

沖積地の地下水に関する研究

Ⅲ. 潮セキおよび河川水位変動の減衰による不圧帯水層定数の推定について

— 奈半利町地区 —

近 森 邦 英 ・ 近 藤 雅 春
(農学部 利水工学研究室)

Studies on the Groundwater in Alluvium

Ⅲ. The Estimation of the Unconfined Aquifer Constants from the Attenuations of the Tidal and the River-stage Fluctuations

— Nahari Town —

Kunihide CHIKAMCKI and Masaharu KONDO

Laboratory of Water-Utilization Engineering, Faculty of Agriculture

Abstract : Nahari Town faces to the Tosa Bay on the southern part, is bordered by the Nahari River on the western part, and is surrounded by low mountains on the eastern and the northern parts. The alluvial plain of the Nahari River has the unconfined aquifer, and the ground-water surface is changed by the tidal and the river-stage fluctuations. The aquifer constants are estimated by means of the attenuations of them. Namely, they are analysed by the harmonic analysis, and are recomposed with various transmissibilities kH to obtain the best estimates of them. The results obtained from the attenuations of the tidal and the river-stage fluctuations agreed with each other well.

The standard formula of the attenuation is as follows

$$\zeta = \zeta_0 \exp\left(-\sqrt{\frac{\lambda \sigma}{2kH}} \cdot x\right) \cos\left(\sigma t - \sqrt{\frac{\lambda \sigma}{2kH}} \cdot x\right).$$

まえがき

温帯湿潤気候下のわが国は比較的豊富な地下水を有し、一般に浅層地下水が簡単な手段で採水利用されてきた。近年、諸産業の発達・地域開発の進展ならびに人口の増大に伴い、農・工・水道用水など消費型の水需要が増大するとともに、比較的容易に良質かつ安価な水が得られるため地下水需要は急増している。しかし、地下帯水層の調査は十分に行なわれているとは言い難く、地域によっては過剰揚水による水質の悪化、水源の枯渇あるいは地盤沈下などの被害が生じているところがある。このような被害を未然に防ぐとともに、地下水を有効に利用するためには、前もって十分な地下帯水層の調査を行ない、その分布および存在形態を明らかにする必要がある。本研究は潮セキおよび河川水位の変動が不圧帯水層に伝バするのに伴い減衰する現象を利用して、帯水層特性を解明しようとしたものである。

1. 地区の概要

本地区は奈半利川下流左岸に展開する面積約 2.2 km² の沖積地帯である。地区の最上流部でも河口から約 2.4 km 程度であるが、急流河川であるため河口近くまで 20~30 cm の玉石混り砂れき河床を形成している。地区内本村におけるボーリング地質柱状図（掘削最大深度（30m）によれ

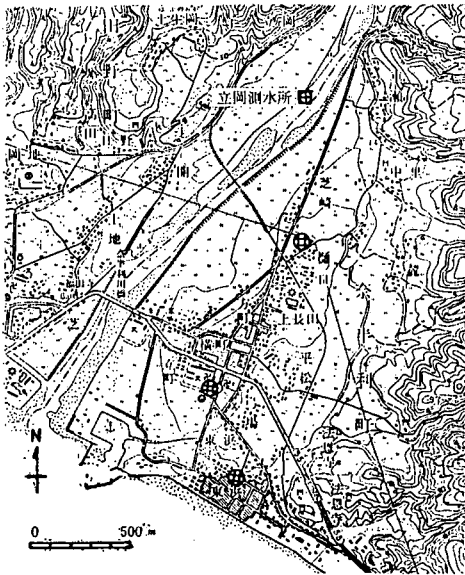


Fig. 1 Map of Nahari T.

ば、多少のきょう雑物はあるが地下 30 m まで玉石混りの砂れき層が続いている。地区の大部分はこのような砂れき層の上を砂壤土が覆った状態で、表層の一部を除いて透水係数は非常に大きく、cm/sec の order であると推定される。

以上のことから推定されるように、本地区の地下水供給源は主として奈半利川であり、他に平野部東部が後背山地約 4.2 km² から地下水の供給を受けている。また、潮セキは内陸深くまで地下水位振動としてその影響をおよぼしている。

奈半利川は河口より上流約 42 km の地点に有効貯水量 7,250万m³ の魚梁瀬ダムを有し、平水流量以下のおける調査地点付近の流量はダムの放流量に完全に支配されていると言って過言ではない。Fig. 8 に立岡測水所の自記記録の一部を示す。図に見られるように時間的な流量変動は非常に激しく、通常自然河川で見られるような低減曲線は見られない。このような流量変動ひいては水位変動は、潮セキの内陸地下水面への伝パと同様な現象を生起する。したがって、樋之口地点のように、潮セキと河川水位変動の両者の影響が現われ複雑な振動をしているところもある。

