

潮汐荷重を受ける被圧地下水の観測

長崎大学工学部 正員 古本 勝弘
 “ 正員 武政 剛弘
 “ 正員 薦田 広章
 “ 一瀬 和雄

1. まえがき

地下水の過剰揚水は地盤沈下、水源の枯渇、海岸地帯での地下水の塩水化等を惹起し、社会問題となることがある。こうした被害を未然に防ぎ、かつ地下水を有効に利用するためには地下水の賦存状態を的確に捕らえ、帯水層の各種物理定数を正確に知っておくことが必要である。本報告は海岸地帯の被圧地下水の観測結果を述べたものである。被圧地下水層が海面下にまで延びている場合、潮汐はその層に対して変動する上載荷重として作用し、内陸の被圧水の水頭も潮位変動に伴って振動する。この振動する水頭を計測することによって、どのような被圧層の物理量を知り得るかを想定モデルの理論解を参考に考察した。

2. 観測

観測は愛媛県西条市北部の干拓地で昭和57年10月25日から27日にかけて実施した。西条市は石鎚山の北斜面を流れ下る加茂川および室川によって形成された低平な海岸平野に拓けた都市で、一帯には豊富な被圧地下水が自噴する。

観測を行った干拓地には、その造成当時、除塩と灌漑を目的に多数の掘抜井戸が設けられている。観測にはこれらの自噴井のうち図-1に示す7本を使った。これらの井戸は直径1又は2インチの鋼管を被圧層まで(井戸の深さは全て19m)打ち込んだ簡単なもので、被圧水は干潮附近の短時間を除けば井戸頂部より常時湧出する。この被圧水を別に立てた直径4インチの塩ビ管に導びき、この水位をフロート式水位計で記録した。潮位は図-1のNo.0の地点で計測している。

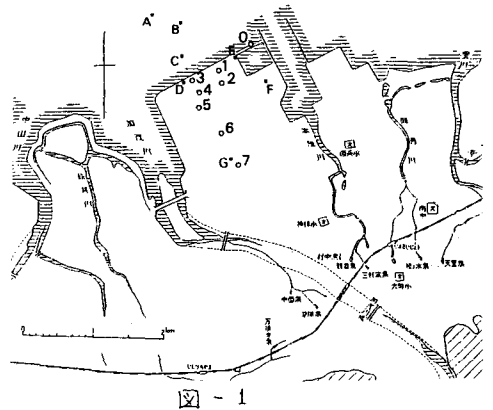
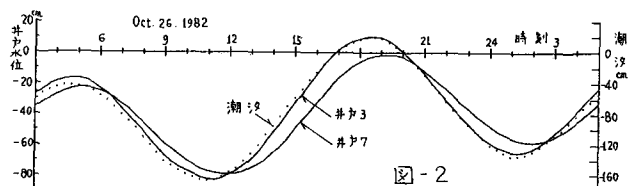


表-1

井戸No.	潮汐	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7
堤防の距離		100m	290m	60m	290m	460m	857m	1440m
平均水位	-79.4cm	-37.5	-35.9	-38.5	-38.8	-42.7	-38.3	-40.9
1日頃	振幅	39.5cm	19.0	17.9	18.3	18.7	17.5	17.5
	位相角	-149.3°	-158.1	-156.7	-156.0	-157.5	-165.9	-174.5
1/2日頃	振幅	65.5cm	33.7	32.3	33.9	32.0	31.9	28.7
	位相角	30.4°	25.8	23.3	28.0	23.7	19.2	15.5
1/3日頃	振幅	5.0cm	2.2	0.9	2.0	1.8	1.3	1.5
	位相角	30.2°	35.7	24.6	42.0	44.7	44.3	21.3
1/4日頃	振幅	1.0cm	0.8	0.9	1.0	0.5	1.0	0.8
	位相角	77.4°	35.5	83.0	28.3	25.6	24.6	0.9

図が錯綜しないように2本の井戸水位と潮位の記録の一部を図-2に示した。潮位および井戸水位は測量により零点調整(標高とは無関係)がなされている。この図から内陸の井戸ほど水位変化の振幅が小さいこと、水位変化に時間遅れがあること、堤防に近い井戸の水位振幅は潮位振幅の1/2程度であること等がわかる。これらの事柄を数量的に明確にするために、26日3時00分からの1太陽日について、潮汐と各井戸の水位変化を調和分解し、表-1に示した。表に示したものの以上の高周波成分も勿論、存在するが、その寄与が非常に小さいので省略した。各項の振幅値からわかるように、1及び1/2日頃以下の成分は水位計測



