangle$ の変化をすることが分かった。今後は、河川から侵入する塩水と帯水層中の淡水との密度差を小さくした室内実験および数値計算を行い、河川と帯水層との相互作用についてさらに検討を行う予定である。

参考文献 1) 柳井、細川、神野、伊藤：海岸帯水層における鉛直塩分濃度分布に基づく横方向分散定数の推定方法、土木学会論文集、411号／II-12、pp.45-53、1989。

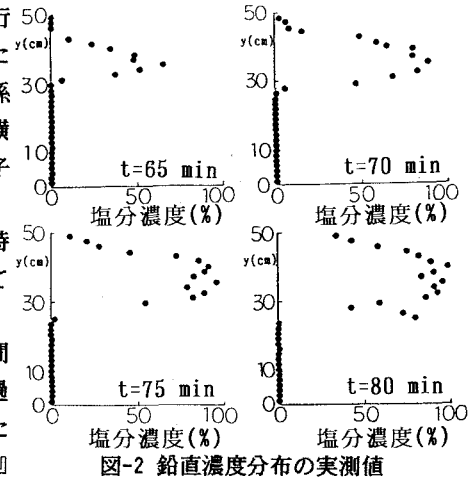


図-2 鉛直濃度分布の実測値

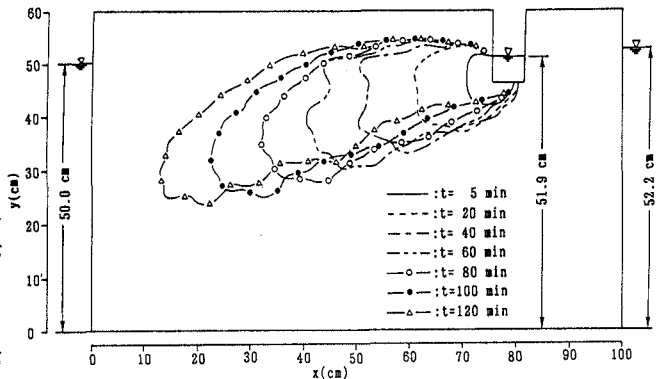


図-3 実験による塩水侵入域の時間変化

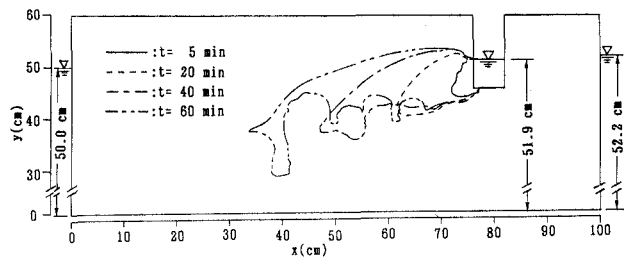


図-4 数値解による90%等濃度線の時間変化

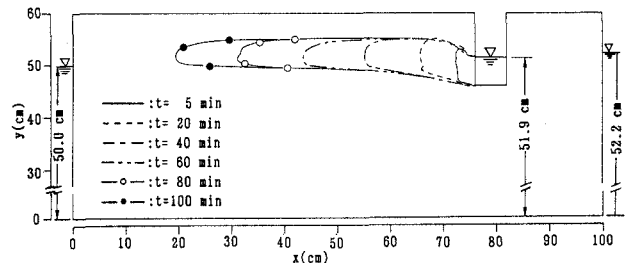


図-5 数値解による90%等濃度線の時間変化