2. 調査目的

地下水はその地域の地形・地質構造に左右され複雑な様相を呈する。したがって、地下水の実態をはあくして利水計画をたてるには、その地域の地質構造および帯水層性状の解明が必要である。本研究は奈半利川下流左岸地区を対象として、その帯水層性状を解明しようとしたものである。

Place: Honmura of Nahari T. (Small water-supply system resource)

Scale	Depth (m)	Thickness (m)	Geol. Note	Soil Type	Remarks
1	0.00	0.20	Top soil	Top soil	Cultivated soil
2	0.20	0.20	Loamy sandy gravel	Loamy sandy gravel	Gravel 210% 4m ² Loam 20%
3	0.40	0.20		Sandy gravel with cobble stone	Cobble stone $\phi 50 \sim 800\%$
4	0.60	0.20		Sandy gravel with cobble stone	
5	0.80	0.20		Sandy gravel with cobble stone	
6	1.00	0.20		Sandy gravel with cobble stone	WL. 7.00m
7	1.20	0.20		Sandy gravel with cobble stone	Some Cobble stone $\phi 50 \sim 300\%$
8	1.40	0.20		Sandy gravel with cobble stone	
9	1.60	0.20		Sandy gravel with cobble stone	
10	1.80	0.20		Sandy gravel with cobble stone	
11	2.00	0.20		Sandy gravel with cobble stone	
12	2.20	0.20		Sandy gravel with cobble stone	
13	2.40	0.20		Sandy gravel with cobble stone	
14	2.60	0.20		Sandy gravel with cobble stone	
15	2.80	0.20		Sandy gravel with cobble stone	
16	3.00	0.20		Sandy gravel with cobble stone	
17	3.20	0.20		Sandy gravel with cobble stone	
18	3.40	0.20		Sandy gravel with cobble stone	
19	3.60	0.20		Sandy gravel with cobble stone	
20	3.80	0.20		Sandy gravel with cobble stone	
21	4.00	0.20		Sandy gravel with cobble stone	
22	4.20	0.20		Sandy gravel with cobble stone	
23	4.40	0.20		Sandy gravel with cobble stone	
24	4.60	0.20	Loamy sandy gravel	Loamy sandy gravel	Gravel 610~30%, Loam 10%
25	4.80	0.20		Sandy gravel with cobble stone	Some cobble stone $\phi 50 \sim 200\%$
26	5.00	0.20		Sandy gravel with cobble stone	Many cobblestone from 27m depth.
27	5.20	0.20		Sandy gravel with cobble stone	
28	5.40	0.20		Sandy gravel with cobble stone	
29	5.60	0.20		Sandy gravel with cobble stone	
30	5.80	0.20		Sandy gravel with cobble stone	Very hard

Fig. 2 Geological profile of Honmura

3. 調査方法

ボーリング資料および電気地下探査により地質調査を行なうとともに、潮位振動と奈半利川の水位変動の内陸地下水面への伝パの状態を調べた。すなわち、地下水位を地区内の東浜、立町および樋之口の観測井で、奈半利川の水位を立岡地点で記録した。

各観測井の位置は海岸線とほぼ直角方向に測線をとれば、東浜地点で海岸線から約 225 m、立町地点で同じく約 679 m、樋之口地点で同じく 1,360 m かつ奈半利川から直角方向に約 465 m である。

水位記録はリシャール式水位計を用いて測定した中で正確な記録のそろっている昭和45年10月および昭和46年3月～4月のものを使用した。これらの資料を用いて海岸線および河川と各井戸間の平均的な透水量係数 kH を自由地下水面振動の式から求めた。この方法の有効性はすでに著者らにより立証されている¹⁾。

4. 潮セキの調和解析

潮セキは太陽・月および地球の相互関係に地形の影響が加わって起り、これに気象の影響が加わって複雑な現象を呈する。

これは、調和解析によって数10個の正弦振動の線形結合の形で表わすことができる。そして、このように分解された各振動がそれぞれ独自に伝パし、内陸部地下水位は減衰した各振動の線形結合の形で現われると考えることができる。各分潮は一般に①式のように表わされる²⁾。

$$(\text{分潮の高さ}) = fH \cos(V_0 + u + \sigma t - K) \dots\dots\dots ①$$

- ここに H, K : 潮セキ常数で各港湾に固有の値
- $f, V_0 + u$: 天文関係の値
- σ : 分潮の速度
- t : 時刻

奈半利町の潮セキ常数は不明であるが、奈半利町の西北西約 45 km にある気象庁の桂浜検潮所の値がわかっているのでこれを使用した。計算には影響の小さいものは除いて17個の分潮を使用した³⁾。Table 1 に桂浜検潮所の潮セキ常数を示す。

