

## 水位観測結果に基づく本邦臨海部被圧面地下水の水理学的考察

小 鯛 桂 一\*

## On the Phreatic Levels in the Littoral Lowland of Japan

By

Keiichi KODAI

## Abstract

Researches concerning underground structures for exploiting newer industrial zones were Performed at 26 districts on a littoral lowland of Japan from 1960 to this day.

The artesian wells which were drilled down to the depths from 100 to 200 m, amounted to 45, and they were used for geological discrimination and hydrological estimation for the storage capacity of underground water by a pumping test. Since them for two years, all the standing levels of these wells have been observed with object for the piestic surface of the same aquifer as was experienced with a pumping test.

As the result of examination in regard to these standing well data, the fluctuation of levels for one year are divided into three tipes, that is, the periodic type of high in summer and low in winter, the periodic type of low in summer and high in winter, and the non-periodic type. Moreover, the fluctuations of standing levels for one day, one week and one month show special features according to the geologic factor which an individual wellowns.

The writer has found generally that the standing levels of a seaside district are influenced by the fluctuation of the pumping-up of water, tides and weather (air presssure and precipitation), especially in Chugoku, Shikoku and Kyushu the standing levels are gravely influenced by the larger amplitude of tides.

He considers that the extent of influence to which each factor affects to the fluctuation of water level varies according to the condition of underground structures, the permeability of an aquifer and the land-form of a bay or an inlet.

The writer has shown several methods, such as correlation of harmonic constants between a standing level of aquifers and a tidal movement, correlogram analysis (non-harmonic procedure) and forecast of the falling tendency of a standing level by means of statistics, considering as special features of the data of standing level, as locality varies.

## 要 旨

新たな臨海工業地造成のために、昭和 35 年から現在までに 26 地区で地下構造調査が行なわれている。この調査に付帯した 100~200 m の掘抜井戸が総計 45 井掘られ、地質の判別と揚水試験による地下水包蔵量の算定などに役立つが、その後 2 年間にわたって、揚水試験と

同じ被圧面地下水層を対象とする水位観測を行なっている。これらの井水位観測データを種々検索した結果、年間における水位変動は、1) 夏高冬低の周期性型、2) 夏低冬高の周期性型、3) 非周期性型の 3 種に大別され、その他、日・週・月間の変動についても各地点井戸によつて特徴をもっている。

臨海部井戸の水位変動は、おおむね潮汐・揚水・気象(気圧と降雨)の各変動に影響されていて、とくに中国

\* 応用地質部

・四国・九州地方では、大きい潮汐振巾のために、その影響も顕著であることが解つたが、これら水位変動におよぼす各因子の影響度は、地下構造形態・港湾形態・帯水層の透水性・水位観測地点から海岸までの距離などの条件によつて異なつてくるものと考えられる。

この報告は、各地区の水位観測データの特徴を考へながら、井水位と潮汐の調和常数值比較、井水位の非調和解析、井水位低下量の統計的解析などの方法によつて、平均水位低下量・帯水層構造・潮汐、夏季過剰揚水および気圧の各影響度などの解明を行なつた研究成果について記述している。

## 1. 緒言

従来、大工業地帯が四大都市を中心としているため年ごとに種々の障害が増大していた。これらを防止するために臨海工業地帯の造成が新産業都市を中心として進められ、工場の分散を計つてきた。これらの工業地帯には、臨海低地とくに河川デルタ地帯に立地されるものが多く、一般にきわめて厚い軟弱地層が発達しており、工業地帯の造成にあつてその地域の地下水変動状態とあひまつて、地盤沈下などの問題を引き起こさないようにするため、その深部の状況を把握することはきわめて重要なことである。

昭和35年から現在に至るまで調査中のものも含めて、26地域で臨海工業地帯の地下構造調査研究が行なわれ、それにとりなう深度100~200m級のボーリングが、一調査地区に1~3井掘さくされ、地質・地盤強度・揚水試験などの一環した各地区ごとの調査研究報告書がすでに発表されている(地下構造グループ、1960~1963)。このうち揚水試験では深部の新しい帯水層の開発をおもな目的としており、その後の2年間を水位観測する関係上、対象とする水位観測の帯水層は、揚水試験時と同じストレナー部の被圧面帯水層(おもに洪積層)である。この水位観測の記録データは、総計45地点の井戸があり、これらは地質調査所産業地質課に保管してある。この報告は、このうちからすでに水位観測を終了している18地区35地点井戸について検討している。また地質調査所水資源課においては150数地点にわたる全国的な水位観測データを収集している。

この報告書作成に当たり、協力して下さつた産業地質課員全員、水位観測作業にたずさわつた多数の地元関係者、ならびに種々直接御指導と御助言をいただいた応用地質部長、産業地質課長ならびに水資源課長各位に深く謝意を表す。

## 2. 解析方法

単に井水位の観測といつても、その変化に対する要因は数多くあり、これらは一般に複合しているためにその解析判断が困難な場合も生ずる。

水位変化は自由面地下水と被圧面地下水とではその性質を異にするが、この調査はおもに臨海平野部の被圧面地下水層を対象としている水位観測であるので、被圧面地下水水位に変化を与えるものと考えられる個々の要因を列記すると、1) 潮汐変化にとりなう直接的影響、2) 潮汐・気圧・地震作用による負荷変化の影響、3) 降水量変化に伴う間接的影響、4) 揚水・井戸構造の変化などの人工的影響などが挙げられるが、定性的にみて臨海平野部の被圧面地下水層は、潮汐・揚水・気象の変動に伴う影響がもつとも大きいことが知られており、その割合は各地区の不透水層準形態、弾性および基傾斜、漏水の有無、帯水層の厚さとその変化、帯水層の透水性、平均地下水水位の位置基傾斜などの差異によつて違つてくるし、臨海工業地帯地下構造調査の一環としての水位研究では、潮汐と気圧変動の自然的影響度を知り、これを除去した場合に、各地区の特色ある地質構造の下で各工場による総合された季節的揚水変動量が、どの程度の影響をおよぼしているかを定量的方法で知ることが、地下水資源保全ならびに地盤沈下対策などにつながる重要な問題となる。

海岸付近にある深井戸の短期水位変動は、その大半が潮汐の干満の影響を受けて昇降するが、潮汐の昇降は気象および海湾の形状によつて異なる。湾口の狭い外海に面したところは著しい昇降変動を示すし、その昇降は湾奥では大きく、湾口では小さいのが普通で、しかも不規則である。潮汐についての基本的性質は、大別して短周期分潮と長周期分潮の2つに区分でき、短周期主要分潮は  $M_2$  (12.42 h) と  $S_2$  (12.00 h) の半日分潮と  $K_1$  (23.93 h) と  $O_1$  (25.47 h) の日周期分潮であり、長周期主要分潮は、 $Mf$  (太陰半月周潮)、 $Ms$  (太陰月周潮)、 $Msf$  (日月合成半月周潮) および  $Sa$  (太陽年周潮) と  $Ssa$  (太陽半年周潮) である。 $Sa \cdot Ssa$  分潮は場所によつては、かなり大きく日々の平均水面の高さに変化を与えることがあり、また気象条件にも深い関係を有する。もちろん短周期潮および長周期潮の各分潮調和常数值とその遅角との関連性のもとに実際上の潮汐振巾が発生するために、一概に日周期潮の大きい地域が長周期潮も大きいとは限らなくて、各港湾特有の分布をしているが、総合された潮汐変動が水位に与える影響度は短周期潮と長周期潮でそれほど大きな差はないとみてよい。また利用上の問題として日周期主要分潮の他に、実



第1図 地下構造調査水位観測井の分布

第 1 表 地下構造調査水位観測井一覽表

地区名	地 点 名	井戸 深度 (m)	ストレー ナー位置 (m)	地 質	K (cm/sec)	水位日 間振巾 の有無	年 間 の 水 位 差 (cm/年)	観 測 期 間
富山・高岡	新湊市堀岡	200	106.6~118.5	礫	$2.1 \times 10^{-2}$	ナシ		S37-2-5~S39-2-4
新潟東港	新潟空港	120				ほとん ど不認		S40-3-5~S42-3-4
	新発田・新渡	195	126~136	シルト砂お よび円礫	$9.9 \times 10^{-3}$	〃		S40-5-3~S41-12-3
仙塩臨海	中野小学校	120	96~113	安山岩質凝 灰岩と凝灰 岩質細粒砂岩	$2.72 \times 10^{-4}$	ナシ		S38-4-26~S40-4-25
	東六郷小学校	150	115.3~131.8	凝灰岩質 細粒砂岩	$4.91 \times 10^{-5}$	アリ		S38-4-26~S40-4-25
鹿 島	奥野谷	300	257~272	シルト岩	不 能	ナシ	F(0.02)で 有意 -20	S38-4-23~S40-4-25
	光	100	30~40	砂 礫	$3.47 \times 10^{-5}$	〃		S38-4-23~S40-4-25
木更津	瓜倉	200	128.7~145.3	細砂と中粒 砂	$2.86 \times 10^{-4}$	アリ	(-25)	S38-5-3~S40-5-2
	鳥居崎	150	95~115	砂	$4.98 \times 10^{-2}$	〃	F(0.05)で 有意 -14.8	S38-4-5~S40-4-4
東駿河湾	明電舎	200	167~178	多孔質玄武岩	$2.53 \times 10^{-2}$	〃		S39-12-9~S41-12-8
	依田橋	90	86.5~90	火山灰質砂礫	$2.66 \times 10^{-3}$	〃		S40-4-5~S42-4-4
豊 橋	神野新田	200	136.4~152.9	砂 礫	$7.46 \times 10^{-2}$	ナシ	F(0.01)で 有意 -108	S37-4-17~S39-4-16
	東都製鋼所	120	92~99	砂 礫	$4.12 \times 10^{-3}$	アリ		S37-2-18~S39-2-17
伊勢湾北部	富田中学校	100	95.8~97.2	粘土および 砂礫		ナシ	F(0.01)で 有意 -78	S36-7-20~S38-7-19
	飛島小学校	200	160~168.3	石英斑岩の 玉石層	$3.5 \times 10^{-3}$	〃	F(0.01)で 有意 -111	S36-7-14~S38-7-13
桑名・ 四日市	桑名・城南小学校	200	169~180	礫混り粘 土と粗砂	$8.57 \times 10^{-3}$	アリ		S39-3-16~S41-3-15
	四日市・南中学校	70	35.8~41.8	細 粒 砂	$1.23 \times 10^{-3}$	ナシ		S39-3-30~S41-3-29
堺	久保田鉄工	200	147~167	粗 砂	$1.0 \times 10^{-4}$	アリ		S37-2-5~S39-2-4
東 播	関西電力飾磨	100	87~98	粘土混り砂礫	$2 \times 10^{-3}$			S38-11-28~S40-11-27
	近江絹糸加古川工場	200	168~179	礫混り粗砂	$2.31 \times 10^{-3}$			S38-12-11~S40-12-10
西 播	川崎炉材	100	84~95	粘土混り砂礫	$4.2 \times 10^{-5}$			S40-1-4~S42-1-3
	大日本セルロイド	80	68~75	〃	$5.05 \times 10^{-5}$			S40-1-12~S42-
	海水工業	70	55~60.5	砂 礫	$4.48 \times 10^{-3}$			S40-1-5~S42-
徳 島	四国化成・北島	200	180~196	砂 礫		アリ		S37-5-8~S39-3-23
笠岡・福山	笠岡	58	42.5~50.0	シルト・砂 礫・礫	$3.05 \times 10^{-3}$	〃		S38-4-16~S40-4-15
	福山	92	58~68	礫・粘土混 り砂礫	$4.05 \times 10^{-3}$	〃	F(0.05)で 有意 -14.3	S38-4-16~S40-4-15
西 条 川 壬 生	西条1号	100	70~85	玉石混り砂礫	$2.98 \times 10^{-1}$	〃	F(0.05)で 有意 -25.9	S38-3-25~S40-3-24
	壬生川2号	150	130~145	粘土混り砂礫	$2.31 \times 10^{-5}$	〃		S38-3-30~S40-3-29
	壬生川3号	200	90~105	玉石混り砂礫	$2.62 \times 10^{-2}$	〃	F(0.05)で 有意 -5	S38-3-30~S40-3-29
周 南	三田尻	85	60~71	シルト粘土お よび砂混り粘 土	$1.75 \times 10^{-3}$			S39-4-1~S41-3-30
	二の楯	90	65~75	粗粒砂と砂 混り粘土	$4.3 \times 10^{-2}$			S39-4-1~S41-3-30
	光	54.2	21~32	中粒砂と砂礫	$1.2 \times 10^{-2}$			
大分・鶴崎	三佐	150	111~126	礫・砂 礫	$7.7 \times 10^{-3}$			S38-12-26~S40-12-25
	萩原	150	90~112	砂・砂 礫	$6.9 \times 10^{-3}$			S39-2-17~S41-2-16
有明・長洲	長洲港	180	118~133	砂 礫	$2.25 \times 10^{-1}$	アリ		S37-3-28~S39-3-27

第2表 各地井点戸水位の潮汐影響度

およその減衰率 (%)	地区地点名	Cl <sup>-</sup> 濃度 (p. p. m)	海岸からの距離 (m)	参考平均水位 (-m)	検潮所名	大潮升 (m)	平均潮差 2 (cm)	M <sub>2</sub> 分潮のH 常数値 cm	地盤高 (m)
52	東播・近江絹糸	8	400	11.7	飾摩	0.8	30	31.1	3
59	堺・久保田鉄工	10	50	24.3	堺	1.0	30	(3.5)	
67	木更津・鳥居崎	10	50	1.5	千葉	1.6	55	40.1	0
69	周南・三田尻	18,000	100	3.7	三田尻	2.4	90	(1.2)	3.3
71	周南・光	1,162	100	2.0	下松	2.8	100	(1.2)	1.3
72	西条 1号	4,768	200	2.7	西条	3.0	110		4.2
72	壬生川 2号	6,275	10	2.0	〃	3.0	110		2.7
72	東駿河湾・明電舎	7	1,500	(+1.9)	田子	1.2	40	50.9	6
74	笠岡		30	(+0.2)	笠岡	3.2	115		
77	有明海長洲	(1,300Ω-m)	130	7.4	三角	3.6	130	121.6	4.4
82	木更津・瓜倉	7	50	1.1	千葉	1.6	55	40.1	-1.5
82	東播・関西電力	11,275	200	3.2	飾摩	0.8	30	31.1	3.3
85	徳島・四国化成	4,455	4,500	1.4	小松島	1.2	40		2.2
86	周南・二の楯	16,000	500	2.6	三田尻	2.4	90	(1.2)	2.3
86	豊橋・東都製鋼	微量	200	4.5	蒲郡	1.8	60		1.7
88	壬生川 3号	18	10	0.2	西条	3.0	110		1.3
92	福山	11,631	1,000	0.5	福山	3.2	115		0.6
92	仙塩・東六郷小	1,425	2,000	0.9	塩釜	1.0	35	31.2	2.9
94	西播・川崎炉材	13,400	600	2.5	相生	1.0	40	34	2.0
95	大分・三佐	2,035	200	1.1	大分	1.6	55	53.0	3
95	西播・海水工業	6,900	600	1.4	相生	1.0	40	34	2.0
97	大分・萩原	310	700	0.5	大分	1.6	55	53	1
97	東駿河湾・依田橋	1,019	2,000	7.1	田子	1.2	40	50.9	2
98	西播・大日本セル	12,500	600	2.7	飾相摩生	0.9	35	32.6	1.7
99 100	新潟・東港	(岩圍水)	2,000	6.6	新潟	0	0	5	
	〃・空港		1,000	7.5	〃	0	0	5	
	富山・堀岡	2,000<	460	1.0	富山	0.2	10		-0.1
	仙塩・中野小	854	2,500	1.5	塩釜	1.0	35	31.2	1.8
	豊橋・神野新田	2,700	700	4.5	蒲郡	1.8	60		-0.2
	鹿島・奥の谷	8,211	3,500	1.9	銚子内港	0.8	30	32.2	9
	〃・光	110	1,400	2.5	〃	0.8	30	32.2	1.3
	桑名四日市・城南小	8	1,500	11.6	四日市	1.9	65	64.0	0.6
	〃・南中	微量	3,000	4.1	〃	1.8	65	64.0	-0.5
	伊勢湾北部・富田中	127	6,000	15.0	名古屋	2.0	70	(1.38)	
〃・飛島小	150	2,700		〃	2.0	70	(〃)		

