

海岸部における自由地下水の挙動

愛媛大学地域共同研究センター 正会員 ○井内国光
 愛媛大学大学院 学生員 堀井 潤
 愛媛大学工学部 正会員 高 学平
 愛媛大学工学部 正会員 柿沼忠男

1. まえがき 海岸帯水層における自由地下水の挙動について、今回は地下水の流出部に注目し、その流出位置や流出速度を数値解析によって考察する。海岸は地下水と海水との接点であり、地下水流を解析する場合には境界条件として海水位を圧力水頭や水理水頭の高で与え、地下水の流動を決定する。ここでは傾斜海岸において波浪の存在によって wave set-up や wave set-down が生じ、平均海水位が場所的に変化する場合の地下水の流速や濃度の解を数値解析によって求める。海底での地下水の上向き流出は少なからず底質の移動などに影響を与えることが予想される。

2. 解析手法 今回の解析は定常状態のみに限る。したがって波浪の効果を wave set-up や wave set-down による平均海水位の空間的な変化として表現する。図-

1に解析に用いた二次元の不圧帯水層モデルを示す。境界BCが海岸であり、地下水は境界DEより流入し、境界ABFから流出する。境界AEは不透水層とする。

地下水の流れについてはダルシー則を不飽和帯領域に拡張した式

$$\mathbf{q} = -k \{ \nabla h + (\rho / \rho_0) \nabla z \}$$

と連続式

$$\nabla \cdot (\rho \mathbf{q}) = 0$$

を用いる。ここに $\mathbf{q}$ は流速、 k は透水係数、 h は圧力水頭、 ρ と ρ_0 は混合流体と淡水の密度である。不飽和帯における k と体積含水率 θ の関係として BROOKS et al. (1966) の実験式 $k = k_0 \{ (\theta - \theta_r) / (n - \theta_r) \}^m$ ($m = 3, \theta_r = 0.001$, IRMAY, 1954) を用い、 k_0 は飽和透水係数、 n は間隙率である。 θ と h の関係として VAUCLIN et al. (1979) の実験式 $\theta = n\alpha / (\alpha + |h|^\beta)$ (h はcm単位、 $\alpha = 4 \cdot 10^4$, $\beta = 2.9$) を用いた。塩の移動については飽和・不飽和帯の全領域で移流分散方程式

$$\nabla \cdot (c \mathbf{q}) - \nabla \cdot \{ (\theta / n) \mathbf{D} \cdot \nabla c \} = 0$$

を用いる。ここに c は塩の濃度、 $\mathbf{D}$ は分散係数であり、この解析では分散係数として地下水の流速に依存するとして分散長と流速との積で表した。密度 ρ は濃度 c に依存するのでその関係式として $\rho = \rho_0 + (1 - E)c$ を用いる。ここに E は海水程度の濃度ではその値が0.3である定数である。

砕波するまでの平均水位の低下量、すなわち wave set-down 量は

$$\eta = -(1/16)H_0^2 \kappa_0 \coth^2 \kappa h / (\kappa h + \sinh \kappa h \cosh \kappa h) \quad (H_0 \text{は深海波の波高、}\kappa \text{は波数、}h \text{は水深})$$

によって求め、砕波帯内での上昇量、すなわち wave set-up 量は

$$\eta = K(h_b - h) + \eta_b \quad (h_b \text{は砕波水深、}\eta_b \text{は砕波点における平均水位の低下量、} K = (1 + 8/(3\gamma^2))^{-1}, \gamma = 0.73)$$