Table 1 Tidol constants at Katsura-hama gage station

Constituent	H (cm)	K (°)	Constituent	H (cm)	K (°)
S_a	21.0	147.4	N_2	9.2	169.5
S_{sa}	3.1	80.7	ν_2	1.6	235.7
M_{sJ}	1.6	30.6	M_2	49.2	174.7
Q_1	3.6	158.5	L_2	1.1	179.4
O_1	15.6	167.8	T_2	1.5	178.8
M_1	2.8	178.8	S_2	21.8	199.4
P_1	6.9	186.5	K_2	5.8	197.2
K_1	21.6	190.5	M_3	0.6	355.6
μ_2	1.4	221.6			

計算に使用した諸数値と紀元時の諸値を以下に示す。

奈半利町の位置：東経 $\lambda = 134^{\circ}01'14''.4$

北緯 $33^{\circ}25'$

標準子午線の東経： $\lambda_0 = 135^{\circ}00'$

紀元時：昭和46年3月21日0時（中央標準時）=1971年3月20日15時（グリニチ時）

奈半利町における紀元時の平均太陽時角

$$T = \lambda - \lambda_0 + 180^{\circ} = 179^{\circ}01'$$

Table 2 Values at the beginnings

Item	s	p	h	p_1	N
At the beginning of 1971	327°.35	343°.31	280°.00	282°.44	325°.95
" March	57°.41	6°.57	58°.15	0°.00	-3°.12
" 20th day	250°.35	2°.12	18°.73	0°.00	-1°.01
" 15 O'clock	8°.24	0°.07	0°.62	0°.00	-0°.03
Total	283°.35	352°.07	357°.50	282°.44	321°.79

$$\xi = -6^{\circ}.19, \quad \nu = -6^{\circ}.86$$

$$\nu' = -4^{\circ}.88, \quad 2\nu'' = -10^{\circ}.27$$

上記の各記号は $V_0 + u$ を計算する場合の天文関係の諸定数を表わす。以上の諸数値より各分潮を表わす式を Table 3 のように求めることができる。

Table 3 Formula for each tidal constituent

Constituent	Formula (cm, hr)
S_a	21.0 cos (210°.10 + 0°.0410686 t)
S_{sa}	3.1 cos (274°.30 + 0°.0821373 t)
M_{sT}	1.55 cos (-180°.24 + 1°.0158958 t)
Q_1	4.14 cos (-35°.48 + 13°.3986609 t)
O_1	17.96 cos (-113°.50 + 13°.9430356 t)
M_1	5.94 cos (-15°.80 + 14°.4966939 t)
P_1	6.9 cos (-274°.98 + 14°.9589314 t)
K_1	23.61 cos (-99°.10 + 15°.0410686 t)
μ_2	1.36 cos (74°.38 + 27°.9682084 t)
ν_2	1.55 cos (-8°.44 + 28°.5125831 t)
M_2	47.8 cos (-27°.02 + 28°.9841042 t)
L_2	0.80 cos (81°.49 + 29°.5284789 t)
T_2	1.5 cos (104°.18 + 29°.9589333 t)
S_2	21.8 cos (158°.64 + 30°.0000000 t)
K_2	7.24 cos (-193°.89 + 30°.0821373 t)
N_2	8.93 cos (46°.90 + 28°.4397295 t)
M_3	0.57 cos (-314°.08 + 43°.4761563 t)

* Katsura-hama tide gage station

t=0 : 1971. 3. 21. am. 0

以上のような方法で、まず最初に桂浜検潮所での潮位を計算し、潮位表とよく一致することを確認した。次に奈半利町での潮位は経度を奈半利町のそれに置き換えることにより得られた。ただし、

両地点では潮セキ常数は変らないものとした。奈半利町での潮時は桂浜の値より約2分早くなっている。また、実際の潮セキは気象潮の影響が含まれているので、ここで求めた値とは必ずしも一致しない。

5. モデルによる解析

海岸付近の自由地下水面の振動は以下のように解析することができる。すなわち、Fig. 3 に示すようなモデルを考え、平均水面を中心として ζ_0 の振幅をもって正弦振動する外水面を考える。ただし、このモデルは2次元モデルであり、透水係数 k は x, z 方向とも等しくかつ一定、 $H_0 = \text{const.}$ とする。また、塩水クサビすなわち比重の異なる2層の存在による影響も無視する。

