

潮汐に伴う地下塩水楔の挙動

長崎大学工学部 学生員○藤井 真一 非会員 小田 章人
正 員 古本 勝弘 正 員 一ノ瀬 和雄

1. はじめに

海岸近傍の淡水湖の有効利用を考える時、塩水汚染を防止することが重要になってくる。地盤中において、淡水($\rho = 1.00\text{g/cm}^3$)より密度の大きな海水($\rho_s = 1.025\text{g/cm}^3$)が楔状に侵入しており自由地下水面とともに潮汐によって変動する。自由地下水面の変動においては、均質流体と仮定して解析した平均水位、変動振幅、位相差などは、塩水侵入があるとした場合とは異なることが考えられる。本研究では、長崎県三和町の川原大池砂嘴部を対象とし室内実験と数値解析を行い、これらの関係を明らかにしようとするものである。

2. 川原大池の概要

川原大池(図-1)は入江が砂嘴の成長で締め切られた海跡湖で、現在は淡水湖化されている。当該湖は町の新たな水資源として期待されているが、水位低下に伴う塩水侵入や浸透流出の問題がある。満水時の貯水量 71 万 m^3 、水面積 0.127 km^2 、最大水深 9m の小さな湖で、池田川のみが流入する。湖水は末端の水門(敷高 TP.1.47m)から越流し、常時は一定水位に保たれているが、冬期の流入が減少する時季には越流がなくなる。また、大潮の満潮時には湖水位より海面が高くなり水門操作が欠かせない。

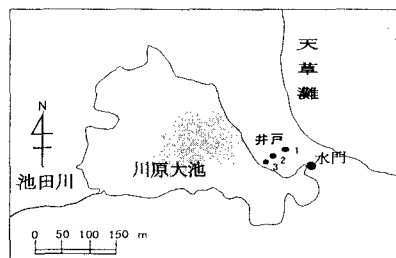


図-1 川原大池略図

湖と海を隔てる砂嘴部の地下構造は図-2 のように想定される。

3. 井戸の水位変動

砂嘴部にボーリング井戸(海岸線からの位置 107, 127, 144m)があり、潮汐とともに変動する井戸水位を計った(図-3)。海からの距離が離れるほど変動振幅は小さくなるとともに、平均水位は高くなり、海に向かう流れがあることが分かる。この時の湖水位は TP.1.50m であった。井戸は浅いため井戸水質から塩水の侵入を確認することはできない。井戸の変動振幅や平均水位等の観測資料から地盤の透水系数や海に向かう地下水流量を求めたいが、塩水侵入がある場合に地盤の諸係数が、どのように水位変動に影響するかを調べるため実験と数値解析を行った。

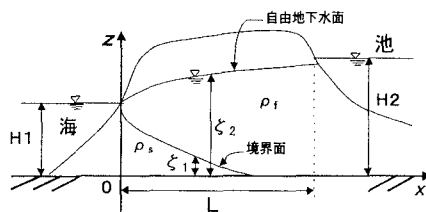


図-2 海岸近傍の地下断面モデル

4. 地下塩水楔に関する室内実験

図-4 に示す全長 600cm、高さ 60cm、幅 10cm の実験装置を用いた。使用した材料は有効径 0.6mm の砂で、砂層の長さは $L = 540\text{cm}$ である。起潮は、図左端の起伏堰を周期的(6~15 分)に昇降させて塩水側水位 H_1 を与えた。変動する水位は 6 箇所(塩水側から 0, 37, 97, 187, 327, 534cm)に取りつけたマンメーターで読み取った。図右端の淡水側水位 H_2 は実験中常に一定とした。実験手順は次のようである。まず淡水のみを入れ所定の振幅と周期の潮汐を与えて、均質流体のみの水位変動を読み取り、次に所定の密度に調整した塩水を海側に入れつづけ、砂層中に塩水が充分侵入し、安定した入退を繰り返す状態に達した後、自由水面と淡塩境界面の位置を読んだ。淡塩境界面は、塩水にアニリンブルーを注入して目視し易くしたが明瞭性に欠け、その位置の読みとりには 1 cm 程度の誤差は含まれる。淡塩境界面の変

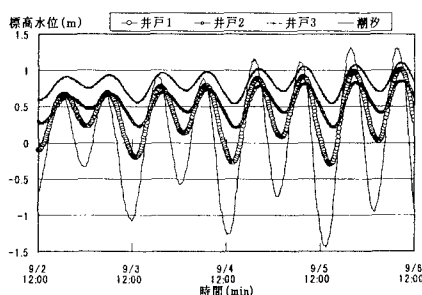


図-3 潮位と井戸水位の変動

次のようである。まず淡水のみを入れ所定の振幅と周期の潮汐を与えて、均質流体のみの水位変動を読み取り、次に所定の密度に調整した塩水を海側に入れつづけ、砂層中に塩水が充分侵入し、安定した入退を繰り返す状態に達した後、自由水面と淡塩境界面の位置を読んだ。淡塩境界面は、塩水にアニリンブルーを注入して目視し易くしたが明瞭性に欠け、その位置の読みとりには 1 cm 程度の誤差は含まれる。淡塩境界面の変