際には統計的に平均化した日周期潮振巾値を利用した方が便利な場合もあり、このようなときには、平均潮差〔(大潮差+小潮差)/2〕を利用している。この平均潮差は理論的に  $M_2$  分潮値に近似するので、検潮所が水位観測地点の近くにない場合や、欠測データの場合は  $M_2$  分潮値が各短周期分潮の遅角を考慮して代用できる。

港湾地形を度外視した場合に平均潮差は、一般に九州北西岸・瀬戸内海沿岸などでは大きく、本州北西岸・本州東岸などでは小さい値であるが、今回の水位観測地区では、長州地区の 130 cm が最大で新潟地区が 5 cm 位の最小値である (第 2 表参照)。

$Mf \cdot Msf \cdot Mm$  の半月および月周期潮は、日周期潮のようにとくに地域的統一性をもっていないようで、この報告中では気圧変動影響度の判別のための資料として活用している。観測井地域の太陽年周期潮  $Sa$  分潮振巾は 8.3~20.5 cm、太陽半年周期潮  $Ssa$  分潮振巾は 0.3~5.8 m といった範囲内にあり、実際上の長周期潮振巾は  $Sa$  と  $Ssa$  の調和で生じることは云うまでもない。

浅い井戸 (自由面地下水井) は海岸からそう遠くない距離にあつて (普通は 100m 前後で零に近い値になる) 潮汐の影響はほとんど認められないにもかかわらず、深い井戸になると数 km 海岸から離れていても、明らかに潮汐の影響とみられる 1 日 2 回の水位変化の極大極小が認められる。この水位変動に与える種々の短周期分潮影響を解明するために、野満隆治氏は地下構造形態ごとに区分して理論式を算出している (野満隆治, 1940)。それによると、1) 遠端開放不圧で途中は漏水しない場合は、海岸間の距離の増加とともに振巾は減少し、位相は遅れ、1 日潮は半日潮よりも感潮度大で、比較的遠方まで減衰せずに伝わる。2) 途中一面に湧水漏水のある場合は、1 日潮でも半日潮でも同一比率を以つて減少し、感潮度は各分潮ごとく同一となる。3) 途中湧泉漏水がなく遠端が閉塞した盲管状被圧水層の場合で、3-a) 被在地下水層が海とは連絡があるが、遠端が開放不圧の部分がなく全部不透水層で閉塞された盲管となつており、しかも途中まったく漏水のない場合は、水は不可圧とし不透水層が変形しないと考える限り、潮汐による不圧変化はそのまますぐに遠方まで伝達され、振巾の減衰率も位相差もない。また 3-b) 海底とも不透水層で遮断され、まったく連絡のない袋状の被圧地下水層では、不透水層が潮汐の不圧でなく負荷としての作用を受け、水位に感潮する。実際的には上述のような典型的なモデル地区は少なく、これらを重合させた帯水層構造であるものと考えねばならないが、本邦臨海平野部の地下構造に関しても、立体的にはつきりした解明までな

されているところは少ない。このような意味から臨海平野部の被圧面地下水層の水位に対する潮汐の影響度を解析することによつて、逆にその地域の帯水層構造が、ほほどの型に属するかの判別も可能である。このように不判明な地下構造の場合の周潮影響の解析方法として、潮汐以外の要因を考慮しながら潮汐の調和常数値と水位の調和常数値を比較検討することによつて判別可能となる。潮汐の調和常数値は、これまでに日本沿岸の各港湾地点で気象庁・海上保安庁水路部・個人では小倉伸吉氏などがこれまでに計算されたものを総合すると 120 余港あり、最近ではその計算も電子計算機を使用することによつて、データさえ整つていればプログラムの作成から算出までの時間も 2 時間足らずで 1 地点分を完了するというので、その定数算出地点も増えつつある。これらの港湾地点中から、今回の各水位観測地点に近いものを選び、特徴的な数地区について著者は新たにダウイン法によつて水位の調和常数値解析を行ない (ただし、短期分潮の影響、割増係数などの補正は微小で、今回の研究目的にはそこまで必要ないものとみて省略している) 両者を比較検討している。

先に述べたように、もとより臨海平野部被圧面地下水井の水位変動原因についても、潮汐影響だけではなく季節的揚水変動量や気象変動量に影響されるために、後者が長期的にみて正弦曲線で変化するとすれば、これらを総合した複合周期になつてはいるはずであるので、潮汐の調和解析で得られる潮汐と同周期のものだけが卓越しているとは限らない。このような場合、各観測値を基として統計的に種々の常数を非調和的に求めることも必要になつてくる。たとえば波動的時系列の場合、時系列が正規分布法則にしたがい定常であることを前提としてコログラムを計算し、その有意性を検定する解法が一般にとられているが、算出された信頼限界としては  $N/10$  ( $N$  はデータ総数) 程度、若干の誤差を覚悟したにしても、 $N/5$  程度といわれており、これからすると水位観測の期間が 2 年間の場合は、ある程度の信頼性のある周期は 5 カ月以内の短周期 (仙塩地区中野小学校地点井戸の水位で一例を示している) だけにとどまり、長周期について云々するには、もつと長期間のデータがなければならぬことになる。

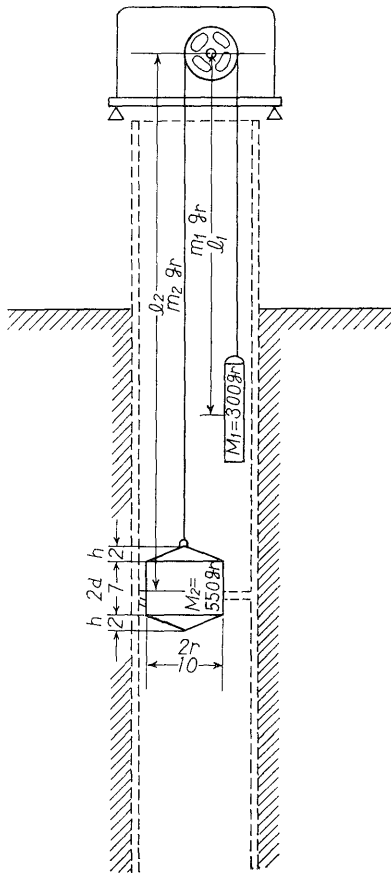
なお、この研究報告では 2 年間の各水位データを基に数理・統計的手法で年間水位の比較検定を行ない、その有意性があると認められたものは、その平均値および標準偏差を求め、その水位差を知り、その原因が経年揚水変動量と経年気圧変動量のどちらが、どの程度の影響度をおよぼしているかを知るために、各水位観測地点地

域における同期間の各気象変動値と水位変動値の相関性を検討している。なおこの報文は、すでに報告済みの各地区・地下構造調査報告書（地下構造グループ、1960～1963）を参考にしており、とくに地質概要・揚水試験値および水質分析値の部分は、ほとんどこの報告書中から引用している。

### 3. 水位記録計の精度などについて

實際上、水位記録計を用いて長期間にわたる水位観測を行ない、それから種々の解析判断をしようとする場合に、まず第一に使用計器について一応の性質を知っておく必要がある。地質調査所地下構造グループで継続実施している水位観測用の自記水位計は、ほとんど中浅測器 K. K. 製のものを使用しており、浮子と錘りの質量と寸法などは第2図のようになっている。

$l_1 \approx l_2$  または  $m \approx 0$  および  $h \approx 0$  または  $n/d \approx 0$  と仮定すると、理論的に水位計錘りの質量は、浮子の質量の1/2であればよいことになるが、実際には  $l_1 > l_2$  でし



第2図 自記水位計の構造

かもある程度の質量をもっているし、浮子の  $h$  も中浅式では無視できないようで、これらを考慮して錘りの質量を浮子の質量×1/2より実験的にやや大きくしてある。

記録し得る最小限の水位変化  $\Delta d$  は  $F/\rho \cdot \pi \cdot r^2$  で表わされ、観測記録計の内部摩擦角  $F$  によって左右されるが、今回使用した記録計では 12g 前後の値をとるので、 $\Delta d$  は 1.5 mm 前後となる。

記録用紙に記録される最終縮尺比は 1/5～1/30 であるために、この感度は充分であると云える。計器自体の感度は以上のようなものであるが、実際上観測用紙のずれ、ゆがみ、風、交通などによる振動のために、後で検討してみた場合に実測値と合致しなかつたりして、精度的には各記録結果を考えて、各々について判断しなければならない。ただし浮子自身の固有振動は  $T = 2\pi \sqrt{\frac{d+h/3}{g}} \approx 0.41$  sec となり、かなり小さい値なので、記録用紙上では縮尺の関係 (2mm/hr) で太線となつて表現される。

水位測定の実際の基準は自記水位計の中心から水面までの深さと統一しており、(管頭高さ) + (自記水位計高さの半分) は 115 cm 前後であり、報告書中の図表はすべてこれを差し引いて地表面基準値に直して載せている。

### 4. 各地区井の水位観測結果とその考察

#### 4.1 富山地区

富山・射水平野は富山県のほぼ中央に位する海岸平野で、臨海地域における沖積層と洪積層の境界は、これまでの調査研究結果から 40～50m で、海成の砂・泥岩層からなり、以深 190m まで洪積層が続く。富山地区観測地点は新湊堀岡 (第3図a参照) にあり、深度 200m、ストレーナー部 (106.6～118.5 m間) の地質は上部洪積層の砂礫で、その上部は特に軟弱なシルト層を挟んでいて、電気検層の結果から第3帯水層に相当し、これまでの既用地下水層はおもに上部の第1および第2帯水層である。一般に高岡付近の地下水は庄川によつて養なわれており、多くの工場はこの地下水に依存しているが、臨海部では海水浸入による障害をうけており、観測井のストレーナー部における水質からもこのことが証明できる。すなわち  $Cl^-$  濃度の垂直分布は深度 120 m 近辺がもつとも大きく 2000 ppm 以上の値になつていて、海水の 1/9 位の量に相当し利用価値はあまり多くない。

既用の上部の第1・第2帯水層の水位は、降雨量と気圧にある程度影響され相関関係にあるが、観測水位は第3図cからわかるように、季節的周期性は認め難く上部帯水層との継りは考えられない。

水位の長周期潮影響は海岸から 500m 位の近距離にあ

ることと、 $Cl^-$  濃度がやや高いことからみて、ある程度あることが推定されるが、短周期潮の影響は、この港湾地区における分潮振幅自身が小さい(平均 30 cm) ために、水位変動として認められない。

#### 4.2 新潟地区

広大な新潟平野を貫流する阿賀野川右岸と左岸に分けて行なわれた地下構造調査ならびに産業地質調査にともなう水位観測井戸が合計 2 地点(新潟空港地点・新潟田市新渡地点)がいずれも臨海部にもうけられている(第

4 図 a 参照)。

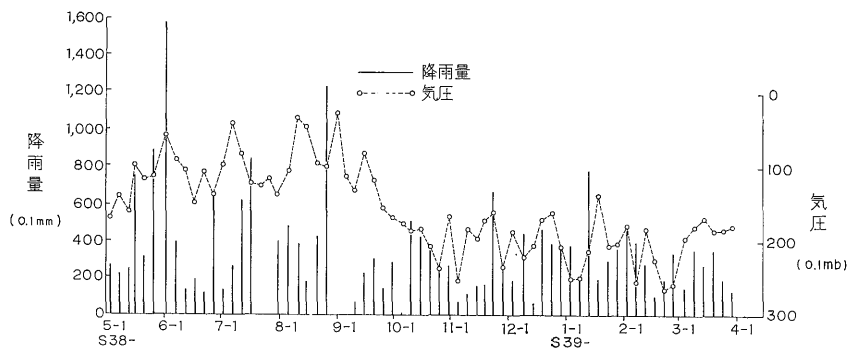
新潟東港地域の地質は全層よく締つた砂地盤で、全般的に薄い数枚の軟弱シルト・粘土を挟んでおり、深度 40 m までが沖積層、以深 180 m 位までが洪積層とされている。井戸は深度 200 m まで掘さくしたが、ストレーナー位置は 126~136 m 間で、シルトと円礫からなり、電気検層の結果からみて 5 番目の帯水層に相当する。

新潟平野の工業用水は、一般に河川の表流・伏流に依存しているが、浅層の地下水を利用しているところも地域的にみて少なくない。この地区の地下水は地下構造調査結果から深度 60 m 前後までは比較的良質な水が得られるようであるが、それ以深になると塩分およびフリーガスを含んでくるので工業用水としては不適である。

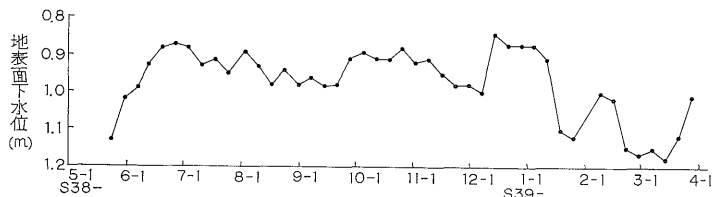
東港地区新渡地点井戸の短周期分潮による影響は、この港湾における大潮差が小さいためもあり認められないで、日間の水位変動はほぼ直線的である。長期的水位変動は夏高冬低型であるので、気圧・涵養源・潮汐の各変動影響が一応考えられる。経日および経月の水位変動が第 4 図 c と比較して判るように、気圧変動と非常に相関性が高いが、降水浸透による涵養源水の季節的影響が作用するために、昭和 40 年の 9・10・11 月期付近では、とくに気圧と水位間の高低差を生じている。(ガス採取に伴う揚水量の変動影響も考えられ、この地区では夏季におけるガス使用量の減少に伴う揚水量減少も有りうるが、ガス採取地域でない西港地区新潟空港地点井戸の水位変動も、新渡地点井戸のものと同傾向の変動を示



