

II-79

潮汐荷重を受ける被圧地下水の観測 (II)

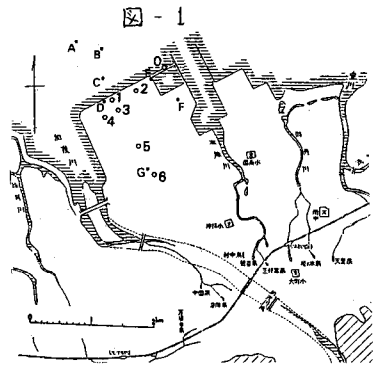
長崎大学工学部 正員 古本勝弘
同 正員 〇武政剛弘
同 正員 薦田広章
同 一瀬和雄

1. まえがき

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ることが地下水の有効利用および過剰揚水による種々の被害防止のために欠かせない。被圧地下水層が海面下まで延びている場合、潮汐の干満はその層に対して変動する上載荷重として作用し、内陸部の被圧水の水頭をも変動させる。潮汐に伴う水頭変動は被圧層の状態を反映させており、これを計測することによってかかる被圧層の物理量を知り得るかを想定モデルの理論解をもとに考察した。昭和57年10月の観測と前に報告¹⁾しているが、浮子を用いた水位観測で誤差が大きいため、明確な説明ができなかった。本報告は精度を向上させた再観測の結果とその考察を述べている。

2. 観測地

観測は西条市北部の干拓地(図-1)で昭和58年10月20~22日にかけて実施した。図-1中のA~G地奥のボーリング柱状図を図-2に示しているが、20m以上の砂礫層が被圧層となっており、一帯には潮汐とともに水頭が変動する自噴被圧水が存在する。当該干拓地には除塩と灌漑の目的で多数の井戸(直径1又は21/4の鋼管を被圧層まで打ち込んだもの)が設けられている。観測はこれらのうち図-1に示す6本の井戸の水位を水面追尾式の水時計で記録し、潮位はNo.0地奥で同じく記録した。井戸水時計の感度は $\pm 1\text{mm}$ 以下であり、記録の読み取り精度、測量精度を考慮すると得られた水位に含まれる誤差は $\pm 4\text{mm}$ 程度である。



図が錯綜しないように潮位と3本の井戸水位の変動の様子を図-3に示す。内陸の井戸ほど振幅が小さくなること、時間的に遅れが出ている。これらの事柄を数量的に表現するために潮位と井戸水位の変化を1太陰日について調和分解して表-1に示した。ただし平均水位は任意にとった測量基準点を基にした値である。また位相角は正弦関数で表現した場合のものである。潮汐は日潮不等が殆どない時期であったため、半日周期波が卓越し、その他の周期波の寄与は非常に小さい。平均水位に関して潮位より井戸水位が12cm前後高い。また、井戸相互には僅かではあるが内陸の井戸ほど低い。このことは被圧水が海に流出する場合にあり得ないことである。更に、平均水位で低い海水が被圧層に恒常的に浸入することはないので被圧層の海側の先端は殆ど閉塞状態であると考えられる。

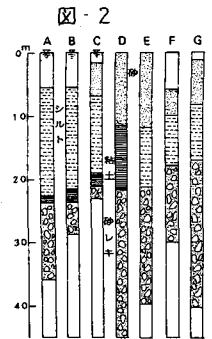
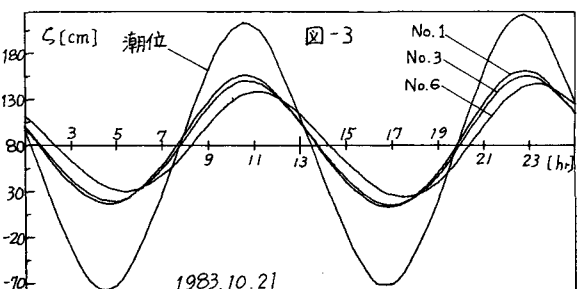


表-1

井戸 No.	堤防 の距離 m	平均 水位 cm	1日波		1/2日波		1/3日波		1/4日波	
			Q_1	δ_1	Q_2	δ_2	Q_3	δ_3	Q_4	δ_4
潮位		70.1	3.2	-271.6	142.9	236.9	2.9	-238.5	2.0	-273.8
No.1	60	83.8	1.7	-95.4	70.9	223.0	2.0	-232.4	3.5	-247.5
No.2	100	84.4	1.9	-115.9	70.2	221.0	2.1	-235.3	2.7	-276.8
No.3	290	82.4	2.0	-87.8	67.0	212.4	1.9	-231.3	3.4	-252.0
No.4	296	82.6	1.9	-95.2	66.2	210.2	2.0	-235.4	3.9	-242.0
No.5	857	80.9	3.2	-56.0	59.6	184.9	1.9	-234.5	3.1	-234.0
No.6	1440	83.1	3.2	-67.3	56.9	178.6	1.8	-226.1	3.3	-275.9



以下では卓越する半日周期波の特性を考察を進めるために潮位を $p = P_0 \sin \omega t$ で表して各井戸の半日周期波を次式で近似しておく。

$$\zeta = P_0 H e^{m_1 x} \sin(\omega t - m_2 x + \delta_0) \quad \dots (1)$$

表-1 の α_2, δ_2 (潮汐との位相角差を $1/2$ として) をプロットした図-4 から、

$m_1 = 0.161 \text{ km}^{-1}, m_2 = 0.295 \text{ km}^{-1}, H = 0.493$ および $\delta_0 = -7.36^\circ$ を得る。