によって求め、砕波水深 h_b は合田(1970)による図から算定した。

数値解析には有限要素法を採用して、以下の量について種々の値を与えて地下水の流速場や濃度場を求めた。

パラメータ：飽和透水係数、境界DEにおける地下水位、分散長、海岸勾配、沖波波高、周期

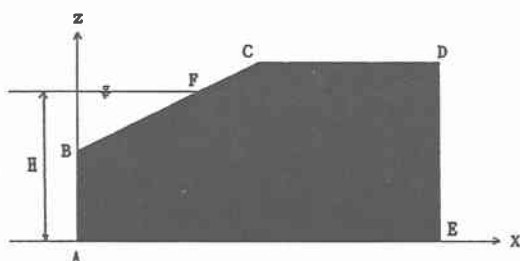


図-1 帯水層モデル

3. 解析結果 図-2 に波浪が存在しない場合の地下水の流速分布を示す。海水位は10.0m、上流の地下水位は11.0mであり、(a)は縦分散長が0.1mの場合、(b)は縦分散長が20mの場合である。なお横分散長は縦分散長の1/10とした。また、(c)には地下水流出部が海水ではなく淡水であるとした場合の結果も示してある。これらの図から流出速度は地下水の流出部が海水の場合(図-2(a)、(b))の方が淡水の場合(図-2(c))より大きいことがわかる。また、その大きさは分散長が小さいほど大きく、(a)の場合には上流の地下水流入部における流速の約12倍である。したがって、海岸における地下水の流出速度を見積もる際に、本解析のように淡・塩水の混合流体とした解析ではなく、簡単化のために密度が一様な単一流体とした解析(図-2(c))がこれまでよく行われていたが、こうした解析では流出速度を過小に評価することとなる。図-3 に沖波波高1.0m、周期5 secとして wave set-up と set-down を考慮した場合の流速分布を示す。砕波点は $x=49.8\text{m}$ であり、平均海水位はこの地点で最も低下する。この図によると、地下水の流出が2カ所、すなわち、砕波点付近と汀線付近でみられる。汀線における流出速度は図-2(a)の波浪が存在しない場合に比べて小さくなる。図-4 は海底面からの流出を詳しく示したものであり、 $x=49.8\text{m}$ から85.1mが砕波帯であるが、砕波帯内では海底面に沿う沖向きの流速がみられ、 $x=70\text{m}$ から80mでは逆に帯水層内へ流入する流速が認められる。

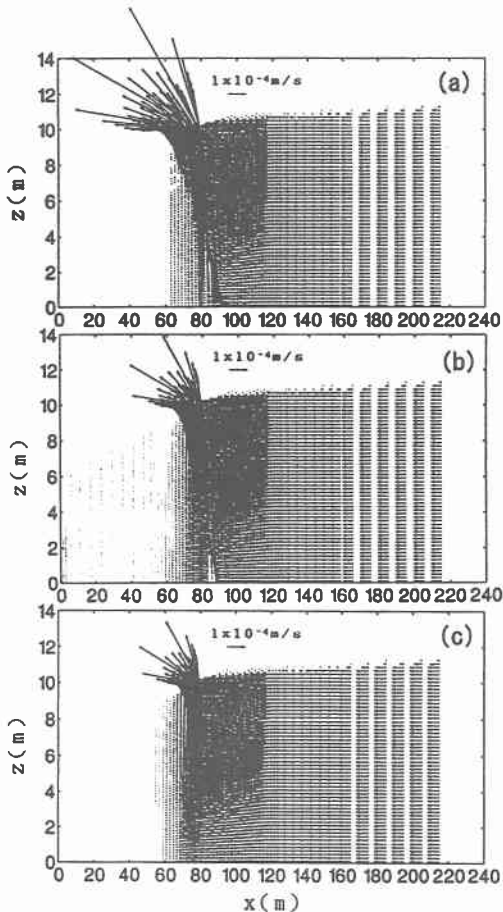


図-2 流速分布(波浪なし)

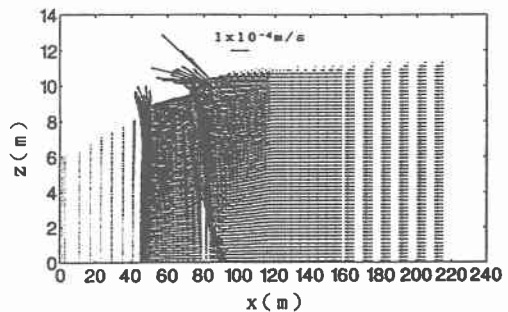


図-3 流速分布(波浪あり)

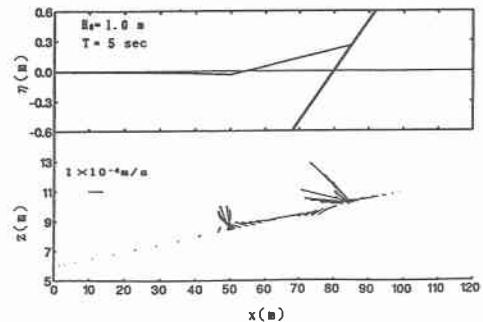


図-4 平均海水位の変動と
海底面上における流速