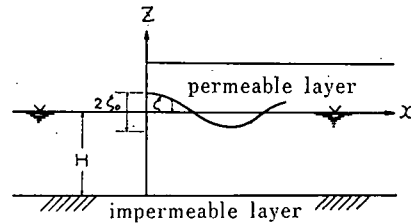


Fig. 3 Groundwater model along coast line

海岸付近の地下水面は潮セキのため振動しその波が減衰しつつ次第に内陸部へ伝へて行く。 $x < 0$ の部分の水域が②式で表わされる振動をしているものとする。

$$h_0 = H_0 + \zeta_0 \sin \sigma t \quad \text{..... ②}$$

σ : 波速

このような境界条件のもとで、地下水面における水粒子の運動方程式および連続方程式を連立させて解けば、地下水面振動に関する周知の③式が得られる^{4,5,6)}。

$$\zeta = \zeta_0 \exp(-m_2 x) \sin(\sigma t - m_1 x) \quad \text{..... ③}$$

$$m_1 = \sqrt{\frac{\sigma^2}{2gH} + \frac{\sigma}{2} \sqrt{\frac{\sigma^2}{g^2 H^2} + \frac{\lambda^2}{(kH)^2}}$$

$$m_2 = \sqrt{-\frac{\sigma^2}{2gH} + \frac{\sigma}{2} \sqrt{\frac{\sigma^2}{g^2 H^2} + \frac{\lambda^2}{(kH)^2}}$$

これは $\exp(-m_2 x)$ を減衰率として x の正方向に進行する波である。

潮セキは②式で表わされる各分潮の和として表現できる。したがって、内陸地下水面の振動も独自に伝へる各分潮の和として表わされるから、③式における未知量（この場合 kH だけを未知量とすることができる）をパラメータとして、計算振幅と実測振幅の差を最小2乗法的に処理することにより、最適な kH を決定できる。

③式を基本式として、各区間に適合するように変形したものを以下に示す。

(1) 海岸線～東浜および海岸線～立町に適用した式

潮位振動および河川水位の変動はともに周期が長いので、③式において g を含む項は他項に比べ非常に小さな値となるため省略できる。したがって、 m_1, m_2 は次のようになる。

$$m_1 = m_2 = \sqrt{\frac{\lambda \sigma}{2kH}} \quad \text{..... ④}$$

ゆえに③式は簡単になり次式で表わされる。

$$\zeta = \zeta_0 \exp\left(-\sqrt{\frac{\lambda \sigma}{2kH}} \cdot x\right) \cos\left(\sigma t - \sqrt{\frac{\lambda \sigma}{2kH}} \cdot x\right) \quad \text{..... ⑤}$$

(2) 奈半利川～樋之口に適用した式

奈半利川の水位変動は Fig. 8 のようになる。立上り点から次の立上り点までを1周期の波として、これをフーリエ級数で表わす。

$$f(t) = \sum_{m=1}^{n-1} a_m \sin mt + b_0 + \sum_{m=1}^n b_m \cos mt \quad \dots\dots\dots ⑥$$

$$a_m = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{2n} Z_t \sin \frac{mt\pi}{n}, \quad (m=1, 2, \dots, n-1)$$

$$b_m = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{2n} Z_t \cos \frac{mt\pi}{n}, \quad (m=1, 2, \dots, n-1)$$

$$b_0 = \frac{1}{2n} \sum_{t=1}^{2n} Z_t$$

$$b_n = \frac{1}{2n} \sum_{t=1}^{2n} (-1)^t Z_t$$

$f(t)$: ハイドログラフの1周期を表わす。

伝バ後は、減衰率 $\exp(-\sqrt{\lambda\sigma/2kH} \cdot x)$ および位相おくれを考慮すれば、振幅 ζ は次式のように表わされる。

$$\begin{aligned} \zeta = & \sum_{m=1}^{n-1} a_m \exp\left(-\sqrt{\frac{\lambda m}{2kH}} \cdot x\right) \sin\left(mt - \sqrt{\frac{\lambda m}{2kH}} \cdot x\right) \\ & + b_0 + \sum_{m=1}^n b_m \exp\left(-\sqrt{\frac{\lambda m}{2kH}} \cdot x\right) \cos\left(mt - \sqrt{\frac{\lambda m}{2kH}} \cdot x\right) \quad \dots\dots\dots ⑦ \end{aligned}$$

⑦式において括弧内の m は波速のディメンジョンをもつものとする。

(3) 立町～樋之口に適用した式

Fig. 1 からわかるように立町と樋之口は海岸線に対してほぼ直角方向線上にある。したがって、立町に伝バした潮セキはさらに樋之口まで伝バしている。Fig. 8 の13日6時から18日0時までは河川水位はほとんど変わっていないから、図に現われている小振動は明らかに潮セキの影響と考えることができる。⑧式によって立町の地下水位振動が表わされるとすれば、これに減衰率および位相遅れを考慮した樋之口水位は⑨式のようになる。

$$\zeta_T = \zeta_0 \exp\left(-\sqrt{\frac{\lambda\sigma}{2(kH)_T}} \cdot x_T\right) \cos\left(\sigma t - \sqrt{\frac{\lambda\sigma}{2(kH)_T}} \cdot x_T\right) \quad \dots\dots\dots ⑧$$

