

海岸帯水層に作られた地下ダムの運転に伴う塩水化について

九州産業大学 正会員 ○ 細川 土佐男
九州大学工学部 " 神野 健 二
 " 上田 年比古

1. まえがき

近年地下水資源の開発を目的とした地下ダムの計画や建設が各地で行われている。これらの段階で帯水層の地質構造の変化による透水係数の違いが地下水の塩水化に与える影響について知っておくことが、地下ダムの位置の決定や効果を知る上で大事である。本報では、既存のT地下ダムの地質調査結果に基づいて、数値解析を行いこのことについて検討を加えたものである。

2. 現地地盤の地質構造と透水係数

T地下ダムには2つの沢がありここでは、北側の沢について検討を加える。図-1にこの沢の縦断方向のA, B, Cの3箇所でもボーリング試験を行い得られた地質構造と透水係数の変化を示す。基盤岩の岩質は、古生層の粘板岩、泥岩で、上層部4~5mは風化帯である。風化帯の上部1~2mは粘土化が進み、下部は地下水で亀裂面が暗褐色に汚染されている。

これらの透水係数は $10^{-3} \sim 10^{-5} \text{ cm/sec}$ である。堆積層は、れき混じり粘土層と粘土、岩片混じりれき層からなる。これらの透水係数は $10^{-2} \sim 10^{-4} \text{ cm/sec}$ である。後背山地に進むほど粘土の割合が多くなる為透水性が悪くなる。解析の対象とする領域は、水平方向に0~120m、鉛直方向に未風化の基盤岩から地表面までとする。解析領域内の透水係数の分布を2種類定め図-2に示している。図-2(a)はA, Bの2本、図-2(b)はA, B, Cの3本のボーリング結果からボーリング区間の中間までそれぞれのボーリング点の地層が水平に分布していると仮定して定めた。

3. 基礎式

断面二次元の飽和・不飽和領域内における圧力水頭と塩分濃度に関する基礎方程式は、次式で示される。

○連続の式 $\partial \theta / \partial t = -\partial u / \partial x - \partial v / \partial y$ (1)

○運動の方程式 $u = -k_x (\partial h / \partial x)$ (2)

$v = -k_y (\partial h / \partial y + \rho / \rho_f)$ (3)

○浸透流方程式 $\partial \theta / \partial t = (C_a + \alpha S_s) \partial h / \partial t$
 $= \partial (k \partial h / \partial x) / \partial x$
 $+ \partial (k \partial h / \partial y) / \partial y + \partial (k \rho / \rho_f) / \partial y$ (4)

○移流分散方程式 $\partial (\theta C) / \partial t + \partial (u C) / \partial x$
 $+ \partial (v C) / \partial y = \partial (\theta D_{xx} \partial C / \partial x + \theta D_{xy} \partial C / \partial y)$
 $/ \partial x + \partial (\theta D_{yx} \partial C / \partial x + \theta D_{yy} \partial C / \partial y) / \partial y$ (5)

ここに、 θ ；体積含水率、 t ；時間、 u, v ； x, y 方向のDarcy流速、 k_x, k_y ； x, y 方向の透水係数、 ρ ；密度、 ρ_f ；淡水密度、

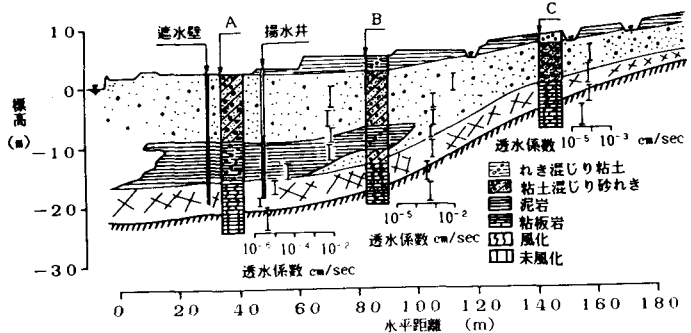


図-1 地質構造

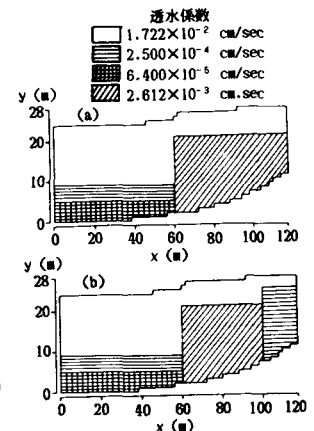


図-2 透水係数の分布

$C a (=d \theta / d h)$; 比水分容量, S_s ; 比貯留係数, C ; 塩水濃度, 係数 α は不飽和領域で $\alpha = 0$, 飽和領域で $\alpha = 1$ の値をとる. 分散係数 $D_{xx}, D_{xy}, D_{yx}, D_{yy}$ は,

$$\theta D_{xx} = \alpha_t u'^2 / V + \alpha_l v'^2 / V + \theta D_m, \quad \theta D_{yy} = \alpha_t u'^2 / V + \alpha_l v'^2 / V + \theta D_m$$

$\theta D_{xy} = \theta D_{yx} = (\alpha_t - \alpha_l) u' v' / V$ (8) で表される. ここに, u', v' ; 実質流速, α_l ; 縦分散長; α_t ; 横分散長, D_m ; 分子拡散係数, $V = (u'^2 + v'^2)^{1/2}$ である. 式(3)の密度 ρ と式(4)の濃度 C との関係式は, $C = (\rho - \rho_f) / (\rho_s - \rho_f) \times 100$ である. ここに, ρ_s ; 塩水密度である.

