

異なる気候地域における浸透施設の性能評価

東北大学大学院 学生会員

○宮城 昌和

東北大学大学院 学生会員 S.PRIYANTHA Ranjan

東北大学大学院 フェロー

沢本 正樹

1. 序論

地下水は淡水としての貴重な資源として認識され、その保全と開発のバランスが必要となっている。しかし、沿岸帯水層の地下水において、バランスが崩れた過剰な揚水による地下水位の低下や地球温暖化による海面上昇などに起因する塩水侵入が問題となっている¹⁾。その対策として、浸透池やため池などの浸透施設を用いた人工涵養による塩水侵入防止対策が挙げられる。本研究では、浸透施設による塩水抑制について考察を行うことを目的とし、数値計算を用いて、降水条件などの気候地域の差異による浸透施設の塩水抑制効果および、水収支を考察することにより異なる気候地域における浸透施設の設置可能性について評価した。

2. 解析手法

本研究では、USGS が開発した三次元地下水流動解析モデルである MODFLOW-2000 と MODFLOW-MT3 DMS を用いる。MODFLOW-2000 の基礎式は以下のよう

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \left[\rho K_x \left(\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\rho - \rho_f}{\rho_f} \frac{\partial H}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\rho K_y \left(\frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\rho - \rho_f}{\rho_f} \frac{\partial H}{\partial y} \right) \right] \\ + \frac{\partial}{\partial z} \left[\rho K_z \left(\frac{\partial h}{\partial z} + \frac{\rho - \rho_f}{\rho_f} \frac{\partial H}{\partial z} \right) \right] = \rho S_s \frac{\partial h}{\partial t} + \theta \frac{\partial \rho}{\partial C} \frac{\partial C}{\partial t} - \rho_s q_s \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 K_x , K_y , K_z はそれぞれ x , y , z 方向の透水係数(m/s), t は時間(s), h は水頭(m), H は標高(m), θ は有効間隙率(%), q_s は単位体積あたりの地下水系外(浸透施設や河川など)からの流入量または流出量(s^{-1}), C は溶質の濃度(kg/m^3)である。 S_s は貯留係数(m^{-1})である。 ρ は流体の密度(kg/m^3) ρ_f は淡水の密度(kg/m^3), ρ_s は海水の密度(kg/m^3)である。

MODFLOW-MT3DMS の基礎式は以下のように与えられる。

$$\frac{d(\theta C)}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\theta D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_i} (\theta v_i C) + q_s C_s \quad (2)$$

ここで、 v_i はダルシー流速(m/s), C_s は地下水へ流入・流出する濃度(kg/m^3)である。ここで、 v_i はダルシー流速(m/s), C_{ij} は分散係数(m^2/s)である。

3. 浸透施設のモデル化

浸透施設からの浸透量は以下のダルシーの法則より計算した。

$$\begin{cases} q = -C(h_1 - R_{bot}) & h > R_{bot} \\ q = -C(h_1 - h) & h \leq R_{bot} \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 q は浸透流量(m^3/s), C は浸透施設底部の透水係数(m^2/s), h_1 は浸透施設の水位(m), R_{bot} は浸透施設の底部の標高(m)である。本研究で用いた浸透施設の条件は、表面積 $0.04km^2$, 底部の標高 $-0.5m$, 水位 $0.5m$, 透水係数は地質に応じた値とした。