第 3 図 a 富山地区水位観測井位置図



第 3 図 b 富山測候所の降雨, 気圧



第 3 図 c 富山地区新渡堀岡地点井戸の水位



していることから、このことは否定される)。このように経日的な気圧変動などに水位変動が強く影響されていることからみて、理論的に当然長周期分潮影響は微小であると判断される。

#### 4.3 仙塩地区

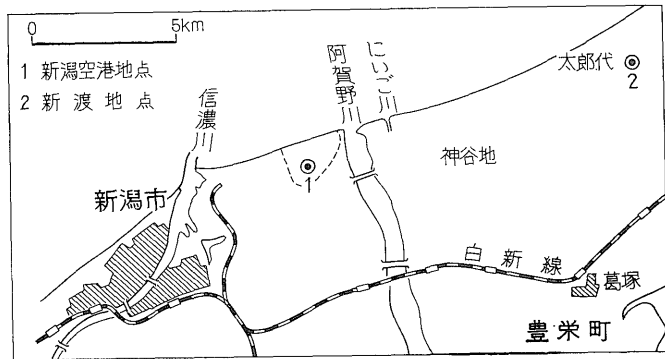
仙塩地区沖積地は海岸平野と丘陵地帯の境に走る構造線によつて水脈は切断されている。臨海平野部の基盤（約 60m 以深の鮮新統）に不整合に堆積している第四系土層は、東西

南北いずれの方向もほぼ水平の堆積状況を示している。構造線を境にして内陸寄りの丘陵地帯では、第三系から多量に採水しているが、海寄りの平野部でも 20m から 60m 以浅（洪積層）の主要帯水層から採水していて、その水質も良好であるが、60m 以深の第三系は塩分などを含んでいて良好な水質ではないことが判明している。

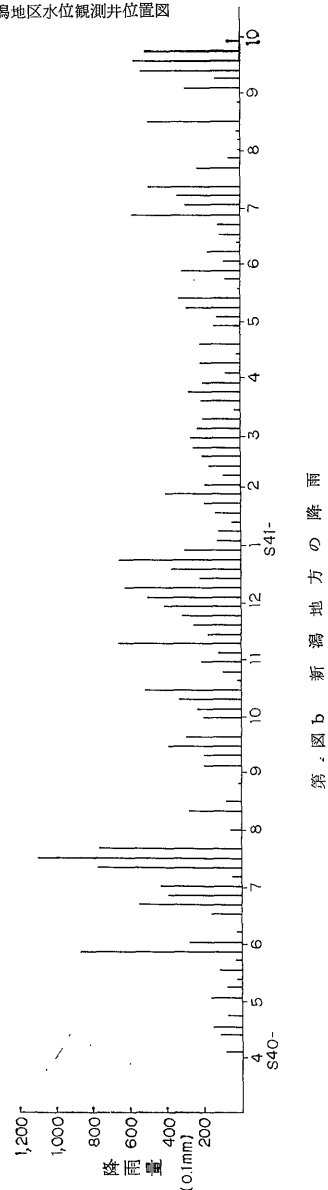
前述のように井戸の揚水試験は、新規の深部（臨海部での第三系中）の帯水層を開発する意図であつたために、ストレーナー位置は中野小学校地点で 96~113 m、東六郷小学校地点で 115.3~131.8 m で、いずれも凝灰岩中にもうけてある。もとよりこの地区は多くの工場が地下水に依存しているために、構造線の内陸側では、揚水の影響によつて地下水位は地表面下 80~120m の深度に達しているし、海寄り側でもある程度の水位低下は認められている。

以上のような背景のもとで水位観測結果を検討してみた場合、当地区には①蒲生・中野小学校と②藤塚・東六郷小学校の 2 地点で観測を行なつたが、短期（日間）水位変動をみた場合に、②地点井水位は潮汐の影響によるみかけ上平均 4 cm 位の振巾が認められるが、①地点井水位には認められないし、この差は  $Cl^-$  濃度にも比例的に表われている。この理由はさだかでないが、おそらく海岸部からの距離の違いによるものではなからうか。いずれにしてもこの港湾における同期の周期潮振巾と比較した場合に、両井の減衰率は非常に大きい（第 2 表参照）。

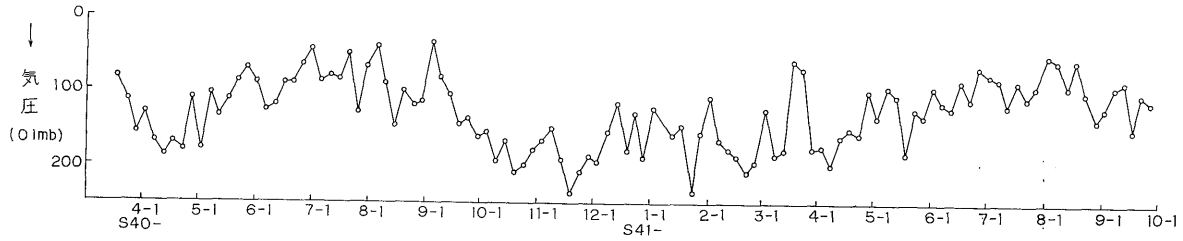
①②地点井戸の平均水位は地表下 2 m 前後にあることは、構造線の内陸側での現在の平均水位に較べて大きいことからみて、内陸の丘陵地帯で涵養された水源だけがすべて水位変動に反映しているとは云えないし、そうかといつて第 5 図 c からわかるように、その水位曲線は長周期分潮に準じた正弦的変動でもない。水位曲線と気圧変動を比較してみた場合に、短期的にも長期的にも水位



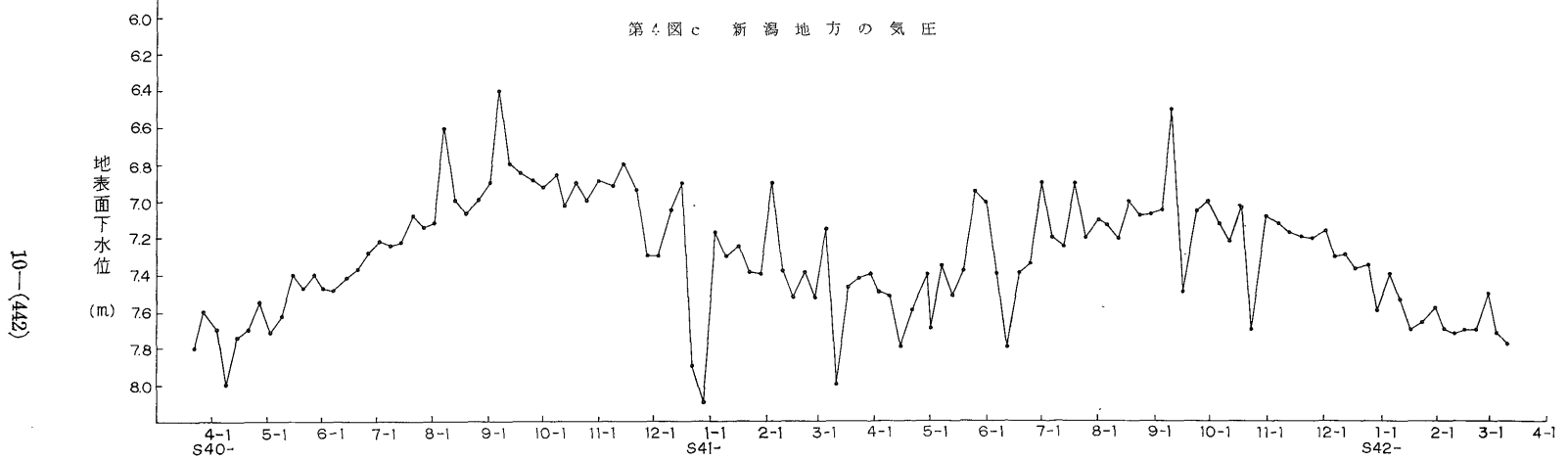
第 4 図 a 新潟地区水位観測井位置図



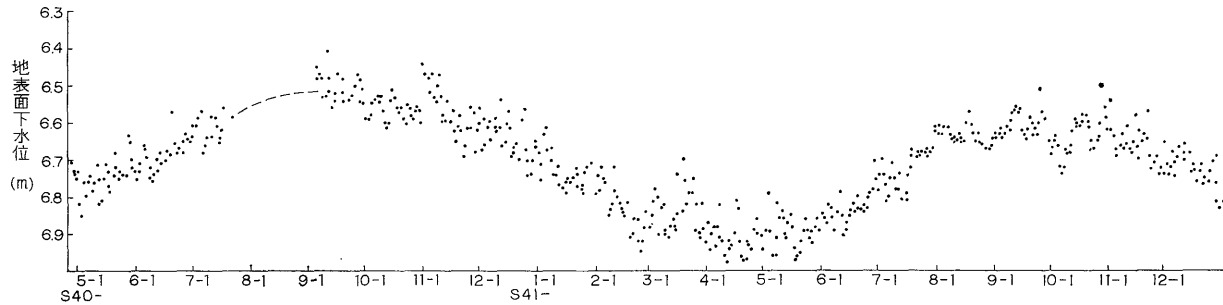
第 4 図 b 新潟地区の降雨



第 4 図 c 新潟地方の気圧



第 4 図 d 新潟西港地区新潟空港地点井戸の水位



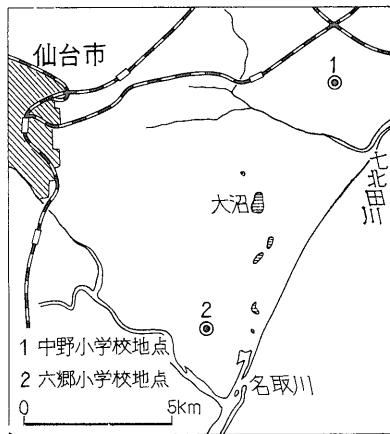
第 4 図 e 新潟東港地区新発田新渡地点井戸の水位

と非常によく一致しており相関性が大きいですが、②地点井戸において豪雨時などの水位がとくに上昇しているのは、おそらく井戸孔口からの漏入水による局部的井水位であろう。

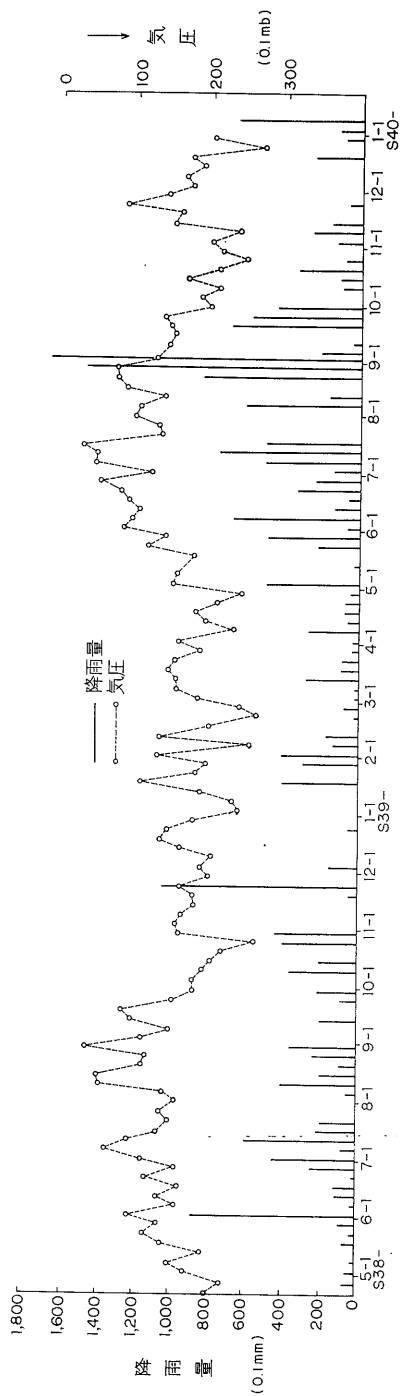
		大陰半 月周期	大陰月 成半月	日月合 成半月	太陽年 周期	太陽半 年周期
		<i>Mm</i>	<i>Mf</i>	<i>Msf</i>	<i>Sa</i>	<i>Ssa</i>
<i>H</i>	Well 仙塩 地区六郷小学校 地点井観測水位	3.78	7.14	1.13	22.45	14.55
	Tide (鮎川検潮所)	0.8	1.0	0.7	11.5	2.9

上表は 1964 年 4 月 1 日から 1 年間の期間における仙塩地区六郷小学校地点井戸の観測水位データをダウソンの法によつて調和常数値の解析を行なつたものと、距離的に離れている気象庁で算出している鮎川における調和常数値を示している。仙塩地区と鮎川間の距離的な相違が潮汐調和常数値にあまり影響しないであり差がないものとみて、仙塩地区観測井の水位振巾と較べた場合に、いずれも井水位振巾の方が増大している。前述のように短周期分潮の影響度が小さいことと、井水位が気圧変動との間に大きな相関性があることを勘考した場合、気圧の周期的変動が大きな割合で合成されているもと考えざるを得ない。

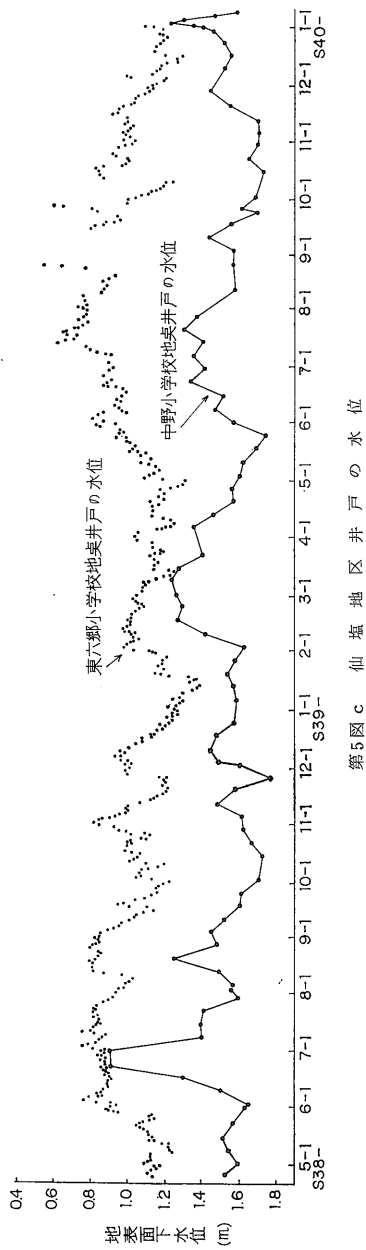
一方 2 年間の①地点井水位観測データを  $K=7$  日にとつてコログラムを作成し  $K < n/4$  の信頼限界範囲内で、危険率 5% の有意差が有りだと断定され、時系列の変動が純偶然的でなく、規則性有りとする周期を検出した結果第 5 図 d のようであり、そのピークは 1 週間・1 ヵ月および 2 ヵ月半であることが判明したが、これが揚水・潮汐・気圧などの影響が複合した周期であることを意味するとしても、各影響因子がどのような比重でこうなるかの合成機構の究明は、今後の問題である。