ζ_T : 立町における地下水位
 $(kH)_T$: 海岸～立町の平均的透水量係数
 x_T : 海岸～立町の距離

$$\zeta_H = \zeta_T \exp\left(-\sqrt{\frac{\lambda\sigma}{2(kH)_H}} \cdot x_H\right) \cos\left(\sigma t - \sqrt{\frac{\lambda\sigma}{2(kH)_H}} \cdot x_H\right) \quad \dots\dots\dots ⑨$$

ζ_H : 樋之口における地下水位
 $(kH)_H$: 立町～樋之口の平均的透水量係数
 x_H : 立町～樋之口の距離

6. 結果および考察

東浜および立町の井戸では潮セキの影響が明確であり、樋之口の井戸に見られるような奈半利川の水位変動による影響は現われていない。したがって前者には⑤式を、後者には⑤式および⑦式を用いて試算法により透水量係数 kH を求めた。

計算の対象となった期間は昭和46年3月24日18時(紀元時から90時間目)から4月9日4時(紀元時から460時間目)までの370時間とした。このうち3月27日が大潮日、4月3日が小潮日である。

この期間の記録を見ると、井戸の水位記録 Fig. 4 の4月3日~4日付近に見られるように、各分潮の位相の組合せが影響して、減衰するとピークが消えるところがある。このような場合はその部分(ピーク)を除いて最小2乗法的に処理して kH を求め計算すると、Fig. 4 の計算値のようになりピークが消えている様子がわかる。

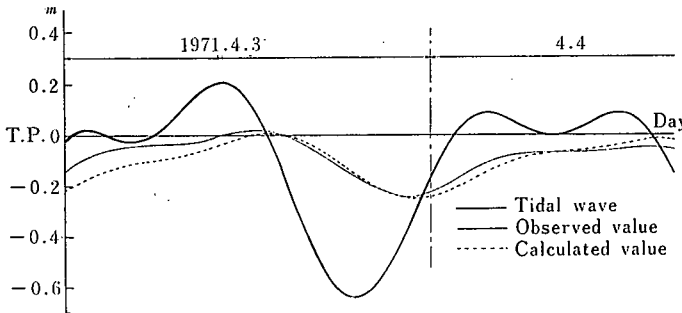


Fig. 4 Groundwater hydrographs at Higashiyama (Peaks vanish. $kH = 1500 \text{ m}^2/\text{h}$)

帯水層の厚さは電気地下探査の結果から、東浜付近では $H \approx 20 \text{ m}$ 、立町~樋之口の奈半利川沿いでは $H \approx 30 \text{ m}$ となった。本村地区でのボーリング資料 Fig. 2 によれば、30 m まで玉石混りの砂れき層が続いていることがわかる。

(1) 海岸線~東浜について

⑤式において ζ に井戸の水位変動の振幅を代入し、 $\lambda = 0.30$ とし、 kH を $1,000 \text{ m}^2/\text{hr}$ から $2,000 \text{ m}^2/\text{hr}$ まで、まず $200 \text{ m}^2/\text{hr}$ ごとに両辺の差の2乗の和を求めた。その際、 $\Sigma(\text{Error})^2$ の極値付近の kH の間隔をさらに細分して同様の計算を行った。この結果を Fig. 5 に示す。これから明らかのように kH と誤差の2乗の和の関係は放物線で表わすことができる。

この曲線式を最小2乗法で求め、極値の kH を算出する。これが求める最適透水量係数 $(kH)_{opt}$ であり、 $(kH)_{opt} \approx 1,500 \text{ m}^2/\text{hr}$ を得る。電気地下探査の結果、この付近の帯水層の厚さは約 20