動は水面変動よりかなり小さくかつ読みとり精度も期待できないので満干潮時のみの侵入形状を計った。

5. 数値解析と実験の比較

水平基盤上の海岸近傍地下水(境界面, 自由水面)の基礎式はDupuitの仮定を使うと次式で表される。¹⁾

$$n_1 \frac{\partial \zeta_1}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[k \frac{\zeta_1}{1+\delta} \left(\frac{\partial \zeta_1}{\partial x} + \delta \frac{\partial \zeta_2}{\partial x} \right) \right] \dots\dots (1)$$

$$n_2 \frac{\partial \zeta_2}{\partial t} - n_1 \frac{\partial \zeta_1}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[k (\zeta_2 - \zeta_1) \frac{\partial \zeta_2}{\partial x} \right] \dots\dots (2)$$

ここに、 ζ_1 、 ζ_2 : 淡塩境界面および自由地下水面までの基盤からの距離、 $\delta = \rho_f / (\rho_s - \rho_f)$ 、 k : 透水系数、 n_1 、 n_2 : 淡塩境界面および自由地下水面付近の有効空隙率である。境界条件は、 $x=0$ において $\zeta_2 = H_1 + a_0 \sin \sigma t$ 、 ζ_1 は ζ_2 から淡水流出厚さ($\delta q / (\sqrt{2} k)$)²⁾を差し引いて与えた。ここに q : 単位幅淡水流量で、簡単のため定常流の流量を用いた。また $x=L$ では $\zeta_2 = H_2$ (一定)。初期条件は定常流の自由水面形と境界面形状²⁾を与えた。

実験との比較計算として周期 $T=15$ 分、 $H_1=32.1$ cm、 $H_2=35.6$ cm、 $n_1=0.3$ 、 $n_2=0.15$ 、 $k=0.9$ cm/s、 $\rho_s=1.032$ g/cm³の場合を以下に示す。図-5に満・干・中位潮時の水面を示しているが、実験と計算は、ほぼ一致する。図-6に平均水位と境界面の無次元形状を示す。塩水侵入がある場合、海近傍で平均水位の上昇が見られ、塩水楔が抵抗となり水位を押し上げることが分かる。また、境界面は計算より実験の侵入が少ない。図-7に水位変動の位置による減衰を示す。振幅の減衰は塩水楔の有無には殆ど関係ないことが分かった。同図には現地井戸の変動振幅についてもプロットしている。ただし、現地に対する計算は、 $L=250$ m、 $\Delta \rho = 0.025$ g/cm³、 $H_1=35$ m、 $H_2=36.5$ m、 $n_1=0.2$ 、 $a_0=1.25$ m、 $k=0.33$ cm/s において求めた。

半無限砂層に正弦波の水位変動がある場合の振幅は指数関数で減衰し、 $a = a_0 \exp(-\sqrt{n \sigma / 2kH} x)$ と表される。振幅の減衰は塩水侵入の影響は殆ど受けないので、図-7において x/L が小さい領域の曲線の勾配が上式の減衰係数に一致すると考えてよい。減衰係数に関する n 、 k 、 H それぞれを井戸水位の観測から決めることはできないが、ボーリング結果や砂層の状況から計算に用いた値はほぼ妥当と思われる。

6. まとめ

塩水侵入がある海岸近傍地下水の挙動を室内実験と数値解析により調べた。数値解は実験結果をほぼ説明しているが、現地井戸の水位観測から得られる情報のみでは、地盤の諸係数を同定するのは難しい。塩水侵入があると、淡水のみの場合より、平均水位を上昇させるが、水位変動の距離による減衰は殆ど変わらないことが分かった。今後は、海近傍での鉛直流の影響を考慮することと、現場での流量の評価が課題である。

【参考文献】1) J. Bear: Hydraulics of Groundwater, McGraw-Hill, Ch. 9. 2) 土木学会: 水理公式集, p. 384

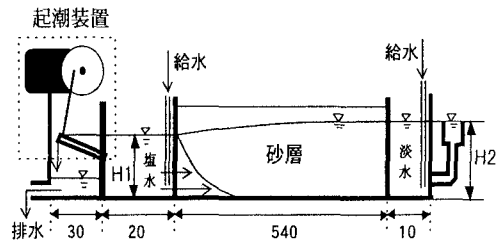


図-4 実験装置の概略 (単位: cm)

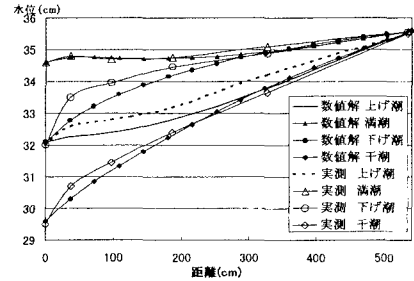


図-5 自由地下水面

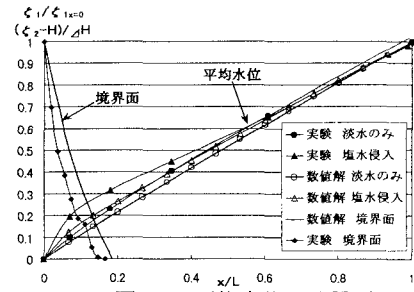


図-6 平均水位と境界面

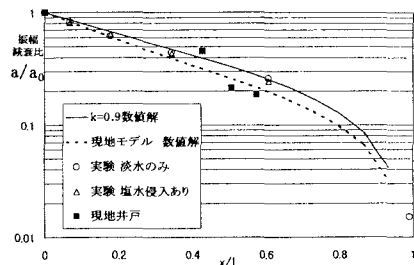


図-7 振幅減衰比較