4. 異なる気候における浸透施設の塩水抑制評価

地下水を考えるうえで重要な涵養は、気候帯により異なる降水量や蒸発散量に大きく影響を受ける。したがって、気候帯ごとの浸透施設による塩水侵入抑制効果について考察した。気候を分類するにあたって、Martonne, E.de が提案した AI (乾燥指数)を用いた¹⁾。以下の式で示される。

$$AI = \frac{P}{T + 10} \quad (4)$$

ここで、 T は年平均気温(°C), P は年平均降水量(mm)である。分母は可能蒸発散量を気温で見積もったものである。

気候と関係のある涵養は以下の式で求められる。

$$R = P - ET_{crop} - RO \quad (5)$$

ここで、 R は涵養量, P は降水量, ET は蒸発散量, RO は地表流出である。

ET は以下の式で求められる²⁾。

$$ET_{crop} = ET_0 \times K_c \quad (6)$$

ここで、 ET_{crop} は土地被覆(植生)を考慮した蒸発散量, K は植生係数である。 ET_0 は参照蒸発散量であり、アメリカでよく用いられている SCS 法によると以下で表される²⁾。

$$ET_0 = K_t \left(T \times \frac{p}{100} \right) \quad (7)$$

$$K_t = 0.0173T - 0.314 \quad (8)$$

ここで p は年日射時間に対する日射時間の割合である。

RO は以下の式で求められる²⁾。

$$RO = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \quad (9)$$

ここで、 S は地表流出が生じた後の最大可能貯留量である。これは地質や土地利用の状況により値が影響される。SCS 法によると以下の式で表される²⁾。

$$S = \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \times 25.4 \quad (10)$$

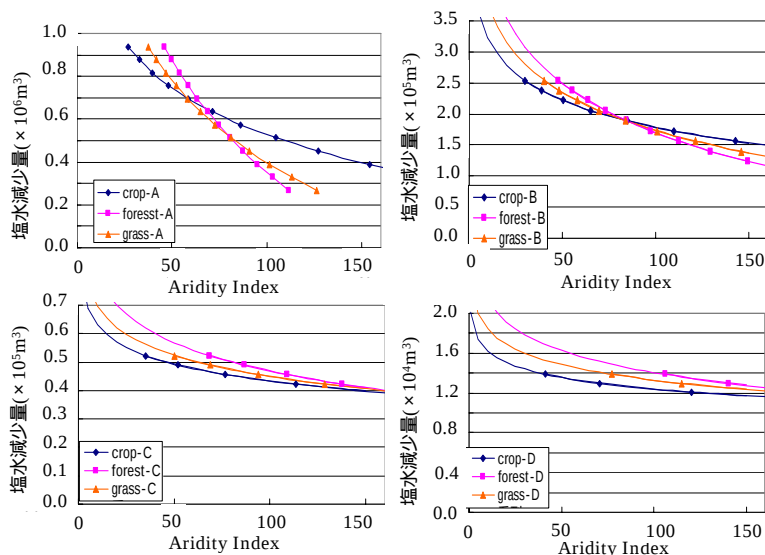


図-1 気候ごとの浸透施設の塩水抑制効果

ここで、 CN は curve number といい、地質、土地利用の状況や先行土壌水分から求まる値である。地質は A から D の 4 つに分類されており、A が最も排水性の高い砂礫質であり、B、C、D となるにつれて排水性の低い地質になる。それぞれの透水係数は 5.56×10^{-5} , 5.56×10^{-6} , 5.56×10^{-7} , 1.12×10^{-7} m/s とした。本研究において土地利用は森林、草原、農地に分類した。先行土壌水分は乾燥、湿潤、その中間の 3 つに分類されているが、本研究において中間的な先行土壌水分の状態を用いた。以上の方法で涵養量を求め、それぞれの気候帯ごとの涵養量 (AI と涵養量 R の関係) を算出し、その涵養量を浸透施設を考慮した地下水流動解析における入力値として数値解析を行い、気候帯ごとの浸透施設の塩水抑制効果を調べる。

5. 結果および考察

結果を図 - 1 に示す。塩水が押し出された効果を評価する方法は、浸透施設を設置した場合に塩分濃度 0% の水量が増加した分を比較することで行う。

異なる土地利用や地質においても AI が小さくなると塩水減少量が大きくなる。この理由は、 AI が小さくなると涵養量が少なくなるため、塩水侵入が増加しており、浸透施設から地下水涵養させることで塩水を多く押し出すことができるからである。