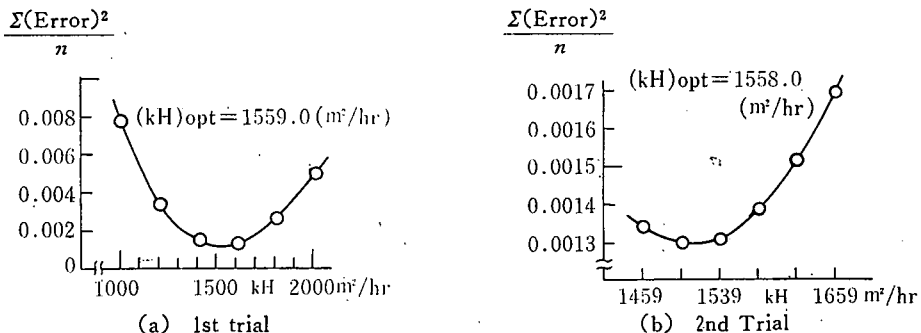


Fig. 5 Calculation of the $(kH)_{opt}$ between the coast line and Higashiyama

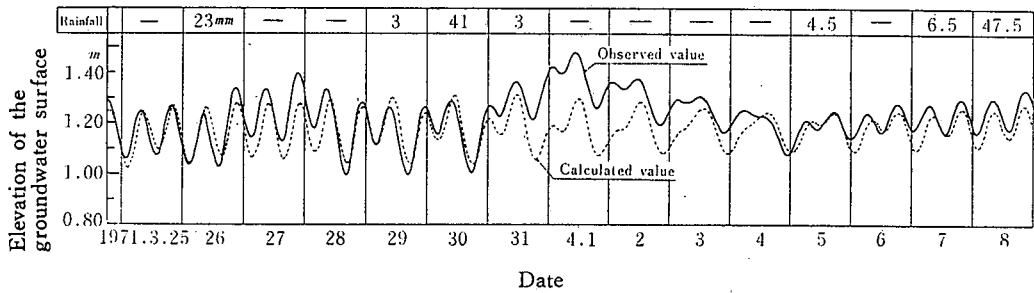


Fig. 6 Groundwater hydrographs of Higashihama

mであるから透水係数 $k = 2.08 \text{ cm/sec}$ である。 $kH = 1,500 \text{ m}^2/\text{hr}$ として井戸の水位振動を計算すると Fig. 6 のようになり降雨の影響を除けばよく一致している。

(2) 海岸線～立町について

Fig. 1 から推察されるように、この区間では潮セキは海岸線からではなく奈半利港内から伝パしているものと考えの方が妥当である。

ここでは奈半利港～立町を 489 m とし、 kH を $3,600 \text{ m}^2/\text{hr}$ から $4,600 \text{ m}^2/\text{hr}$ まで $200 \text{ m}^2/\text{hr}$ 間隔に分割し(1)と同様の計算を行なった。 kH の最良推定値は約 $4,100 \text{ m}^2/\text{hr}$ である。 $H = 30 \text{ m}$ であるから透水係数 $k = 3.80 \text{ cm/sec}$ となる。Fig. 7 は $kH = 4,100 \text{ m}^2/\text{hr}$ としたときの立町の地下水位の計算値と観測値である。

4月1日から3日頃までは降雨のため地下水面が上昇している。また、3日～4日の小変動部分は実測と計算の曲線形の相違が大きい。これは各分潮の位相が微妙に組合さって変動が微妙になっているため、無視した分潮の影響が大きく現われたものであろう。

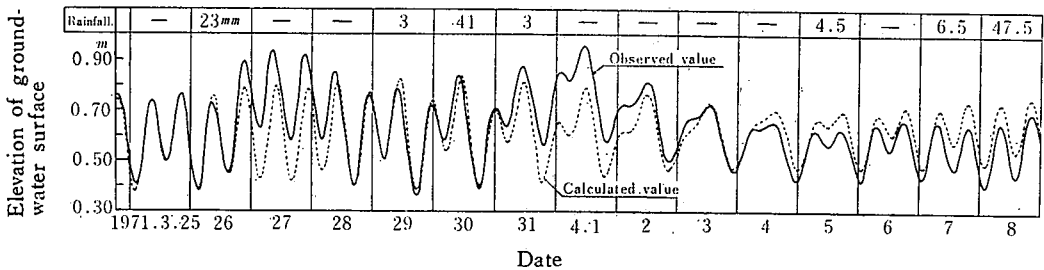


Fig. 7 Groundwater hydrographs of Tachimachi

東浜と立町間の距離約 690 m で kH が大きく変化している原因に、この付近は被圧地下水ではないだろうかということが考えられる。そこで被圧地下水振動の式⑩の減衰率⑪を用いて k を略算した。

$$\zeta = \zeta_0 \exp(-mx) \cos(\sigma t - mx) \dots\dots\dots ⑩$$

$$m = \sqrt{\frac{\sigma \kappa}{2k}}$$

$$\kappa = \alpha \rho g$$

α : 砂れき系の圧縮率

ρ : 砂の密度

g : 重力の加速度

$$\text{減衰率} : \frac{\zeta}{\zeta_0} = \exp\left(-\sqrt{\frac{\sigma\kappa}{2k}}\right) \dots\dots\dots \textcircled{11}$$

$\kappa : 10^{-4}$

σ : 分潮の速度であるが、ここでは仮に $29^{\circ}.03/\text{hr}$ を用いた。

奈半利港～立町では $k \approx 0.0374 \text{ cm/sec}$ 、また海岸～東浜では $k \approx 0.0146 \text{ cm/sec}$ となり、地質から推定される値に比べて非常に小さく、また、干満の遅れ時間の計算値も実測に合わない。したがって、被圧地下水と考えるのは適切でない。次に地質構造の変化が考えられる。このことは、樋之口から立町にかけては奈半利川の旧河床であったと言われていることから、また電気地下探査の結果、帯水層が旧河床地帯では東浜付近よりも約10m厚くなっており、地形を考慮に入れると地質の変化が考えられるということからも裏付けられる。

(3) 奈半利川～樋之口について (奈半利川水位の影響)