誤差(±1.5cm程度)を考慮すると、意味に乏しい。

3. 設定モデル

図-1のA~G地質のボーリング柱状図を図-3に示している。20m以深の砂礫層が被圧帯水層であり、この層は緩く海に向って傾斜し海面下かなりの距離まで存在することからわかる。このことから図-4のような地下構造を想定した。層は水平、一定厚さを持ち、流動の方向は堤防線に垂直であると仮定する。このような帯水層の構造に対して弾性透水路の理論は基礎式として次式を与える。²⁾ 被圧帯水層に加わる変動荷重を水頭で表わしたものをPとして、水頭の変動量を領域別に $\zeta_1(x \leq 0)$, $\zeta_2(x > 0)$ として

$$-a \leq x \leq 0 \quad \frac{\partial \zeta_1}{\partial t} = K^2 \frac{\partial^2 \zeta_1}{\partial x^2} + \theta \frac{\partial P}{\partial t}, \quad \dots (1) \quad 0 < x < \infty \quad \frac{\partial \zeta_2}{\partial t} = K^2 \frac{\partial^2 \zeta_2}{\partial x^2} \quad \dots (2)$$

ここで、 $\theta = \alpha / (\alpha + \lambda \beta)$, $K^2 = k / \rho g (\alpha + \lambda \beta)$, $\lambda = \alpha \cdot k$; 被圧層の空隙率, 垂直圧縮率, 透水係数, ρ, β ; 水の密度, 圧縮率である。

上式を解くに、 $x = -a$ で被圧層は海に開口しているとして、Pおよび境界条件を次のようにおく。³⁾ $P = P_0 \cos \sigma t$, $\zeta_1|_{x=-a} = P_0 \cos \sigma t$, $\zeta_2|_{x=\infty} = 0$,

$$\zeta_1|_{x=0} = \zeta_2|_{x=0}, \quad \frac{\partial \zeta_1}{\partial x}|_{x=0} = \frac{\partial \zeta_2}{\partial x}|_{x=0}$$

この解は長くなるので ζ_2 のみについて示す。一般に $\alpha \gg \beta$ であるのでここでは $\theta = 1$ と置いて、

$$\zeta_2 = P_0 H e^{-mx} \cos(\sigma t - mx + \delta) \quad \dots (3) \quad \text{ここで、} \quad H = e^{-\phi} (\cosh^2 \phi - \sinh^2 \phi)^{1/2} \\ \delta = \tan^{-1} \left\{ -\frac{1}{2} \sin 2\phi / (e^{\phi} \sinh \phi + \cosh \phi) \right\}$$

$$m = \sqrt{\sigma^2 / 2K^2}, \quad \phi = 2am$$

H, δ を ϕ をパラメーターに図化すれば図-5のようである。この解を基にすると、 x の異なる井戸で水位振幅の減衰あるいは位相のずれを計測すると m を求めよることができる。また、 $x=0$ における振幅減衰比H又は位相角 δ を求めると ϕ を逆算することができて、従って a (海側の被圧層の長さ)を求め得る。この方法で観測値を整理する。ただし、1日潮及び1/2日潮のみを対象とする。

表-1から潮汐振幅に対する井戸振幅の比と潮汐に対する井戸の位相角を求め、 x に対してプロットして図-6に示している。これらの値の並びの、振幅比は片対数勾配を、位相角についてはその勾配を求め m とした。H, δ については上記グラフの切片値である。一連の求め得る値を表-2に示す。

振幅減衰から求めた m と位相から求めるものとはかなり異なる。周期の短い1/2日潮が1日潮よりも振幅減衰勾配 m が大きいことは予想されたことであるが、位相角については逆となっており理由がわからない。被圧水の水頭変化現象が線形微分方程式(1),(2)に支配されるならば、入力である潮汐に色々異なる周期の波が重なり合っている場合、井戸水位の変動波には、夫々の成分波に対応した反応波が含まれてくると考えた。

振幅の減衰に関しては予想した傾向に近いが、位相については説明がつかない。設定モデルに問題があるか、観測の誤差が大きかった故かは検討を要すようである。

参考文献

- 1) 通産省: 愛媛県道前地区地下利権調査報告書, 昭和44.3
- 2) 石原, 本間: 応用水理学 中II
- 3) 石本武政他: 第26回水論集(P583) 昭和57.2

表-2

	$m \text{ (km}^{-1}\text{)}$		H	$\delta(^{\circ})$	ϕ		$a \text{ (km)}$		$K^2 \text{ (cm}^2\text{/s)}$		$k \text{ (=K}^2 \cdot d \cdot \rho g) \text{ (cm/s)}$	
	振幅減衰	位相角			Hと δ	ϕ と δ	Hと δ	ϕ と δ	振幅減衰	位相角	$d \text{ (cm)}$	$\rho \text{ (g/cm}^3\text{)}$
1日潮	0.066	0.28	0.471	4.0	1.4	1.15	10.6	2.1	7.78×10^3	0.632×10^3	3.1	0.17
1/2日潮	0.16	0.22	0.518	2.5	—	1.28	—	2.9	2.61×10^3	1.40×10^3	1.9	0.16

