

II-75

海岸地下密度流の三次元解析

宮大 正 杉尾 哲
学 0 甲 雙 正 建

1. はじめに

近年、沖縄県では夏場の水資源確保の観点から地下水を貯留しておくための地下ダムが盛んに計画され、建設されるようになった。同県具志頭村に建設予定の荒川地下ダムは、図1-1に示すように、不透水性基盤面まで完全に遮水できず、ダムの下側に開口部を設ける計画である。この場合、海岸線に近いので、潮汐や地下水の揚水による淡水-塩水境界面上昇(又は下降)、それに伴う地下水の塩水化が生じてくる。

本報では1stepとして、地下ダムを設定しない状態での、地下水流動について三次元の解析をおこなった。

2. 基礎式

図1-1は、海岸線付近の淡水(h_f)と塩水(h_s)の境界面ならびにその境界状況を示した概略図である。 $z=0.5\text{ m}$ より上をオ1層(淡水のみ領域)としてそれ以下をいくつかの層に分ける。オ2層以下は各層の標高と浸透境界面との差で淡水領域、淡水+塩水領域、塩水領域として、それぞれについて基礎方程式をたて各層内で鉛直方向に積分した形に整理すると(1)~(5)の式になる。ここに、 n_e, n_s は有効間隙率、 K は透水係数、 D は各層の厚さ、 h は全水頭(ピエゾ水頭)、 z は $z=0$ より計った各層の標高、 r は地表面からのかん養量である。

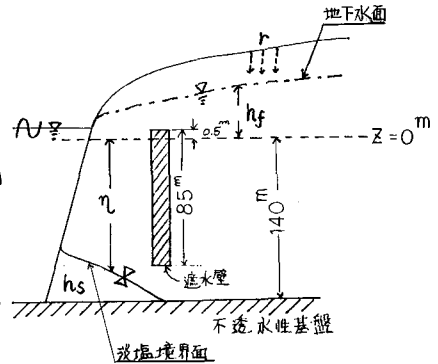


図1-1 略図

オ1層 (淡水のみ)

$$n_e \frac{\partial h_f}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K(h_f - z) \frac{\partial h_f}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K(h_f - z) \frac{\partial h_f}{\partial y} \right] - K \frac{\partial h_f}{\partial z} + r \quad (1)$$

オ2層以下
(淡水領域)

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[K D_i \frac{\partial h_f}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K D_i \frac{\partial h_f}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K \frac{\partial h_f}{\partial z} \right] D = 0 \quad (2)$$

(淡水+塩水領域)

$$n_e \frac{\partial h_f}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K(\eta - z_{i-1}) \frac{\partial h_f}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K(\eta - z_{i-1}) \frac{\partial h_f}{\partial y} \right] - K \frac{\partial h_f}{\partial z} \quad (3)$$

$$-n_s \frac{\partial h_s}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K(z_i - \eta) \frac{\partial h_s}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K(z_i - \eta) \frac{\partial h_s}{\partial y} \right] + K \frac{\partial h_s}{\partial z} \quad (4)$$

(塩水領域)

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[K D_i \frac{\partial h_s}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K D_i \frac{\partial h_s}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K \frac{\partial h_s}{\partial z} \right] D_i = 0 \quad (5)$$

3. 数値解析法

数値解析は、陽解法の差分法による。この場合、例えば、 $\Delta x = \Delta y = 200\text{ m}$ 、 $K = 0.2\text{ cm/s}$ 、 $n_e = n_s = 0.1$ として、帯水層を3~5層程度に分けると、収束安定条件より $\Delta t = 0.1 \sim 0.4\text{ hr}$ 程度の微小な値になる。本解析では3~5ヶ年の長期間の計算を行う予定であるのでこのままでは計算時間がかかりすぎることになる。そこで $\Delta t = 24\text{ hr} = 1\text{ day}$ 程度で計算する近似解法を考えることにした。たゞ単純に従来の解法で $\Delta t = 1\text{ day}$ の大きな値を用いると計算は発散してしまうので種々検討を行い、図3-1の様なフローチャートに従って次の様な計算をした。すなわち、式(3)=式(4)とおいてオ2層以下の地下水頭の計算から非定常計算を排除し、繰返し計算によって、 $t+\Delta t$ 時の水頭の計算をする。その後オ1層の計算を次式により行う。すなわち、 z 方向の空間差分を t と $t+\Delta t$ 時の値を用いるものである。オ1層の淡水水位を h_{f1} 、オ2層の淡水頭を h_{f2} で表わすと式(1)は次の様に書ける。

$$n_e \frac{h_{f1}^{t+\Delta t} - h_{f1}^t}{\Delta t} = \frac{[]}{\Delta x} + \frac{[]}{\Delta y} + r - K \frac{h_{f1}^{t+\Delta t} - h_{f2}^{t+\Delta t}}{\Delta z} \quad (6)$$

しかし、 Δt を大きくしたことで計算誤差が生じると考えられるので補正係数 α をオ1～オ3項に乗じている。

$$\left(\frac{n_e}{\Delta t} + \frac{K}{\Delta Z}\right) h_{fi}^{t+\Delta t} = \left(\frac{L}{\Delta X} + \frac{L}{\Delta Y} + r\right) \cdot \alpha + \left(\frac{n_e}{\Delta t} h_{fi}^t + \frac{K}{\Delta Z} h_{fi+2}^{t+\Delta t}\right) \quad (7)$$