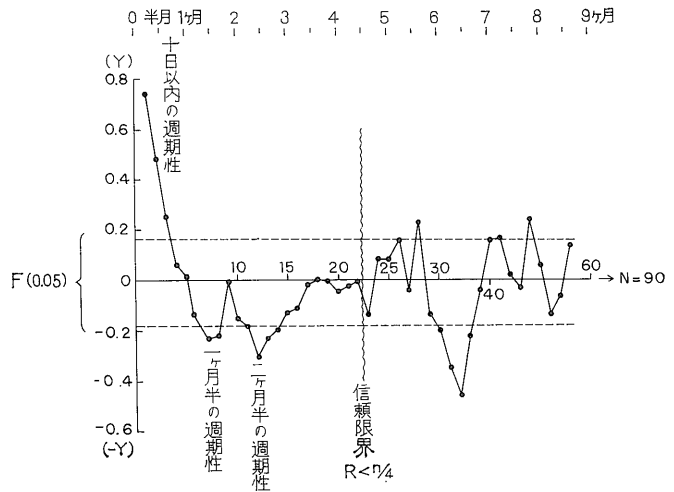
第 5 図 a 仙塩番区水位観測井位置図



第 5 図 b 仙塩地方の降雨、気圧



第5図c 仙塩地区井戸の水位



第5図d 仙塩地区中野小学校地点井戸水位のコログラム解析

あるが、利根川、北浦などの供給水脈を北西方に傾いて堆積した幾層かの不透水層（シルト）によって遮断されるため、意外に水涵れの状態にあつて、大量の水量は望めない現状にある。

今回の水位観測は①奥野谷地点で深度 257~272 m の第三系上部のシルト岩に、②光地点では深度 30~40 m の砂礫層（洪積）に相当する位置に孔明して行なわれた。

①および②地点井戸とも日間水位は、短周期分潮の影響がなく直線的であり、長周期変動についても①地点井戸における揚水試験時の  $\text{Cl}^-$  濃度が 8,210 ppm と高く、海水の浸入が認められるが、これは以下で述べるように、難透水層中を揚水した結果生じたもので、水位観測中の常水位状態の水質とは意味が異なるものとする。

両井は不規則な年間水位変動を示していることからみて、長周期分潮が水位に与える影響がどの程度のものであるか判らないが、海岸からの距離が大きいことからみて、小さいことが推測され、むしろ次に述べる年間の気象変動（降雨と気圧）が大きな影響因子になっているものとみられる。

両井のストレーナー部は、揚水試験結果では不透水層（①地点井戸）もしくは難透水層（②地点井戸）であつたが、第6図bと第6図cからみて両井とも気象変動にある程度の関連性があるが、②地点井戸のストレーナー部は準自由面地下水層とみられ、①地点井戸と較べて気象影響、とくに降雨影が大きいことをはつきり示している。

年間の平均井水位を比較すると後年の方が上昇していることがわかるが、数理的に検討した結果①地点井戸の

#### 4.4 鹿島地区

茨城県東南部の低平な鹿島砂丘地帯は、上部に旧利根川の延長河川の氾濫砂礫で構成される沖積地が深度 30 m 位まで続いており、以深で洪積層に変わる。深度 40 m 位からは第三系の比較的硬いシルト岩が続く。

この平野部の主要帯水層は沖積の砂礫層で、地域により変動はあるが、一般的には帯水層の深度は 10~40 m 位で、これから採水している井戸が多く水質も良効では

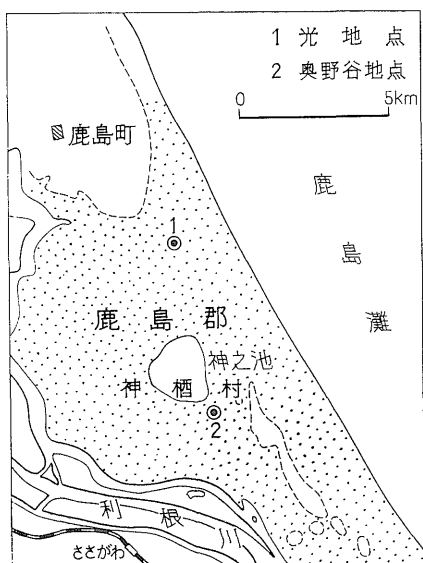
場合 2% の危険率で有意差有り と認められ年間 20cm の水位上昇があることが判明したが、同期の年間降雨量を較べると、やはり後年の方が 190mm 多雨であり、この地区では帯水層からの採水は当時皆無に近かつたので、 $(190\text{mm}/\text{間ゲキ率}) \times 100$  が水位上昇量とすれば、帯水層中に浸透する率も、ある程度推定することができる。

#### 4.5 木更津地区

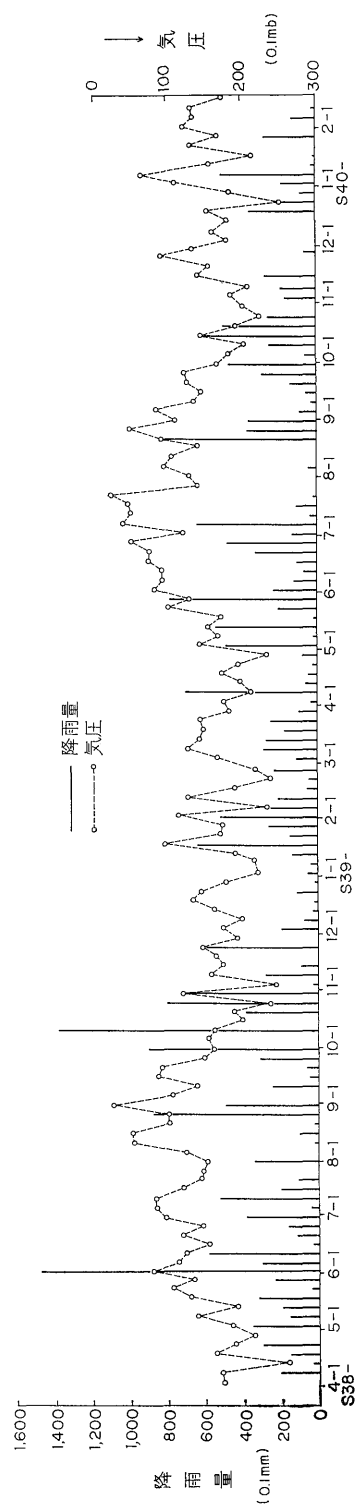
房総半島の中央に位する千葉県下、木更津地区に①鳥居崎および②瓜倉の 2 地点の井戸で水位観測が行なわれた。この両地点井戸の水位観測の対象層準は、同じ洪積層中であるが帯水層を違えてある。そのために地下構造調査結果では両井間を比較した場合に、おおいにその性状は異なっている。すなわち、この地区の水理地質は一般に 70~120m 間の砂層が主要な帯水層であり、水質も良いが、以深、有機成分を多量に含有するガス水で濃赤褐色~淡黄褐色に着色して、良水ではない。ただし両井とも  $\text{Cl}^-$  濃度は極小で海水の浸入は認められない。

両井の水位観測結果を検討すると、日間周潮において①地点井戸の方がやや大きい、海岸からの距離がほぼ等しいので、1) 外洋と湾形の違いによる短周期分潮の差、2) 帯水層の違いから生じる差の 2 つが挙げられる。現在のところ具体的にこれ以上の検討はしていないが、1) の差はそれほど大きくないものと考えられ、したがって 2) に起因するものであろう。

一方、年間水位性状を見てみると、はつきりした周期的な変動は認め難いが、第 2 表から水位は短周期分潮影響を非常に強く受けていることからみて、長期水位変動



第 6 図 a 鹿島地区水位観測井位置図



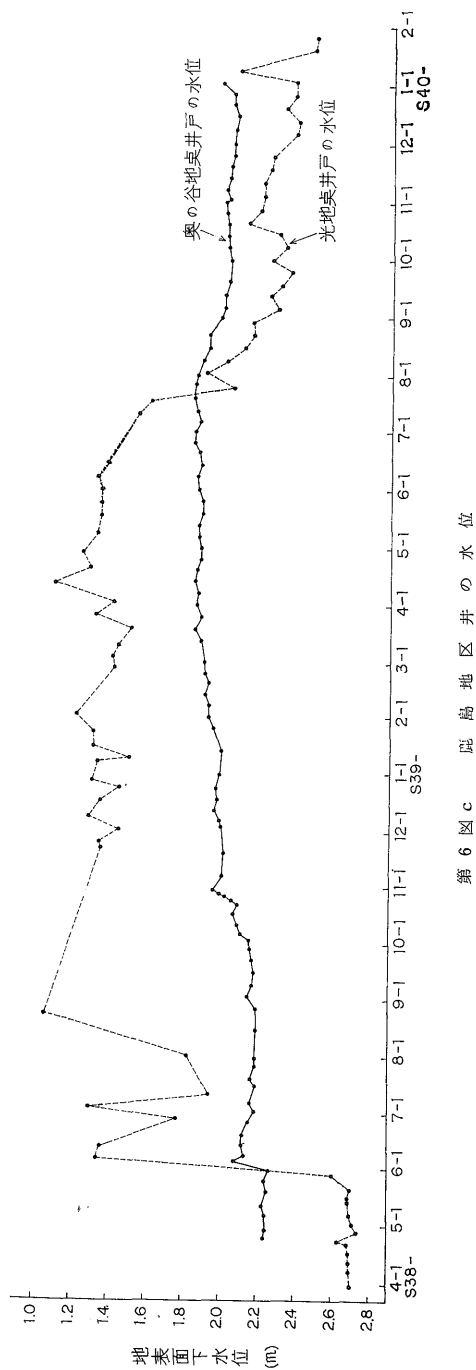
第 6 図 b 鹿島地方の降雨、気圧

の原因もおもに長周期潮影響によるものと推察され、②地点井戸ではさらに夏季過剰揚水による局部的低下が認められる。

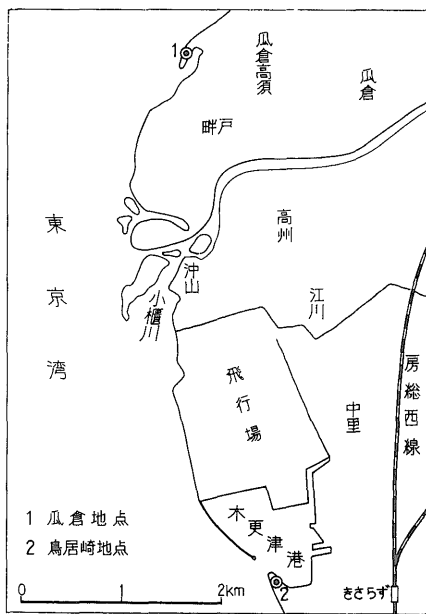
前後年の平均水位差を検討すると、①地点井戸の水位で5%の危険率で有意差が有り、14.8 cm 後年の方が低下しており、②地点井戸の水位についても、これに準ずるものと考えられ、この地方の同期における年間平均降水量差は  $1,318 - 1,837 = -519\text{mm}$  で水位低下に比例して後年の方が少ないが、このうち割合が年間揚水量の差として影響しているかは明らかでない。以上のように木更津地区井は周期潮影響を強く受けているにもかかわらず、その水質の  $\text{Cl}^-$  濃度は小さいことからみて、内陸側涵養源からの水勢が大きいことが推測され、②地点井戸の過剰揚水による夏季水位低下は、この層準が難透水性土質であるために生ずる局部的症状であるということが云える。

4.6 東駿河湾地区

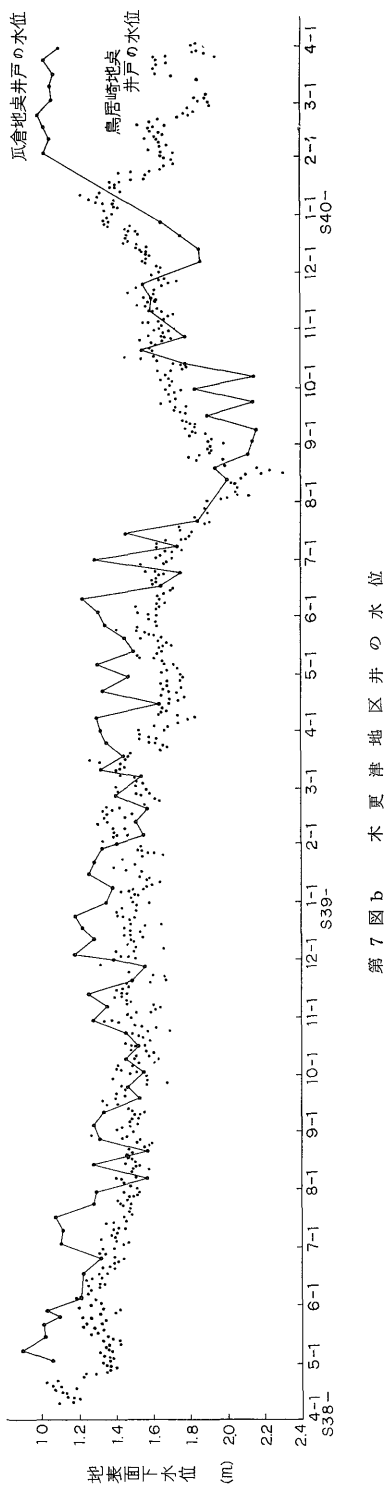
浮島ヶ原を中央に狩野川氾濫原と富士川デルタを両翼に抱いた当地区は、深部に溶岩・火山砂礫・火山灰などの火山性物質を介在している。東駿河湾地区の水位観測井は、①沼津・明電舎工場内と、②吉原・依田橋地点の2カ所で行なつたが、両井の水位観測は帯水層が異なるために、水位性状も異なっている。②地点の地質は、地表下71 m まで浮島沼系および富士川系の水成未固結堆積物で、以深火山性岩層に変わり、深度81 m から愛鷹



