

傾斜海浜近傍における地下水の挙動に関する研究

長崎大学工学部 学生員○守崎 裕, 正会員 古本勝弘, 一ノ瀬和雄

1. はじめに

海岸近傍の自由地下水は潮汐とともにその水位が振動している。直立する海岸線を始点とする一様な半無限砂層における自由地下水位の振動波形は均質流体とすれば解析的に解かれ、海岸からの距離によりその振幅を指数関数的に減衰させるとともに位相を直線的に遅らせることが知られ、透水係数や空隙率、砂層厚さ等の地盤定数を推定する手掛かりを与える。しかし、地下塩水楔が存在することと、緩やかに傾斜した砂浜海岸背後の自由地下水においては、干・満潮時の水際線の位置が移動するため、ある位置で観測される地下水位の変動波形は潮位波形に比べて歪むことが考えられる。本報告は、このような海浜に近接する井戸の水位観測を実施し、その数値シミュレーションを行って、塩水楔と傾斜海浜が地下水位の振動波形に与える影響を検討したものである。

2. 地下水位調査の概要

地下水位調査は、野母半島の橘湾側に位置する川原大池砂嘴部に設けられた3本のボーリング井戸で実施した(図-1)。川原大池は砂嘴の成長で入り江が閉塞してできた海跡湖で、最大水深9m、水面積0.127km²の淡水湖である。湖水は末端の水門(敷高TP.1.47m)から越流放流されて、ほぼ一定の水位で管理されている。観測に使用された井戸の掘削深は井戸1が30m、井戸2、3は10mであり、海の水際線からの距離は、それぞれ107, 127, 144mである。井戸3は湖の水際線から5mしか離れていない。

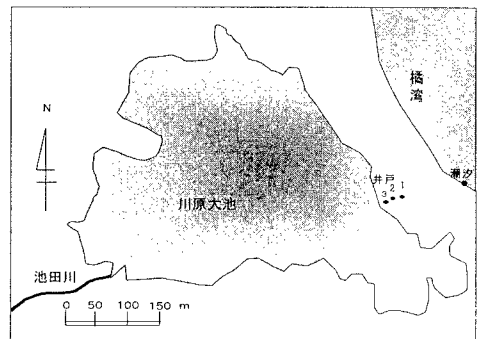


図-1 川原大池概略

3. 地下水位の観測結果と考察

観測は海および3本の井戸の水位を圧力式水位計で同時に10分間隔で自記記録させた。得られた水位変化を標高換算して、観測の一部を図-2に示した。このときの潮水位はTP.1.62であった。図-2より、海からの距離が大きくなるに伴い、変動振幅が小さくなるとともに平均水位が高くなることが分かる。したがって、湖底からの浸透水が地下水となり海に向かって流れているものと理解できる。しかし、水位変動のない湖の水際に近接する井戸3の水位が潮汐に連動して変動していることと潮水位とは平均水位で0.55m以上の差があることから、湖底に堆積した透水係数の非常に小さい底泥層を介して浸透流出していることが想像できる。

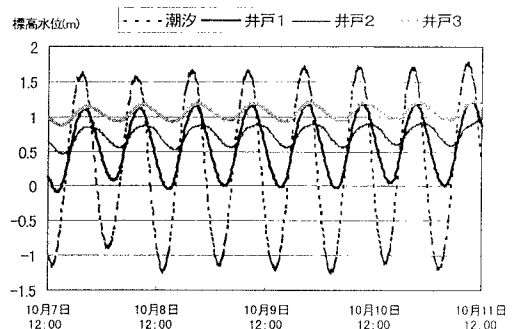


図-2 潮位・地下水位の経時変化

また、潮汐と井戸1の水位について、最高水位の出現時間で平均して45.8分、最低水位で68.8分の遅れがある。井戸2、3についても下げ潮時間が上げ潮時間よりかなり長い。この原因として、海岸が図-3のような緩い勾配の海浜であるため、満・干潮時における海岸線から井戸までの距離にかなりの差がでることによると考えられる。

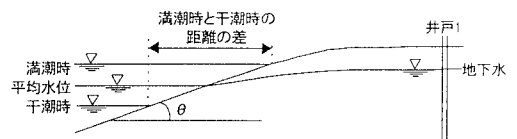


図-3 満潮時・干潮時の距離の差

4. 数値解析

現地の地下構造を図-4のように模式化する。水平基盤上の海岸近傍地下水の基礎式は1次元としてDupuitの仮定および淡水塩水は混合しないとすると、次式で表される。

$$n_1 \frac{\partial h_s}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{kh_s}{1+\varepsilon} \left(\frac{\partial h_s}{\partial x} + \varepsilon \frac{\partial h_f}{\partial x} \right) \right]$$

$$n_2 \frac{\partial h_f}{\partial t} - n_1 \frac{\partial h_s}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[k(h_f - h_s) \frac{\partial h_f}{\partial x} \right]$$