地質 A-D を比較すると、同じ AI でも塩水減少量が異なっている。A から D へと排水性の悪い地質になると塩水減少量が少なくなっている。これは、排水性が悪い地質であると浸透施設からの地下水涵養量が少なくなるため、塩水を押し出す効果が小さくなったからである。また、C や D のような排水性が悪い地質ほど AI の変化による塩水減少量の変化が小さくなっている。したがって、排水性が悪い地質の場合、浸透施設の効果と気候の関係性が小さいといえる。

6. 浸透施設の設置可能性評価

5 章より乾燥地において浸透施設の効果が大きいことが認識された。しかし、乾燥地帯において浸透施設

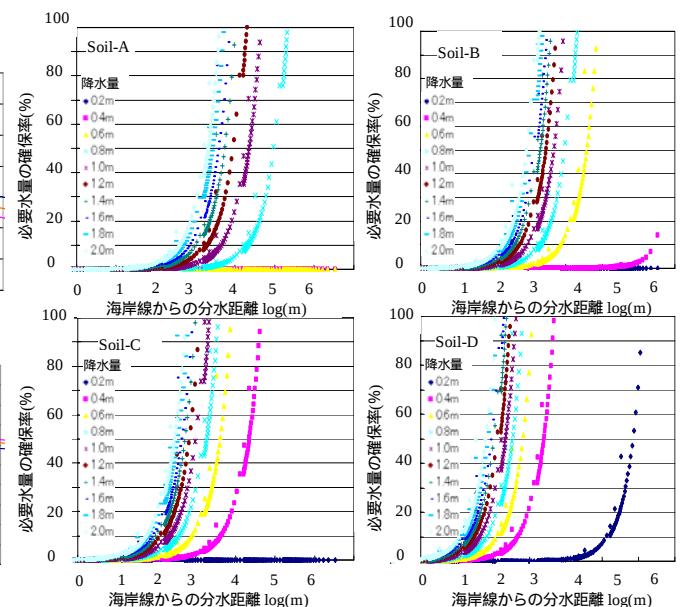


図-2 浸透施設の設置可能性評価

の水源がないことが考えられるので、水収支を考慮した浸透施設の設置可能性に関する総合的な評価となる基準を作成した。流域内の地表流出 RO のみを浸透施設の水源地とし、浸透施設からの損失水量を確保できるかを判断基準とした。浸透施設からの損失水量は浸透施設底部からの浸透量および水面からの蒸発量が考えられる。しかし、蒸発量は浸透量と比較して小さいので、無視することにする。浸透量は地質ごとに異なる透水係数より算出した。

畑地における設置可能性の結果を図 - 2 に示す。必要水量の確保率は、浸透施設に必要な水量に対する地表流出量が占める割合である。海岸線からの分水距離は、流域形状を表現するためのもので、海岸線 1m 当りの流域の奥行きを示している。浸透施設の最適な設置間隔について考察を行った結果、地質などに起因せず約 1500m の設置間隔が最適であると認識された。したがって、今回は 1500m ごとに浸透施設を設置した。

その結果、降水が小さくても海岸線からの分水距離が大きい場合、必要水量を確保できることが示された。

7. 結論

数値解析により異なる気候帯における浸透施設の塩水抑制効果を評価した。さらに、流域形状および降水量から浸透施設の設置可能性について評価した。

謝辞

本研究は「環境省の地球環境研究総合推進費(S-4):温暖化の危険な水準及び温室効果ガス安定化レベル検討のための温暖化影響の総合的評価に関する研究」から援助を受けました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) S., Priyantha, Ranjan, So, Kazama and Masaki, Sawamoto : Effects of climate and land use changes on groundwater resources in coastal aquifers, *Journal of Environmental Management*, Vol.80, issue 1, pp.25-35, 2006.
- 2) David R. Maidment : Handbook of hydrology, McGRAW-HILL, INC., 1993.