第6図c 島崎地区の井の水位



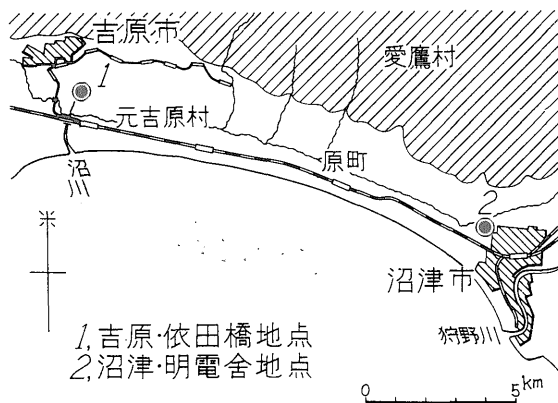
第7図a 木更津地区水位観測井位置図



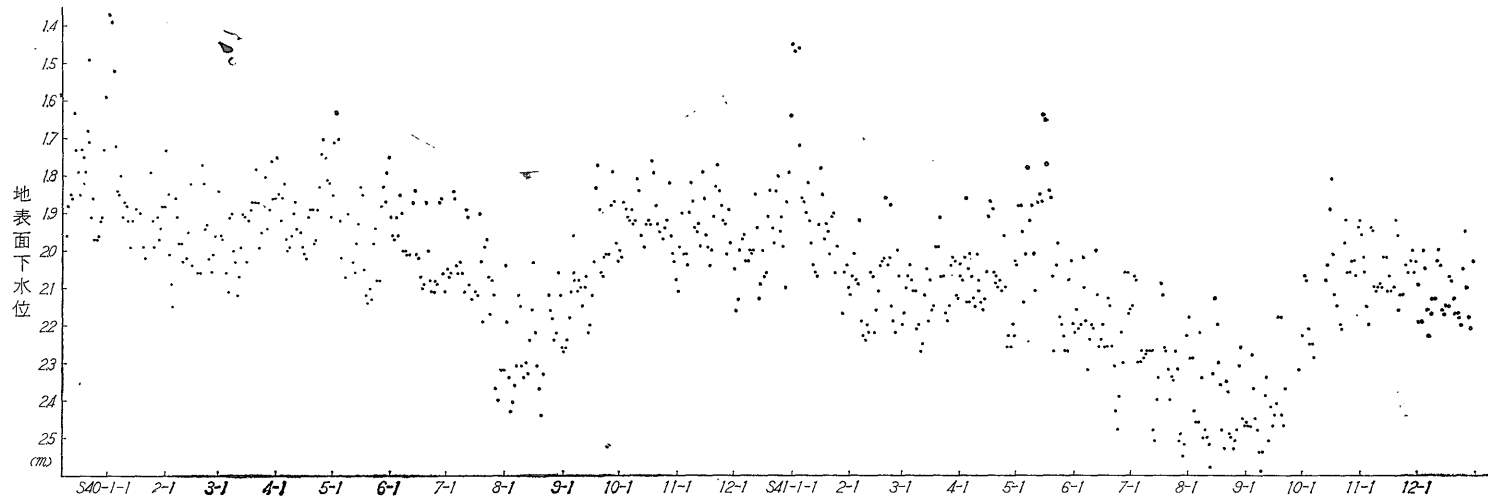
山源の玄岩武溶岩流になる。ストレーナーは深度 86.5 ~ 90m (火山灰質砂礫で地表下3番目の帯水層になる) に孔明し、水位観測を行なった。

①地点では地表下 54 m まで第四系水成未固結堆積物が在り、以深、火山性物質が続く。ストレーナー位置は深度 167~178 m (愛鷹火山源の多孔質玄武岩) に孔明してあり、これは電気検層結果では、第4番目の帯水層に相当する。東駿河湾地区の深層地下水は、前述のように、おもに富士・愛鷹の広大な後背父山帯地域の降雨および降雪融水が溶岩の気泡や裂カ中を浸透湧出するものと、一般の地層水と同じ形態をとる火山灰質砂礫の帯水層の2つに区分される。前者は後者と較べて多少そのおもむきを異にしており、流動機米のみに限つて考えれば、第三系温泉帯と相似している。その特色として、この地下水は地層およびその亀裂に影響されて水脈は不規則であり、地域による水位差が大きくて自噴するところや、地表下10数mのところもあり、上流からの流水道程は各地点で差異があるものと思われ、一般的に透水係数は小さく、垂直的な温度変化もない。水質は地層中のイオン溶解が少ないために一般に清澄な良水である。吉原地域臨海部における地下水は普通深度 70 m 位までの第1・第2帯水層から採水しているが、最近大手の工場では 90m前後にある溶岩層の塩止め工事をしてから、深度90~150 m の第3帯水層で採水している。このように地下水への依存度が高いために、毎年 3 m 以上の水位低下があり問題になつており、依田橋地点濁川の下流に田子浦堀込港湾ができてからは、海水の浸入を促進する結果となつたが、その後の防禦対策によつてどうやら現状維持の実情にある。

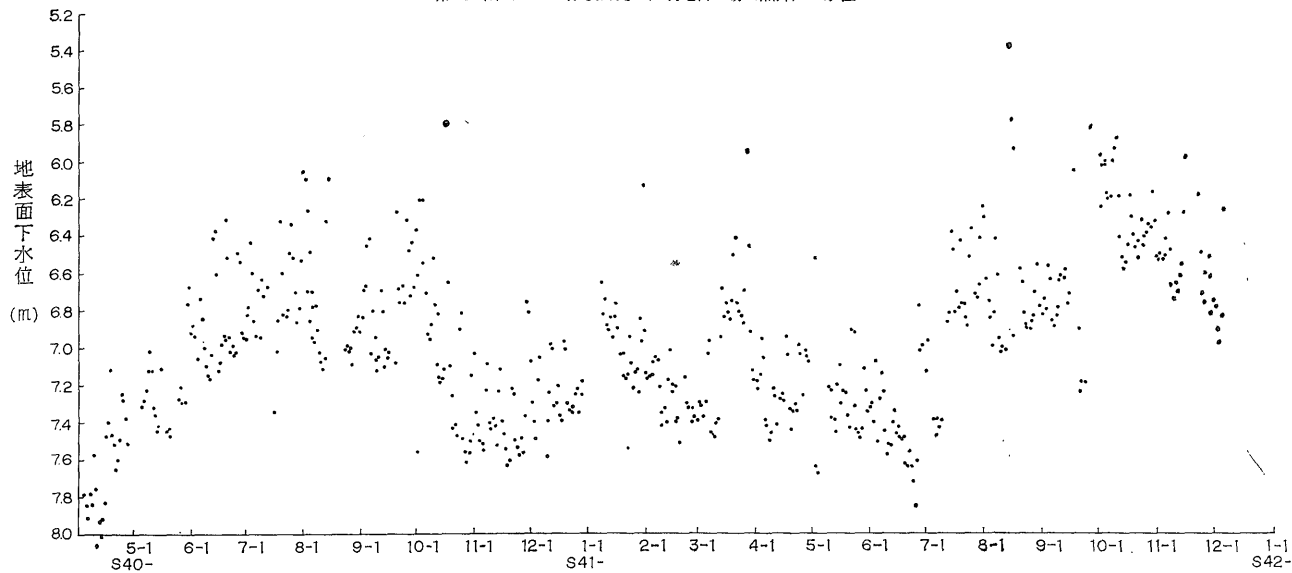
当地区臨海部での年間水位変動は、②地点井戸の水位グラフ(第8図c)を見た場合に若干、揚水影響による水位低下はみられるが、傾向として富士山溶雪期(4



第8図 a 東駿河湾地区水位観測井位置図



第8図b 東駿河湾地区明電舎工場地点井戸の水位



第8図c 東駿河湾地区依田橋地点井戸の水位



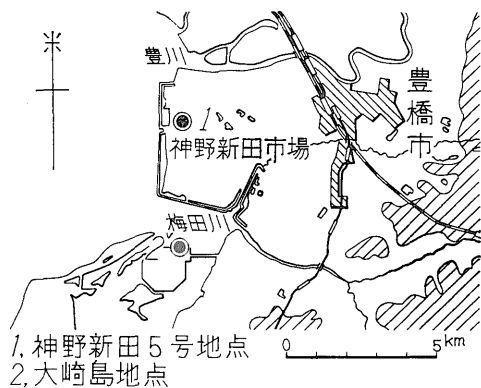
～9月）と経月降水量変化および長周期分潮の複合的影響をうけて冬期に低く、夏季に高い周期性をもっており、その上部の裂カ水層は冬季に涵養源水量が減少するために、海水浸入が勝つてCl<sup>-</sup>濃度が増すといつたこの地域特有の季節的変動をしていることが証明されているが、このような変動は上部地下水層が裂カ性で層状をなしていないため、下部層と連続性があり、下部層にあたる②地点井戸の帯水層に影響しているものとする。①地点井戸水位の長期的変動は複雑な変化をしており、夏季過剰揚水による水位低下も認められる。

#### 4.7 豊橋地区

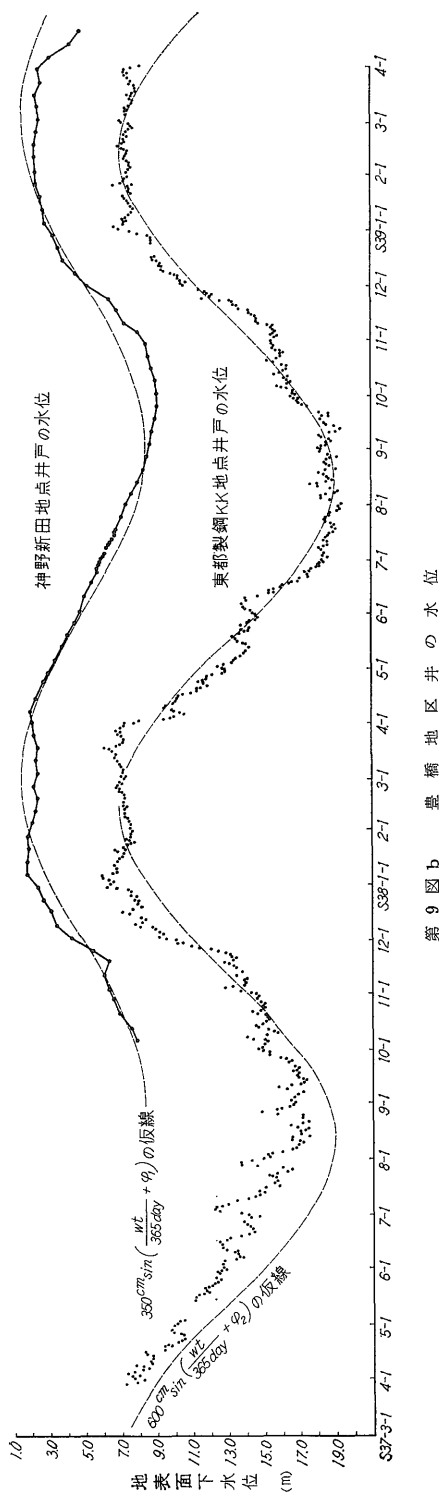
豊橋周辺地域の地質は大別して、山地を造る先第四系岩石地層と台地丘陵地を作る洪積層および川沿いの平地をつくる沖積層とに3分されるが、水位観測地点井戸は第9図aのように臨海部埋立地にある①神野新田地点と、戦前飛行場建設のために、小島を連結築土して造成した②大崎島・東都製鋼地点の2カ所にある。①地点井戸のストレーナー部は、深度136.4～152.9mの砂礫層で電気検層結果からみて、6番目の帯水層に相当し、②地点井戸のストレーナー部は深度92～99mの砂礫・第4帯水層に相当し、両井の孔明カ所は異なっているが、いずれもグラフ上（第9図b）からみて、夏低冬高型の年周期のみがとくに卓越しており振巾も大きい。長周期分潮振巾および年間気圧変動と、遅角が $\pi/2$ ずれた正弦曲線であるために、潮汐の影響はないか、もしあつても水位振巾をある程度縮小している位のものとする。

地理的にみて、上流地域に工場群があるが、これからの夏季過剰揚水影響によつて、その余剰水が臨海部に流出する間に、典型的な正弦曲線として表われるものと考えられる。

年間の平均水位を数理的に比較した場合に、①地点井戸では危険率1%の高い有意差で有りと言え、108cmの



第9図a 豊橋地区水位観測井位置図



第9図b 豊橋地区井戸の水位

後年水位低下が認められ、年間降雨量に差があつてもこれだけで説明づける以上に大きな値であるために、夏季過剰揚水による人工的水位低下が大きく影響しているものとみてよく、長期的変動の原因を裏付けるものであるし、②地点井戸もおそらくこれに準ずるものと考ええる。

一方、日間における短周期分潮は、①地点井戸では認められないで、②地点井戸で認められるが、この理由については、1) 外洋と港湾の地形的関係から生ずる分潮差、2) 水位観測対象の帯水層の深度の差異、3) 海岸から地点井戸までの距離の差、の3つが挙げられる。

1) の分潮差はそれほど距離的にみて大きいとは思われないので、2) と3) が合成的に影響しているものと考えられるが、周潮影響度と  $Cl^-$  濃度とが反比例している現象からみて、2) による影響度の方が、より大きいものと考ええる。

#### 4.8 伊勢湾北部地区

愛知県伊勢湾北部地区の水位観測井は、位置図(第10図a)のように①飛鳥中学校地点と②富田中学校地点であるが、①地点井戸のストレーナー部は深度160~168.3mで、地質は唐土層の基底をなす石英斑岩の玉石層であり、②地点井戸のストレーナー部は深度95.8~97.15mで、地質は浸食谷が海底に没してできた熱田層の粘土および砂礫である。

この地区の地下水も背面丘陵地帯における降水浸透と河川の浸透によつて涵養されているが、近郊の工場群が大量の井戸揚水に依存しているために、水位低下が社会的問題になつている。

比揚水量試験結果から①②両地点井戸の帯水層は、ほぼ似た性質のものとして推定されたが、第10図cからみてもその水位変動は相似している。しかし具体的にこの水位変動を検討した場合に、はなはだ複雑で興味ある曲線になつている。すなわち両井とも揚水による人工的かく乱、涵養源の変動、気象変化などが複雑に作用して年および週周期そして疑似的な半年周期性状を呈しており、しかも第2表からみて短周期分潮影響はまったく認められない。

短期変動として正月休みの水位回復も認められたことと週間周期も各工場の土・日曜の揚水停止に起因する人工的変動であることも、これを裏付けている。

長周期潮影響も短周期潮影響に準じておそくないものと思われ、このような現象は海岸からの距離が大きいことが一応理由として挙げられるが、この地区では以下で述べるよ

うに、年間で大きな水位低下をしているにもかかわらず、地下水中の  $Cl^-$  濃度からみて海水の浸入は認められないで、対象とする地下水層が地下構造的に海水と遮断しているとみた方が妥当性がある。

間接的な降水浸透による変動や気圧変化による影響度は潮汐影響が小さいことからみて無視できないが、第10図bを照合してみた場合に、各工場揚水による人工的影響がさらに大きいために、気圧変動と水位変動との相関性はみいだせない。

毎年の水位低下量について現在知られているところでは、一般に揚水中の井戸はその度合いも激しく、平均水位は地表面下20m以深で、戦後における年間水位低下量は2~3mに達しているが、この水位観測井は揚水を行なつていないために若干その度合いは小さく、①地点井戸の平均水位は  $G \cdot L - 14.2m$ 、②地点井戸が  $G \cdot L - 10.6m$  であり、前後年に対して数値的水位値の比較を行なつた結果両井とも危険率1%の高い信頼度で有意差が認められ、①地点井戸が111cm、②地点井戸で78cmと、ほぼ1m前後の年間水位の低下が過剰揚水によつて起つているものと判断できる。