奈半利川の水位は上流魚梁瀬ダムの放流のため Fig. 8 のような変動をしている。

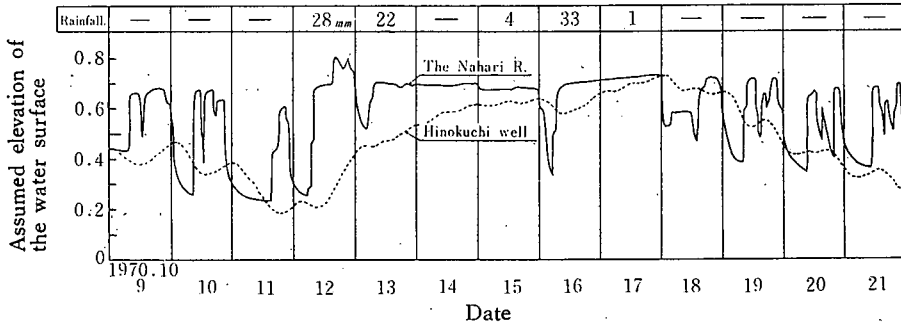


Fig. 8 The Hydrographs of the Nahari R. and the groundwater level of Hinokuchi

同図に併記した樋之口地点での地下水位振動は、ほとんど奈半利川の水位変動に支配されているが、奈半利川の水位が一定のときには潮セキの影響が約 1.5 cm の波高で現われているのがわかる。したがって、この地点では両者の影響を考慮する必要がある。前者には⑦式を後者には⑤式を適用すると両者の和が樋之口の地下水位振動を表す。この方法で各周期について kH を計算すると Table 4 のようになり、バラつきが大きい。これは 1 周期の波で 1 個の kH を求めたため降雨とかダムの長時間放流による影響などランダムな要因が影響したものと思われる。

なお、昭和46年 3 月～4 月の資料は不良箇所が多く、 kH はあまり信頼できないので昭和45年10

Table 4 kH between the Nahari R. and Hinokuchi

No.	Period	kH (m^2/hr)
1	1970. 10. 9. am. 8 ~ 1970. 10. 10. am. 8	6,486
2	" 8. " ~ " 11. pm. 2	3,313
3	" 11. pm. 1 ~ " 12. am. 5	2,739
4	" 18. pm. 2 ~ " 19. am. 8	4,167
5	" 20. am. 9 ~ " 21. am. 9	4,167
6	" 21. am. 9 ~ " 22. am. 9	4,236
7	1971. 3. 25. am. 12 ~ 1971. 3. 26. am. 12	2,740
8	" 28. pm. 5 ~ " 29. am. 12	2,850
9	" 4. 5. am. 9 ~ " 4. 6. am. 11	3,432
10	" 6. am. 8 ~ " 7. am. 16	3,482

月の資料についても計算した。この地区では $kH=3,400\sim 4,100\text{ m}^2/\text{hr}$ となった。

Fig. 9～Fig. 11 に各期間の奈半利川と樋之口地下水のハイドログラフ、および樋之口の計算地下水ハイドログラフを示す。

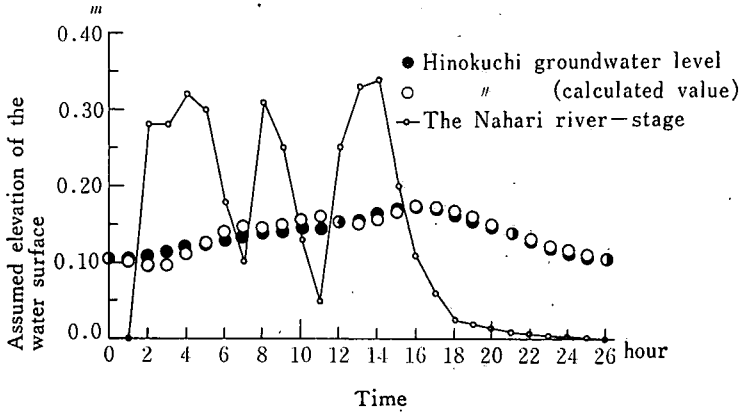


Fig. 9. The hydrographs of the Nahari R., the groundwater level of Hinokuchi and the calculated value of it. (1)

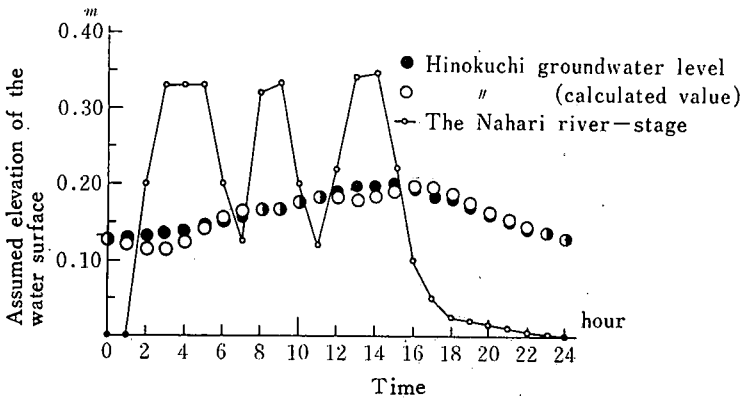


Fig. 10 The hydrographs of the Nahari R., the groundwater level of Hinokuchi and the calculated value of it (2)