3. 設定モデル

ボーリング柱状図からわかるように被圧層は海面下にかかりの距離まで延びて

いる。その先端部は閉塞しており、被圧層の上部には粘土又はシルトの層が 10m 以上覆っているために上部層への水の漏洩も非常に少ないと考えられる。たゞ陸部には多数の井戸が存在して漏洩の役目を果しているとも考えられるので、海の部分で上載荷重の変化を受けて、陸部には漏洩が在る場合の解を考えた。しかし、この解と観測結果を比較すると

漏洩とは逆の被圧水の供給がなければならぬことが判明した。平均水頭の関係から上部層からの供給は有り得ないので、この層にはより下部の層からの供給が存在するにほなる。従って、図-5 のような地下構造を想定して、基礎式として次式⁽³⁾を用いた。 ζ は変動水頭で、海側・陸側で添字 1, 2 を付した。また、被圧層に加わる変動荷重を水頭で表したものを P 、 $\theta = \alpha / (\alpha + \lambda \beta)$ 、 $K^2 = k / \rho g (\alpha + \lambda \beta)$ 、 $b = k' / \{ \rho g (\alpha + \lambda \beta) D d' \}$ として、 $-a \leq x < 0$ で $\frac{\partial \zeta_1}{\partial t} = K^2 \frac{\partial^2 \zeta_1}{\partial x^2} + b \zeta_1 + \theta \frac{\partial P}{\partial t}$ 、 $0 \leq x \leq \ell$ で $\frac{\partial \zeta_2}{\partial t} = K^2 \frac{\partial^2 \zeta_2}{\partial x^2} + b \zeta_2 \quad \dots (2)$

こゝに、 $\lambda \cdot \alpha \cdot k \cdot D$ は夫々被圧層 A の空隙率・垂直圧縮率・透水係数・層厚さ、 $k' \cdot d'$ は半不透層 B の透水係数・層厚さ、 $\rho \cdot \beta$ は水の密度・圧縮率である。(2) 式を解く境界条件を $x = -a$ で $(\partial \zeta_1 / \partial x) = 0$ 、 $x = \ell$ で $\zeta_2 = 0$ 、 $x = 0$ で水頭と流速が連続であること、および $P = P_0 \sin \omega t$ として、次式を得る。

$$\zeta_1 = P_0 \theta \text{Im} \left[\frac{1 - (b/\theta) i}{1 + (b/\theta)^2} \left\{ 1 - \frac{1}{\coth M a + \tanh M \ell} \frac{\sinh M(a+x)}{\cosh M \ell} \right\} e^{i \omega t} \right], \quad \zeta_2 = P_0 \theta \text{Im} \left[\frac{1 - (b/\theta) i}{1 + (b/\theta)^2} \frac{1}{\coth M a + \tanh M \ell} \frac{\sinh M(\ell-x)}{\cosh M \ell} e^{i \omega t} \right] \quad \dots (3)$$

こゝに、 $\text{Im}[\quad]$ は虚数部を意味し、 $M = m_1 + i m_2 = \sqrt{\frac{\sigma}{2K^2}} \left\{ \sqrt{1 + (b/\theta)^2} - (b/\theta) \right\} + i \sqrt{1 + (b/\theta)^2 + (b/\theta)^2} \right\} \quad \dots (4)$

当地の場合、 $\ell = 5 \text{ km}$ 前後と考えられ、 x が小さい範囲では ζ_2 に含まれる x に関する項は次のように近似できる。

$$\sinh M(\ell-x) / \cosh M \ell = (e^{-Mx} - e^{-2M\ell} e^{Mx}) / (1 + e^{-M\ell}) \approx e^{-m_1 x} \cdot e^{-i m_2 x} / (1 + e^{-2M\ell})$$

従って、堤防に近い領域では、 x に関して振幅は指数法則 ($e^{-m_1 x}$) で減衰し、位相は直線的 ($-m_2 x$) に遅れが生ずることになる。

(3) 式をもとにして、実測 (図-4) から得た m_1, m_2 を (4) に用いて、 $(b/\theta) = 0.640$ 、 $\sqrt{\sigma/2K^2} = 0.218 \text{ km}^{-1}$ を得る。また一般に $\theta \approx 1$ ($\alpha \gg \beta$) とおけるので、これまでに求めた $(b/\theta), M$ と $\ell = 5 \text{ km}$ を仮定し、(3) 式に用いると、又地先の潮汐に対する振幅比および位相角 α をパラメータに計算できる。 $x = 0$ として計算したものを図-6 に示す。図-4 から求めた堤防地先の振幅比 H および位相角 δ_0 を使うと $a = 1.95 \text{ km}, 2.1 \text{ km}$ を得る。次に、 $\sigma = 2\pi/12.2 \text{ hr}$ として $K^2 = 1.505 \times 10^7 \text{ cm}^2/\text{s}$ 。被圧層の圧縮率 α が不明のため、 k もわからないが K^2 の大きさからして k は 1 cm/s のオーダーであろう。

おわりに、観測に便宜を計り戴いた港新地土地改良区に感謝の意を表します。

参考文献 1) 古本武政 他; 昭和 57 年度西部部研究発表会概要集 2) 通産省; 愛媛県道前地区地下水調査報告書 昭 54

3) 石原本間; 応用水理学 中 II