①②両地点井戸の相違点を2・3検討してみると、①地点井戸の方が②地点井戸よりも平均水位値が高いことと、全体的になだらかな曲線を描いているのは、地下水



包蔵量の相違によるものであろう。

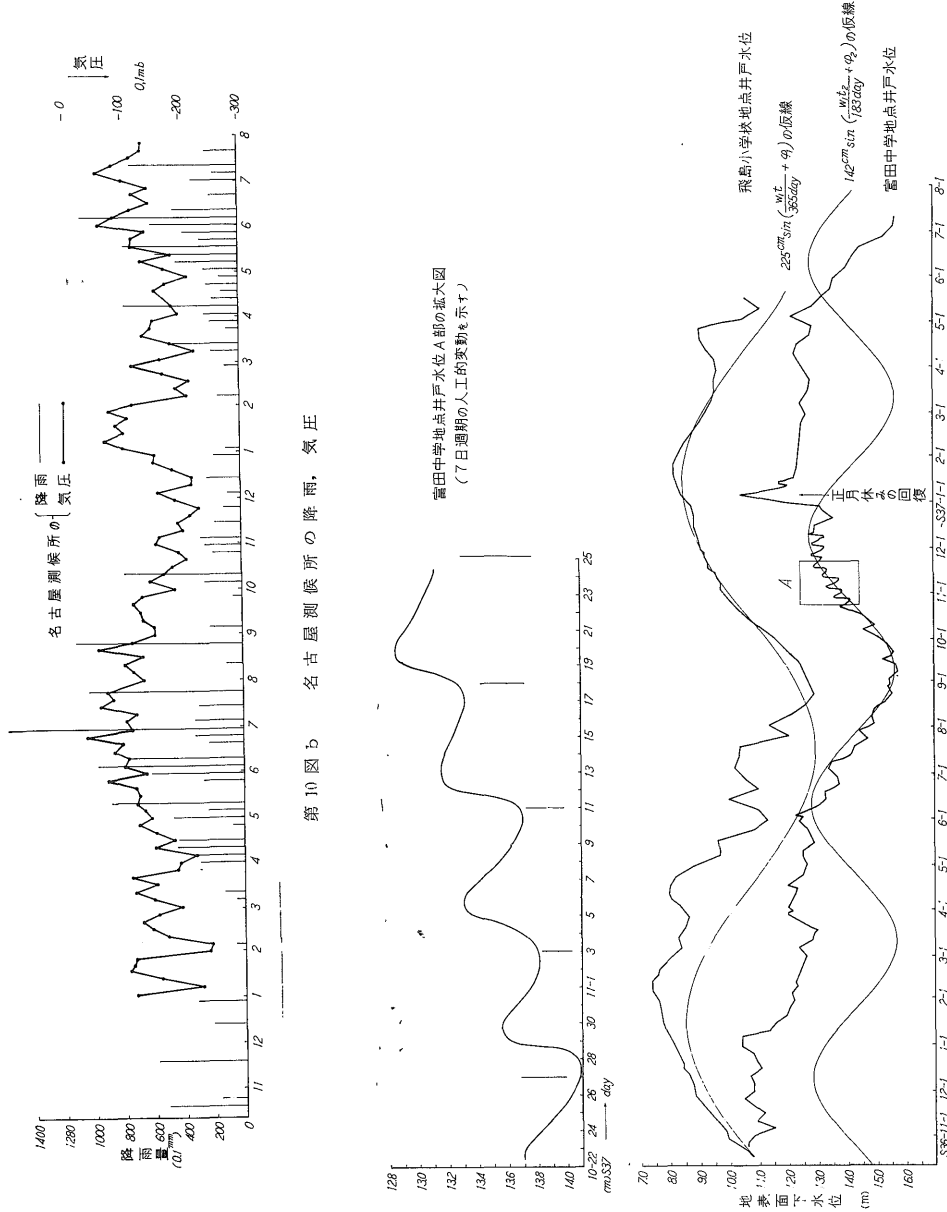
4.9 桑名・四日市地区

桑名・四日市地区は伊勢湾の西北隅に位し、後背山地の地形として、古生層およびこれに貫入した花崗岩よりなる鈴鹿山脈、その東麓に洪積層を被った第三紀層が発達し、ゆるやかな台地を形成している。この東斜面を流下する町屋川、三滝川、鹿化川などの小河川は相並んで東流しながらこの台地を開析し、その流出土砂は扇状地

あるいは三角州をなして海岸平野をつくつている。長良川河口から鈴鹿川河口に至る弧状の低地が桑名・四日市臨海工業地帯となつている。この沖積平野部と山間丘陵部の境は、断層による攪乱帯があるものとされているが、平野部の沖積層はほぼ水平の堆積状態にある。

当地区の水位観測地点は、第10図aのように①桑名・城南小学校と②四日市・南中学校の2地点である。

①地点井戸のストレーナー部は、深度169~180mの鮮



第10図b 名古屋候所の降雨、気圧

第10図c 伊勢湾北部地区の井の水井

新世・礫混じり粘土と粗砂に孔明し、電気検層結果から 5 番目の帯水層に相当する。揚水試験結果は、若干のガスを含有するが  $Cl^-$  濃度は少なく、総合的にみて良水であった。②地点井戸のストレーナー部は、深度 35.8~41.8m の上部洪積細粒砂のところに孔明し、第 2 帯水層に相当するが、揚水試験結果では水量は望めないことがわかっている。

四日市市付近の地下水供給源は鈴鹿山脈と、その前面台地における降水の浸透によつて涵養されているが、地下水に依存している工場が多いために、従来から地下水絶対量が不足している地域とされている。昭和 30 年頃以降、平均 10m 以上の水位低下を示していたが、最近では工業用水法の適用を受けて深度 100~230m までの揚水が禁止されているために、だいぶ年間水位低下量も減少してきているようで、荷動揚水中の動水位は沖積と洪積の境界 (30~40m) 位まで低下しているために、これによる地盤沈下が大きな社会問題となつている。

桑名・四日市地区両井水位の長周期潮および短周期潮影響については、前節で述べた伊勢湾北部地区両井水位性状原因とまったく同様な意味で「影響なし」と考えた方が妥当のようで、地下水層と海とは非弾性的な厚い不透水層によつて遮断されている帯水層構造になつているようだ。概して両井の長期的水位変動は周期性に乏しいが、潮汐影響が無いことから推して、気圧影響がわりあい大きいことが予想されるが、揚水による人工の変動によつて攪乱されるために、気圧変動との相関性もとくに認められないランダムな井水位性状を示していて、この点も伊勢湾北部地区と相似している。

#### 4.10 堺地区

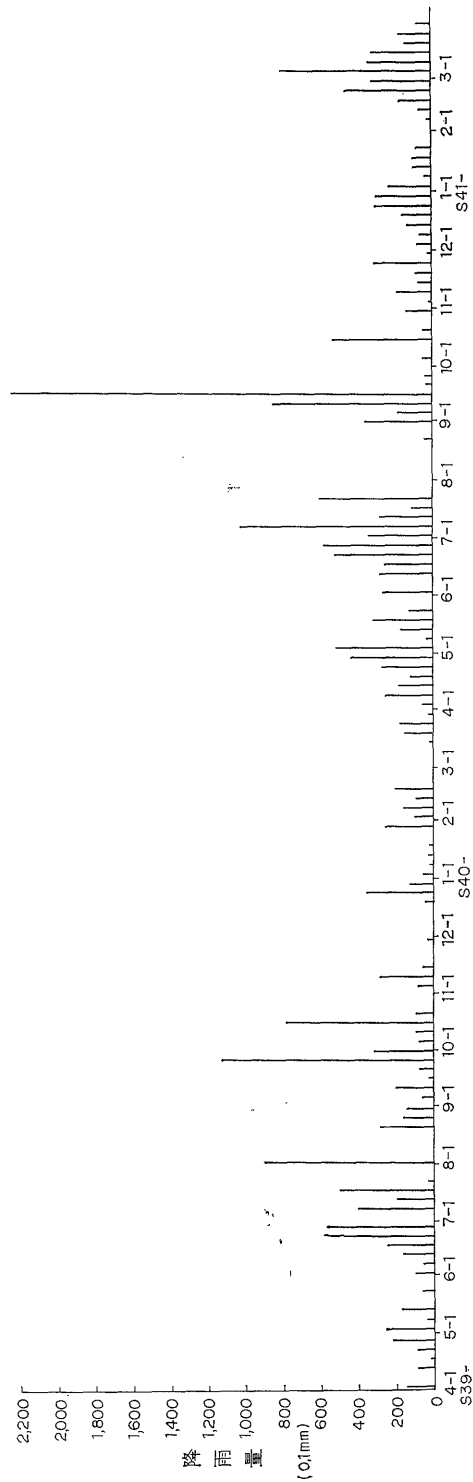
大阪平野の南部、大阪湾の南東部に位置する臨海平野部に昭和 37 年 3 月から 2 年間余、水位観測井を設けて観測を行なつた。

堺地区の地質は深度 40m 位まで海成の粘土・砂からなる沖積層で、以深はおもに固結性粘土・砂からなる洪積層 (大阪層群) に変わる。

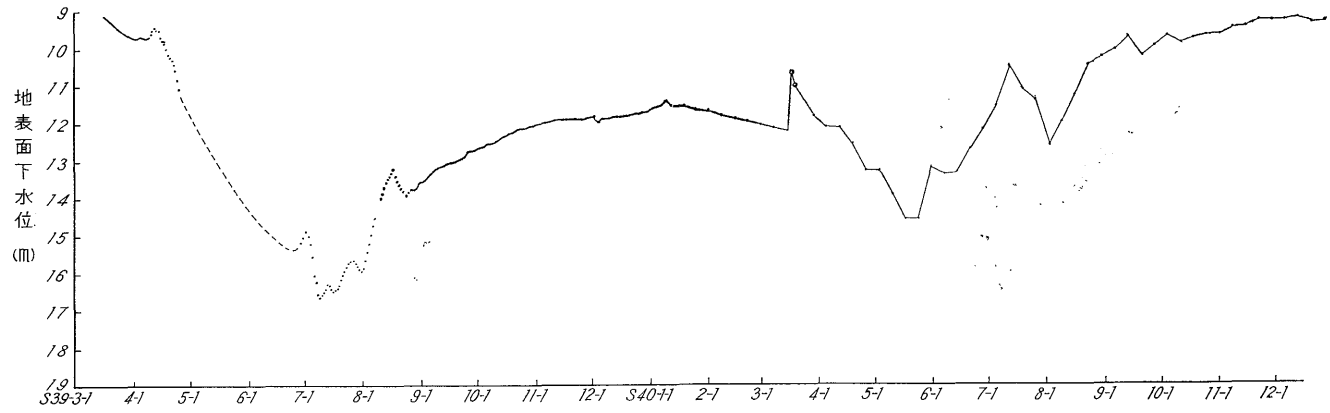
この水位観測井はストレーナーを 5 番目の帯水層に相当する深度 147~167m に孔明し観測を行なつた。

臨海地域の地下水質は、沖積層中から得る浅層地下水の  $Cl^-$  濃度が 100 ppm 位であるが、深度 50m 以深になると 10ppm 程度とさらに微量になつてくるので、水質は良効だが包蔵量に乏しく、昭和 30 年以降の諸資料では年間 10m 以上の水位低下が認められていて、水収支のバランスが大きく崩れており、この観測井の平均水位も  $G \cdot L - 24m$  前後と非常に低い。

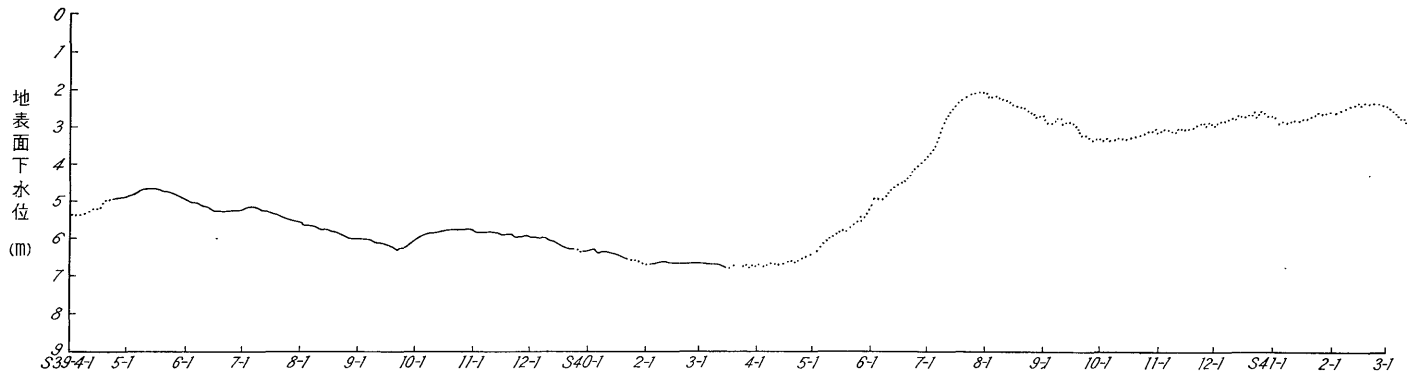
堺市港湾での短周期分潮は、その港湾形状の特徴に影



第 11 図 a 名古屋地方の降雨



第 11 図 b 桑名・四日市地区桑名城南小学校地点井戸の水位



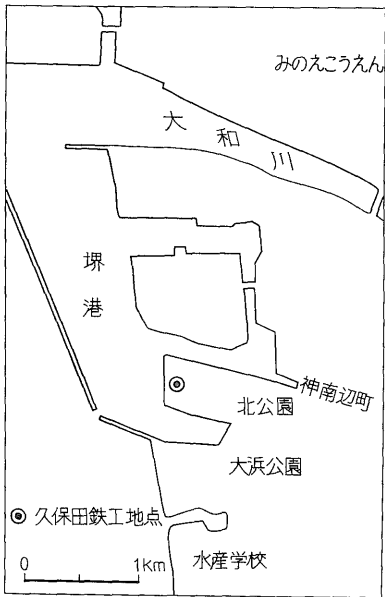
第 11 図 c 桑名・四日市地区南中学校地点井戸の水井

響を受けて、一日一回潮が卓越する地域であることが知られているが、日間水位変動もその影響を強く受けていることがうかがえる。これに反して長期の水位変動は、周期性に乏しく水位観測井が海岸に接しているにもかかわらず潮汐の影響は認めがたく、また気圧変動影響もないことからみて、季節的揚水量の違いが、間接的な水位の変動要因になっているものとみられる。