4. 計算条件

境界条件は, 地表面上では, 一定のかんよう量 $1.86710^{-8} \text{ cm/sec}$ を与え, 淡水及び塩水境界上は, 静水圧分布, 基盤上は $\text{Flux} = 0$, その他の境界は Flux の出入りが自由であるとした. つぎに, 帯水層の不飽和特性を表す関係式は, $kr = k / k_s = 0.0187 |h|^{-1.6895}$, $\theta = 0.1007 |h|^{-0.83615}$, $C(h) = 0.0364 |h|^{-1.3615}$

(9) を用いている. ここに, kr ; 透水係数比, k_s ; 飽和透水係数. その他の条件は, 淡水深 $H_f = 22.0 \text{ m}$, 塩水深 $H_s = 27.0 \text{ m}$, 分散長 $\alpha_t = 0.05 \text{ cm}$, $\alpha_l = 0.005 \text{ cm}$, 格子間隔 $\Delta x = 200.0 \text{ cm}$, $\Delta y = 100.0 \text{ cm}$, 時間間隔 $\Delta t = 2 \sim 7200 \text{ sec}$ とした. なお, 式(4)は陰形式で差分化し SOR 法で, 式(5)は粒子移動法で計算を行った.

5. 計算結果および検討

計算により得られた結果を図-3~6 に示す. 図-3~4 は図-2 の (a) についての結果である. 図-3 では, 平衡状態の地下水面, 濃度分布及び流速ベクトルを, 図-4 は, 図-3 の結果を初期条件として揚水量 115 t/day で揚水を行った時の, 地下水面と $10(\%)$ 等濃度線の時間的变化を表す. 地下水面が低下している様子や等濃度線が地層境界上で変化していることがわかる. 次に, 図-5~6 は, 図-2 の (b) についての結果である. 図-5 に平衡状態の地下水面, 濃度分布, 流速ベクトル, 図-6 に揚水時の地下水面, 等濃度線を示している. 上部地層境界上で地下水面が急に変化し, その結果図-3 に比べて地下水の塩水化が進んでいることや下部地層境界で等濃度線が少し変化していることがわかる. 以上の計算の結果, 透水係数の違いが地下水面や等濃度線および流速に影響を及ぼしひいては地下水の塩水化に影響を与えることが確かめられた. なお, 今後は現地の状況に適合出来る数値シミュレーションモデルについて検討を加えて行きたい.

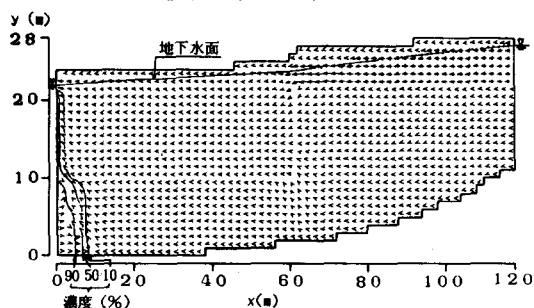


図-3 流速ベクトルと濃度分布

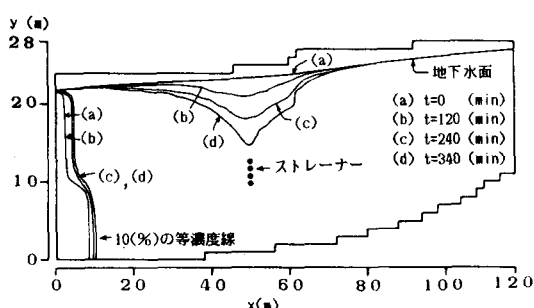


図-4 地下水面の変化

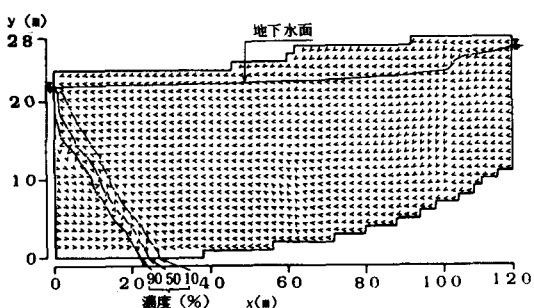


図-5 流速ベクトルと濃度分布

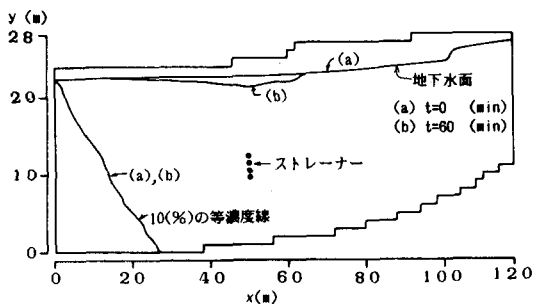


図-6 地下水面の変化