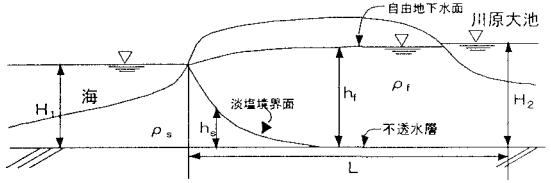


図-4 海-川原大池断面図

h_f , h_s : 不透層から自由水面および淡水境界面までの高さ、 k : 透水係数、 n_1 , n_2 : 境界面近傍および自由水面近傍の有効空隙率、 $\varepsilon = (\rho_s - \rho_f) / \rho_f$, ρ_f , ρ_s : 淡水および塩水の密度である。

数値解析に用いた境界条件は、潮位に応じて移動する水際線の位置において、 $h_f = H_1 + A \sin \sigma t$ および $h_s = h_f -$ (淡水流出厚さ) とした。 H_1 は平均潮位の基盤からの高さである。淡水流出厚さは、嶋・玉井が鉛直流の影響を考慮して定常流に対して求めた $(q / \sqrt{2} \varepsilon k)$ を準用し、淡水流出量 q には非定常に変化する流量 $[-k(h_f - h_s) \partial h_f / \partial x]$ で与えた。また、陸側境界は $x = L$ において一定水位 $h_f = H_2$ とした。 L は湖岸に置くことはできず、湖岸までの距離より大きな適当な距離をとる。初期条件には、 $x = 0$, L においてそれぞれ H_1 , H_2 とした定常流の自由水面形状と境界面形状を与えるが、同じ潮時に同一境界面形状になるまで数十サイクルの潮汐計算を行うので、初期形状は適当でよい。また、ここでは湖底からの鉛直浸透流は考慮せず、 $x = L$ における水平流のみとした。数値計算は単純な陽の差分法を用いた。

5. 数値解と実測値の比較

数値計算は実測潮位変化に近似する正弦関数を海の境界に与え、井戸1,3の水位変化をシミュレートするとともに、各種物理定数が井戸水位の応答に与える影響を検討した。図-5は、 $H_1 = 35(\text{m})$, $H_2 = 35.9(\text{m})$, $n_1 = 0.3$, $n_2 = 0.2$, $\theta = 7.7^\circ$, $\varepsilon = 0.025$, $L = 160(\text{m})$, $A = 1.4(\text{m})$, $k = 0.55 - 0.54 x / L (\text{m/min})$ を用いた比較グラフである。

計算の実測値との比較では、井戸1の平均水位に差があるものの、振幅の減衰と位相の遅れはほぼ説明できている。現地の海岸地下水の挙動は多くの物理量が関係するため、計算との対比でそれらを同定することは難しいが、このような計算から関係諸量の井戸水位に与える影響では次のようなことが分かった。

①海岸の傾斜角が緩やかになるに伴い振幅の減衰が大きくなり、位相は波の谷部で遅れが大きくなる。②透水係数 k が大きくなると振幅の減衰・位相遅れともに小さくなる。③ L を大きくすると振幅の減衰は小さくなるが、位相遅れは不変である。④不透水層までの深さを大きくすると振幅の減衰・位相遅れともに小さくなる。⑤塩水楔を計算に入れると、均一流体のみとする計算の平均水位より高くなる。

6. まとめ

今回、主に k , L を変化させ解析を行うことにより、実測に近い結果を得ようとした。しかし実測値と数値解を比べると誤差がある。これは現地の透水係数の複雑さ、淡水流出量の変化が原因と考えられる。これらのことを考慮し、より実測値に近い解析を行うことを今後の課題としたい。

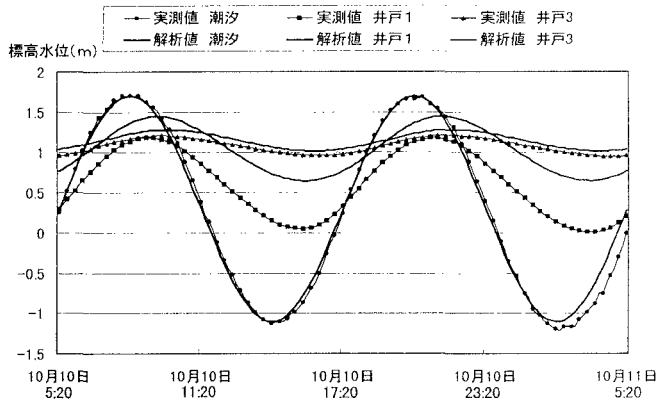


図-5 実測値と数値解の比較