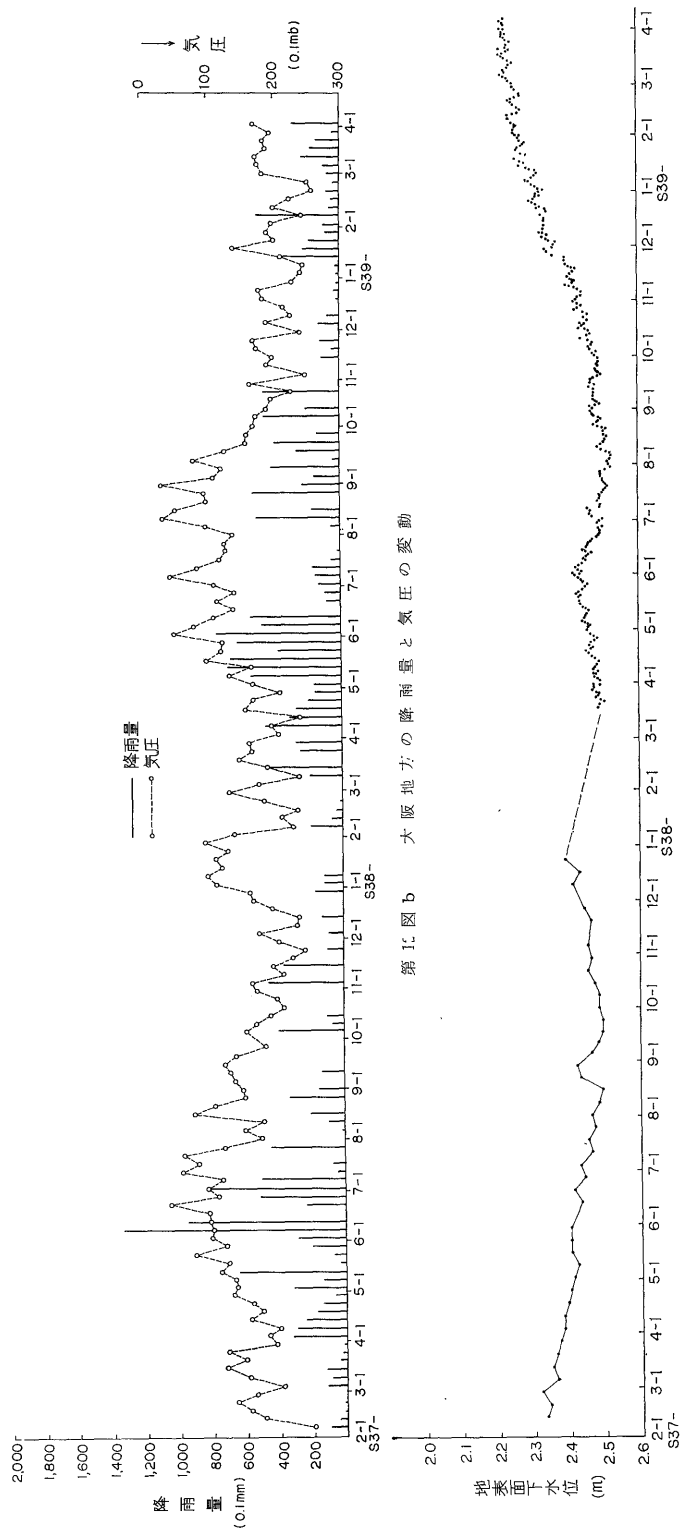
4.11 東播地区

兵庫県における瀬戸内海側の低平地のうち六甲上昇帯によつて分けられた播磨地域低地の大部分がいわゆる播洲平野で、加古川・姫路市付近の沖積平野部は、加古川・市川・揖保川などの沖積三角州から形成されている。加古川以西はより若い明石層群（鮮新世～洪積世）が直接に基盤上につており、明石層群の厚さは約150～200m位の未固結地層で、半鹹性ないし、汽水性、一部河成の各堆積物よりなり、何枚かの軟弱層（シルト）と硬い砂礫層の互層からなつていて、各砂礫層がそれぞれ帯水層をなしている。

当地区の水位観測は第 13 図 a のよう



第 12 図 a 堺地区水位観測井位置図



第 13 図 b 大坂地方の降雨量と気圧の変動

第 12 図 c 堺地区久保田鉄工地点井戸の水位

に①関西電力飾磨、②近江絹紙加古川工場の2地点井戸で行なつた。①地点井戸のストレーナー部は深度87～98mの粘土混じり砂礫、②地点井戸のストレーナー部は深度168～179mの礫混じり粗砂からなつている。

加古川地域は現在、深度50m以浅の帯水層からの揚水を禁止・規制しているため、一般に深度100～150m程度のものを利用しているが、播磨および高砂などの臨海部では、深度200mを越えるものもいくつかある。②地点井戸の水質はCl<sup>-</sup>濃度は微小だが鉄分がやや多い。姫路地域はこのような規制措置はなく、深度20m前後のものが有力な帯水層になつており、垂直的にみて深度96～100m近辺になると海水に近い多量なCl<sup>-</sup>含有量を示すようになる。①②両地点井戸で設定したストレーナー部の揚水試験結果からは、共に水量は多くを望めないことが解つており、②地点井戸の観測水位では、日間における隣接井の揚水干渉が認められ、過剰揚水の結果、平野部の平均水位はG・L-12m以下である。

水位記録から両井とも日間周潮影響が認められ、とくに②地点井戸の日間水位振巾値は全水位観測井中最大の影響を示している。

一方、長期の水位変動は両井ともおもに正弦曲線的な夏低冬高型であり、これは上流域の市街地周辺における夏季過剰揚水が、人工的影響として作用するためのものと考えられ、この点豊橋地区の水位変動性状と似ている。

年間水位の最大振巾値は①地点井戸が約0.5m、②地点井戸が約4mとかなり差があるが、これは地下水包蔵量の差によるものというより、地域的な揚水量の違いが表われているものと考えられ、両井の変動形状は相似している。周期的に年間 $\pi/2$ の遅角をとる年周期分潮変動と年間気圧変動の影響は、夏季過剰揚水影響よりはるかに小さいために、ここでは吸収されてしまつてグラフ

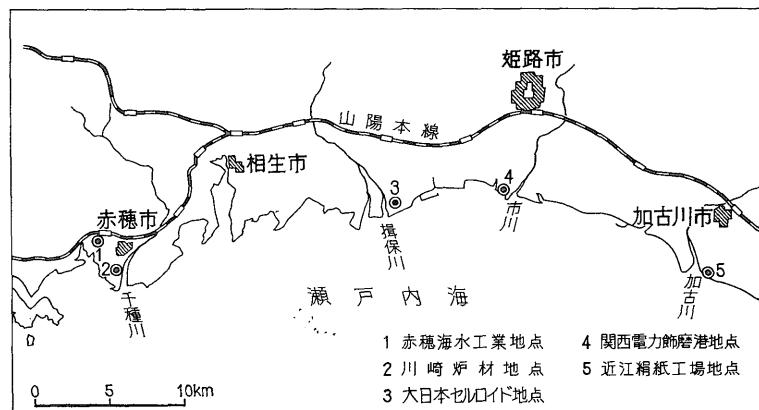
上には表われていない。②地点井戸は短周期分潮の影響もこの調査研究の水位観測30井中最大であり、したがつて減衰率が最小であるにもかかわらず、そのCl<sup>-</sup>濃度は微量で海水の浸入は認められず、しかも揚水試験結果ではそれほど水量も望めないといわれているように涵養水源に乏しい、この点理論的に合致しないので今後の研究課題であるが、地下構造的にみて少なくとも②地点井戸の対称となるこの被圧地下水層においては、海に開放されていないで、地下水層が海水重量によつて弾性的に作用するものとすれば、長周期分潮影響の問題とともに説明が容易になる。

#### 4.12 西播地区

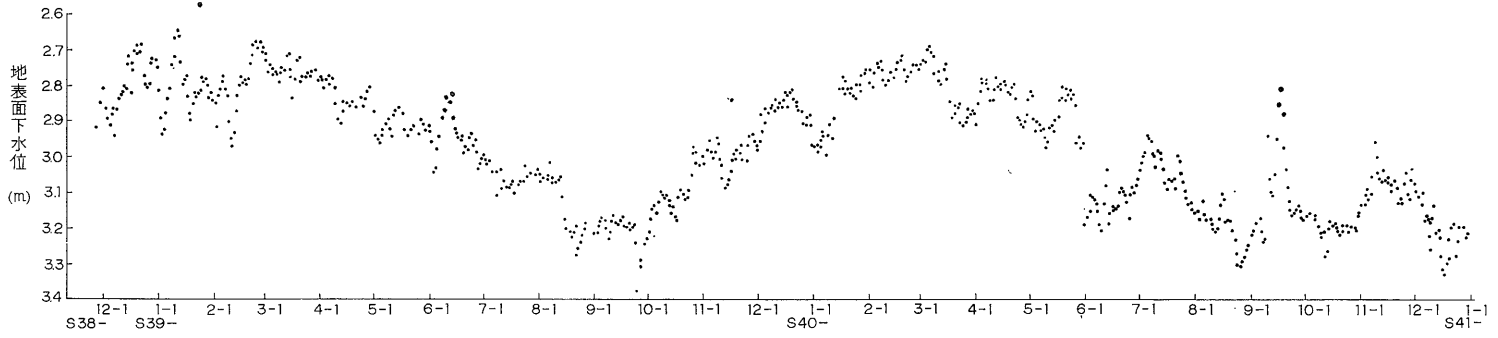
先の東播地区に続いて西播地区においても同様な地下構造調査が行なわれ、これにともなう水位観測井は①川崎炉材KK構内、②大日本セルロイドKK構内、③海水工業KK構内の3地点で2年間の観測が行なわれた。西播地区の各井戸は揚水試験結果では各ストレーナー部でいずれもCl<sup>-</sup>濃度が大き、量的な利用価値も小さいことが判明している。

①地点井戸のストレーナー部は深度84～95mの粘土混じり砂礫層、②地点井戸のストレーナー部は深度68～75mの粘土混じり砂礫層、③地点井戸のストレーナー部は深度55～60.5mの砂礫層にそれぞれ孔明している。

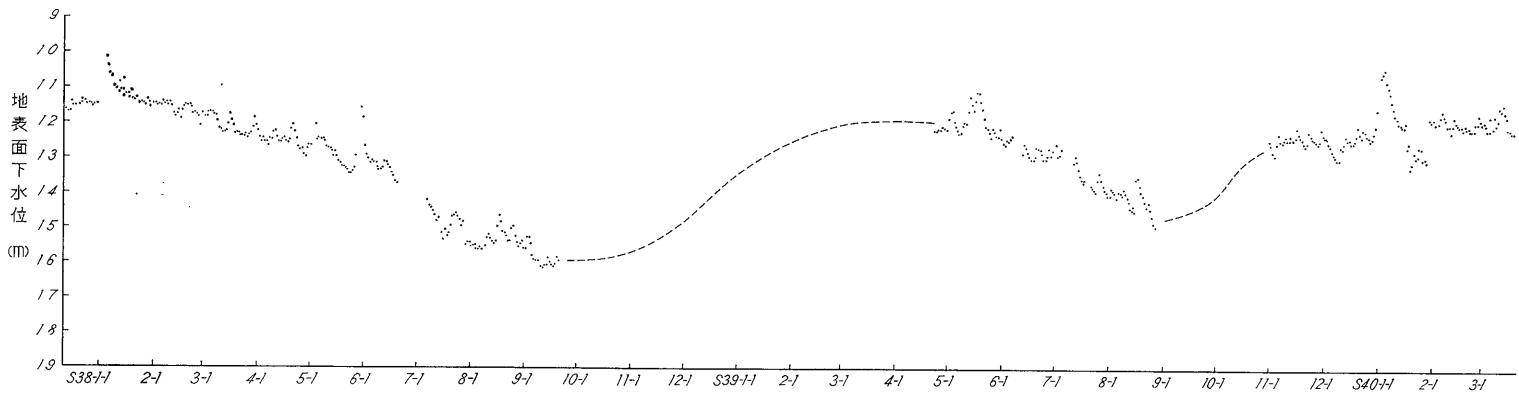
各ストレーナー部の地質年代として②地点井戸および③地点井戸はいずれも上部洪積層に位し、旧河床礫層の自由面地下水層（深度25～35m）の次にくる第2帯水層に相当する。①地点井戸はさらにその下位にあたる下部洪積の第3帯水層に相当し、東播地区関西電力飾磨井と同層準のものとしてされているが、①②③各地点井戸水位の短周期分潮影響の減衰比は、海岸からの距離を考慮した場合に、比較的大きい部類に属し、各孔明位置の水質