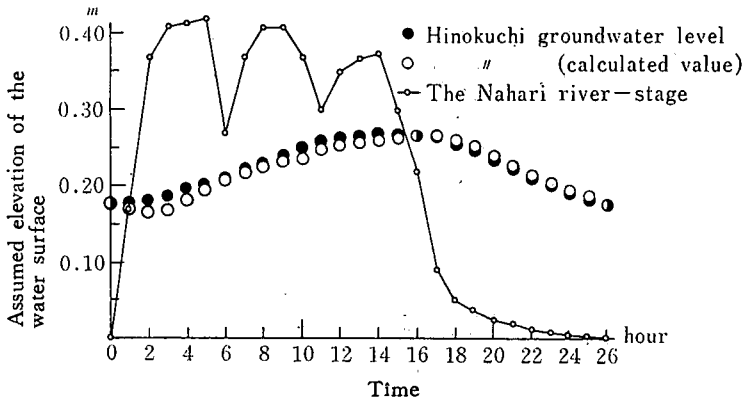


Fig. 11 The hydrographs of the Nahari R., the groundwater level of Hinokuchi and the calculated value of it (3)

(4) 立町～樋之口について

樋之口地点に現われた潮セキの影響を利用して⑦式および⑨式を用いて kH を計算した。⑦式を用いて計算すると Table 5 のように全体的に大きな値となった。

Table 5 kH between Tachimachi and Hinokuchi

No.	Period	kH (m ² /hr)
1	1970. 10. 14. am. 2 ~ 1970. 10. 14. pm. 2	6,026
2	" 14. pm. 2 ~ " 15. am. 2	5,871
3	" 15. am. 3 ~ " 15. pm. 3	4,506
4	" 16. pm. 6 ~ " 17. am. 6	6,479
5	" 17. am. 7 ~ " 17. pm. 7	5,538

これはちょうどダムが放流中であって、Fig. 8に見られるように井戸の水位が大きく弓形を描いて上昇しているため、潮セキの影響による振動の読取りに誤りがあったものと思われる。⑨式を用いて求めると $kH=3,800$ m²/hr となり、(3)で求めた値とほぼ一致し適当な値と言える。立町～樋之口～奈半利川を同一の帯水層特性を有する地域と考えると、 $kH=2,800$ m²/hr が適当であろう。そして、 $H=30$ m であるから $k=3.52$ cm/sec となる。

7. ま と め

以上の結果から、本地区は樋之口から立町にかけての奈半利川旧河床地帯と東浜付近の東部山寄り地帯とでは帯水層性状がかなり異なっていると推定される。旧河床地帯では $H=30$ m, $k=3.52\sim 3.80$ cm/sec であり、下流側がわずかに透水が良くなっている。山寄り地帯では $H=20$ m, $k=2.08$ cm/sec であった。なお、本地区の地下水が自由水面をもっていることはボーリング資料からも推定できる。

あ と が き

透水係数を求めるのによく用いられる方法に Hazen 式などの公式による方法、揚水試験などがあるが、これらは粒度分析・試験設備などかなりの手間が必要であるうえに局所的な値しか求まらない。ここで用いた地下水波の減衰を利用して帯水層定数を推定する方法は比較的簡便であり、広い範囲をかなりの精度で推定することができる。なお、奈半利地区のような粒度構成の粗な帯水層では Darcy 則の適用に問題があるが、実用面を主にして透水量係数の最良推定値の形で取扱い、透水係数は間接的に算出した。

本論文で行った計算は高知大学計算センターを利用した。最後に資料の収集に御協力頂いた奈半利町役場、計算プログラムの作成に助力を頂いた崎本善久君に心から感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 近森邦英・上森千秋・松田誠祐：海岸付近帯水層の透水量係数の推定について，農業土木学会論文集第42号，1972
- 2) 中野猿人：潮汐学，古今書院，1940

- 3) 近森邦英・上森千秋・松田誠祐：沖積地の地下水に関する研究（I）潮セキに伴う不圧地下水位変動について ——春野町甲殿地区——，高知大学学術研究報告第19巻，自然科学，第8号，1970
- 4) 本間 仁：高等水理学，産業図書，昭23
- 5) 応用水理学 I：本間・石原編，丸善 pp. 205~210, 1957
- 6) 富永正照・坂本忠彦・折敷秀雄：不圧海岸地下水の運動に関する研究，土木学会第24回年講講演集，pp. 311~314. 1969. 9.

（昭和47年 9月30日受理）