α の値は、本報の場合 $\alpha = 7.0$ とした。

4. 解析例

入力データとして日降雨量、月蒸発散量、日平均河川水位を用いた。日降雨量と蒸発散量をタンクモデルに与えて、地表面からのかん養量 r を算出した。尚、タンクモデル定数は同じサンゴ礁石灰岩の宮古島での水収支解析で求められた値を用いた。日平均河川水位は河川位置のオ1層の淡水水位に与えた。河川水位は、図4-2中のB点付近で計測されたものであるが、本報では河川水位の変動量は河口付近を除く河川全延長で同じ値になる様にしている。当地の地下水水位観測は1983年3月以降に行われているが、同期間の河川水位が入りできないので、解析例は1980年の値を入力して求めた。オ1層の初期水頭は図4-1に示す様にモデル中央を右方向に縦断する河川水位+1.0mの値を右方向に同一に与えた。ただし、基盤標高の方が高い場合には基盤標高+1.0mとした。オ2、オ3層の初期水頭はオ1層と同値にしている。図4-2はオ1層の1年後の計算結果を示している。図4-3は地下水水位観測が行われている図4-2中のA点のオ1層の淡水頭とB点のオ1層の淡水頭(実線)とオ2層の淡水頭(点線)を示している。同図下には日降雨量を描いているが降雨に伴って地下水頭が変動している様子がうかがえる。尚、計算当初の急激な地下水水位変化は初期条件に無理があったためと考えられる。実測値との直接比較はできないが、同程度の降雨量の場合の地下水水位変動を比較するとほぼ似た値となりある程度妥当性のある地下水モデルが構築できたのではないかと考えている。今後、河川水位が入りできないさらに検討してゆきたいと考えている。

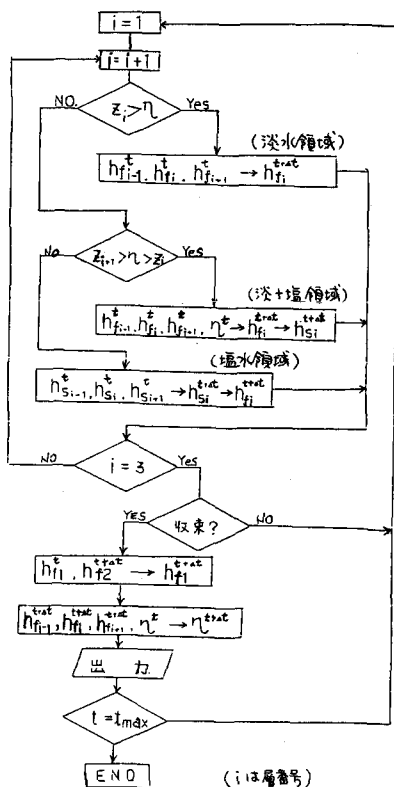


図3-1 フローチャート

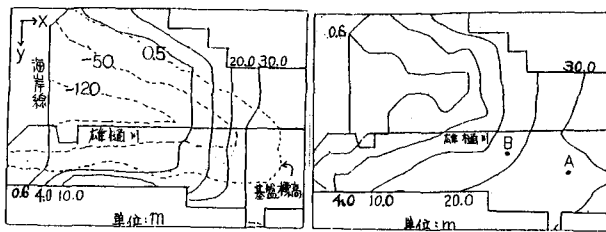


図4-1 t=0 day
地下水水位等高線

図4-2 t=366 (day)
地下水水位等高線

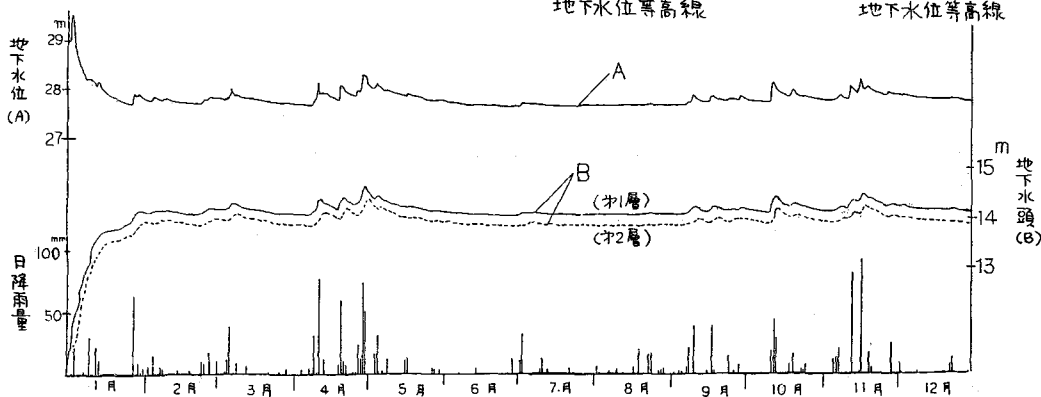


図4-3 地下水頭の変動