第13図 a 西播地区および東播地区水位観測井位置図

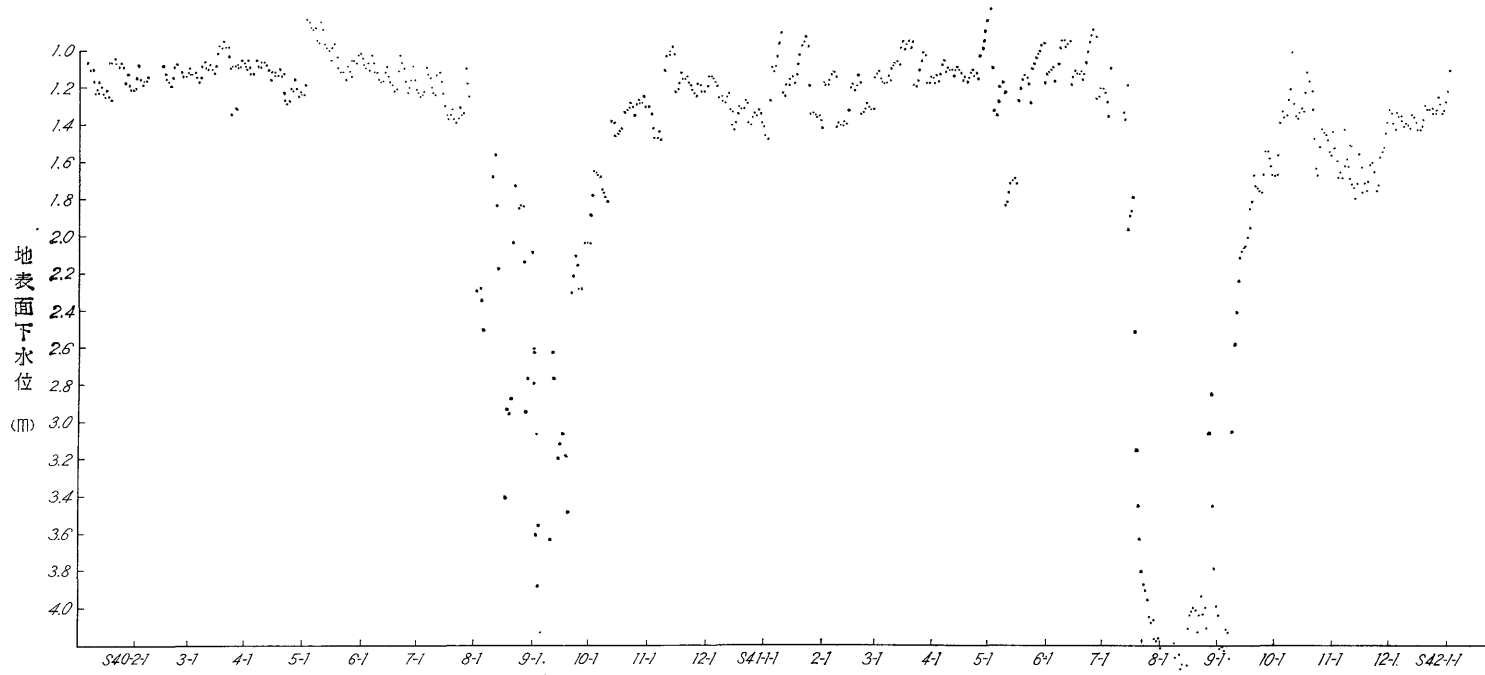


第 13 図 b 東播地区関西電力飾磨地区井戸の水位

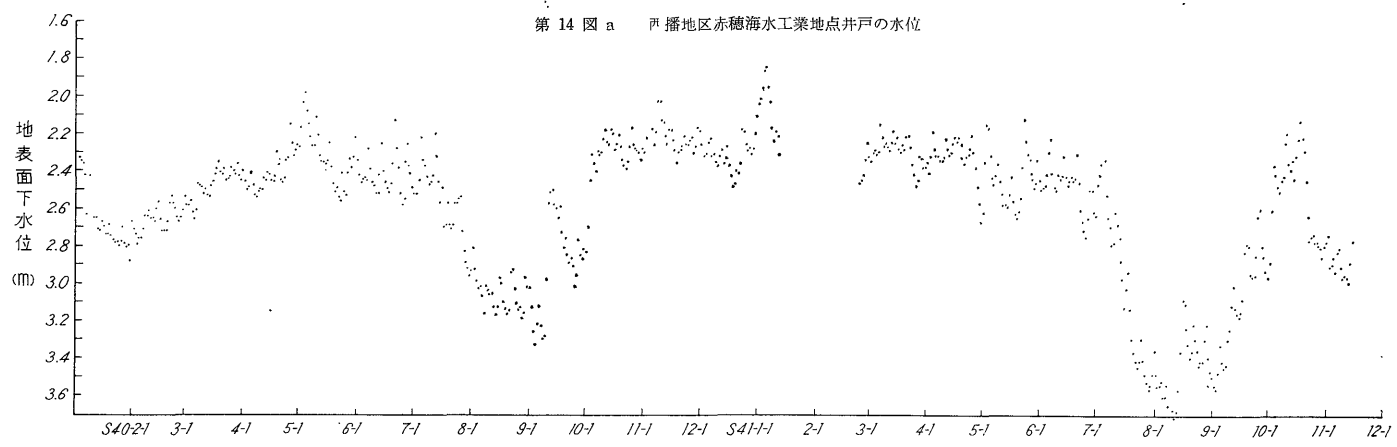


第 13 図 c 東播地区近江綿紙加古川工場地点井戸の水位

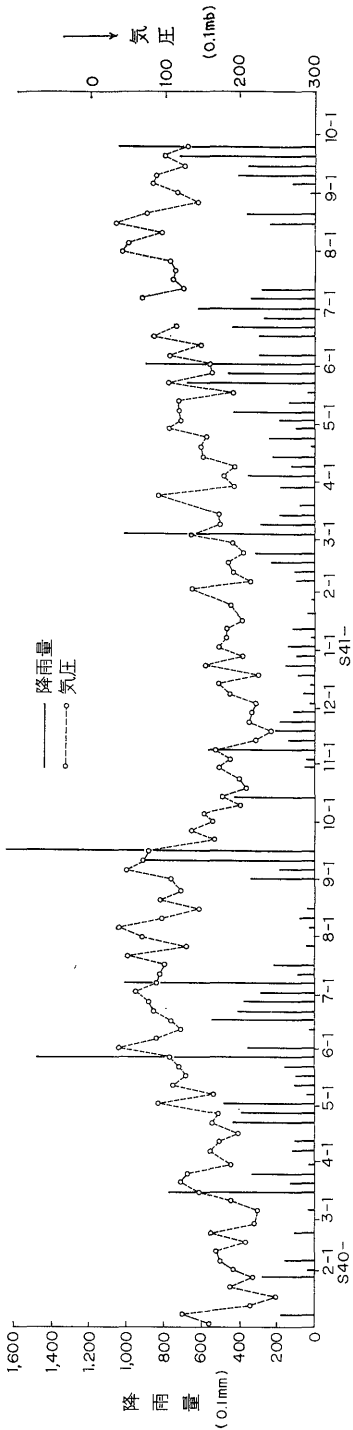




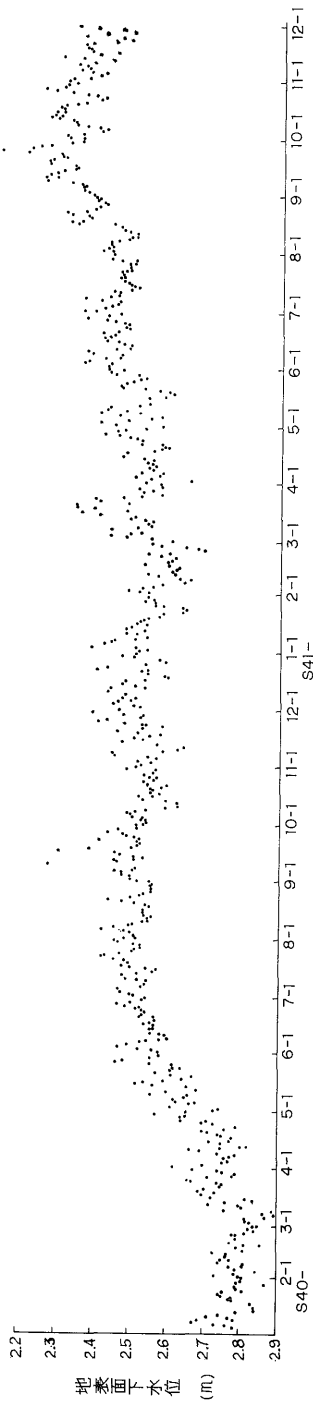
第 14 図 a 西播地区赤穂海水工業地点井戸の水位



第 14 図 b 西播地区川崎伊材工場地点井戸の水位



第14図c 姫路地方の降雨量と気圧の変動



第14図d 西播地区大日本セルロイド工場地点井戸の水位

は  $\text{Cl}^-$  濃度がいずれもかなり高い値を示して、この点は、①地点井戸と東播地区関西電力飾磨井では性質を異にしている。第2表から短周期潮影響による減衰率は各3井ともほぼ同率であると云える。

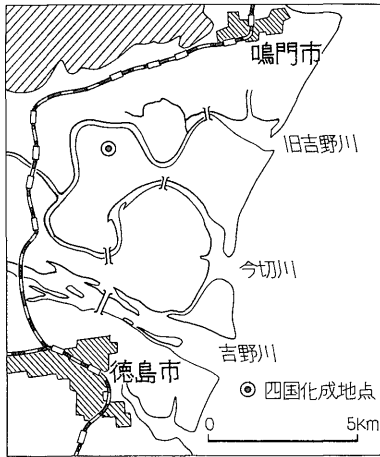
①地点井戸の水位変動は第14図bからみて夏季過剰揚水により約3mと極端な水位低下が認められる。③地点井戸水位の変動性状もほぼこれに準じたものになっているが、夏季水位低下は1m前後で①地点井戸水位のものより小さい。②地点井戸の水位性状は小規模な夏季過剰揚水低下量が気圧変動および長周期分潮の振巾と相殺されるために、とくに①③地点井戸のような水位低下は表われていないで、気圧変動との関連性をみた場合、局部的(短期的)には非常によく一致をみているが、長期的には降水浸透量の時間遅れをとまう積分作用や過剰揚水などが影響しているために、必ずしも相似していない。①③地点井戸水位について夏季の水位低下部分を除いた他の部分を②地点井戸の水位性状および気圧変動とそれぞれ比較した場合によく一致していることからみて、やはり夏季低下部分を除いた場合、②地点井戸に準じた性質をもつものと考えられる。

播州地区瀬戸内海の短周期分潮が堺地区と同様に、一日一回潮の卓越地域であるが、各井もこの影響をうけた日間水位変動を示して、全体的に潮汐影響による減衰比はわりあい大きい。

#### 4.13 徳島地区

徳島地区臨海平野部における最上部帯水層は、自由面地下水もしくはこれに近い状態でとくに  $\text{Cl}^-$  濃度は大きい。吉野川水系表流水の伏没に影響を受けてその濃度も変化している。次の第二帯水層は被圧性で、この地域の主要帯水層になっており、多くの工場はこの地下水を利用している。

この水位観測井(四国化成地点)のストレーナー部は、電気検層結果から



第 15 図 a 徳島地区水位観測井位置図

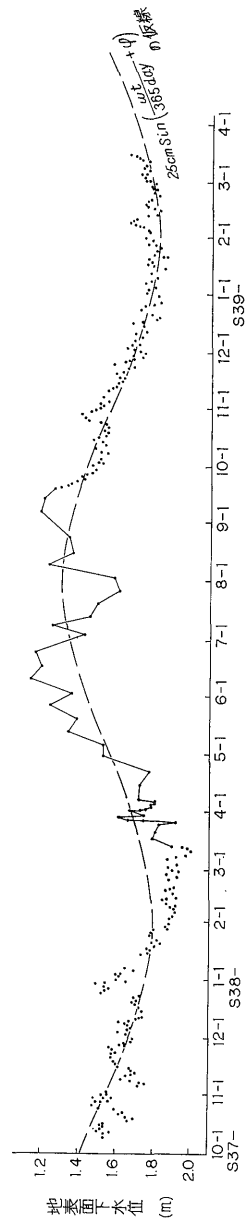
次にくる深度 180~196m の第 3 帯水層 (下部洪積層) に孔明しているが、第 2 帯水層が淡水であるのに対して、これ以深、深度の増加に比例して  $Cl^-$  濃度を増大し、ストレーナー部では 5,000 ppm になっている。四国化成地点井戸は海岸から 4,500 m 位と、かなり離れているにもかかわらず日間水位振巾値は約 6 cm であり潮汐影響によつて減衰はしているが、海岸からの距離を考慮すれば、その減衰率は全観測井水位変動中最小であり、 $Cl^-$  濃度も高くなり内陸まで海水が浸入しているものとみられる。これに準じて年間水位の夏高冬低型正弦曲線性状が、おもに長周期分潮影響によるものであると云うことが云えそうだが、水位年周期が  $25cm \sin (\omega t / 365 \text{ day} + \phi)$  であることは、振巾値がやや大き過ぎる懸念がある。

このように観測地点と海岸との距離が非常に大きいのに水位変動に潮汐影響が認められることからして、これを緒論で述べた野満理論のモデルにあてはめた場合、1) の「遠端が開放不圧で途中は漏水しない場合」に相当するのではないかと推定される。

数年以前より揚水中の動水位は夏季において毎年 2 m 以上の低下を示しているようだが (おもに第 2 帯水層)、この水位観測井の静水位も夏季において局部的に 50 cm 位の低下を示しており、上記の各既用井がなんらかのかたちで影響しているらしい。

#### 4.14 福山・笠岡地区

福山・笠岡地区一帯は地質的にみて古生層が基盤になっていて、これを貫ぬく花崗岩類と、さらに新しい火山岩類と狭い範囲に分布する新生界の堆積層からなっていて、当地域における①福山、②笠岡の両地点井戸のストレーナー部は、いずれもその上部に堆積する洪積層中



第 15 図 b 徳島地区四国化成第 2 工場地点井戸の水位

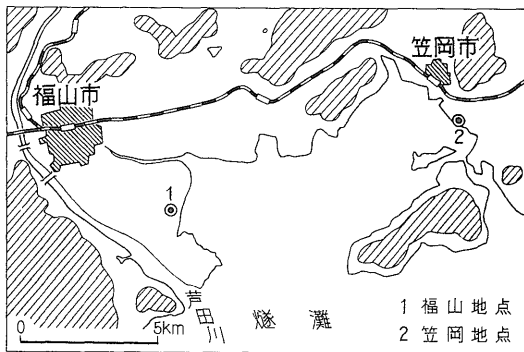
に孔明して (①地点井戸は深度 58~68m の粘土混じり砂礫層、②地点井戸は深度 42.5~50m のシルトおよび砂礫層)、その揚水試験結果は、両井とも海水の浸入をうけて  $Cl^-$  濃度が大き、しかも水量的にも多くを望めないことが判明しており、多くの工場が大河川上流の表流水伏流水に依存せざるを得ない現状にある。

②地点井戸における水位の日周期変動の見掛上の振巾量は平均 58cm で、全水位観測井データ中最大のもの

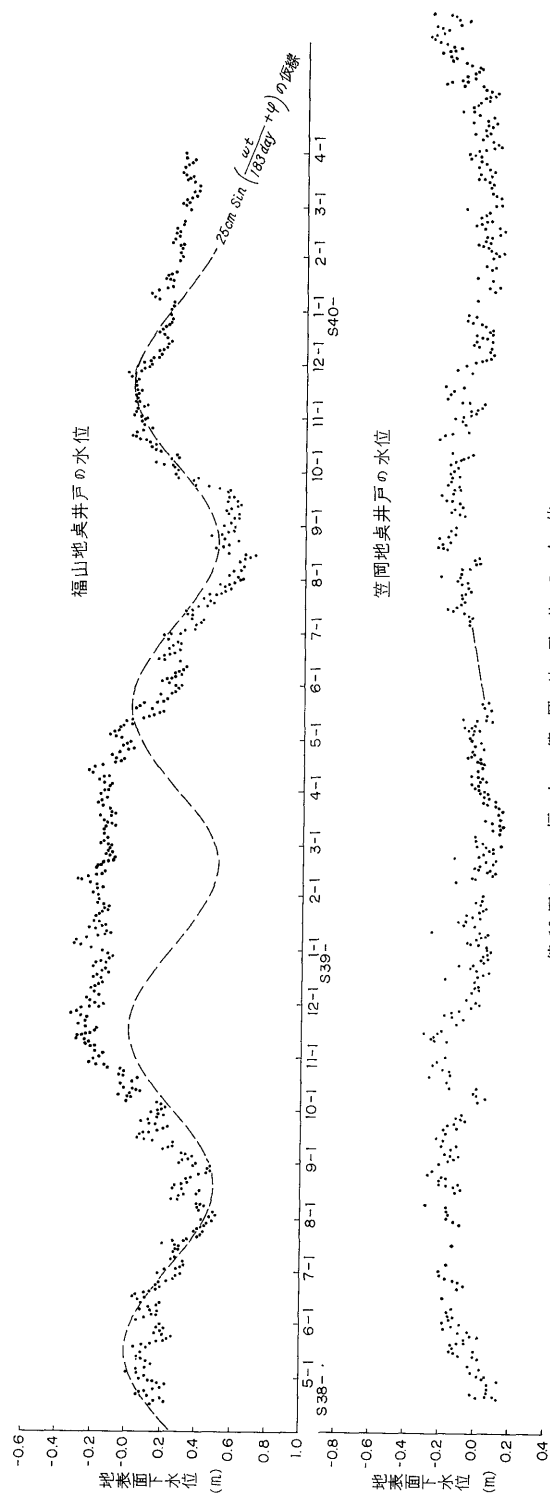
であるが、これは当地区港湾内の短周期分潮振巾値が、全観測地点井戸の水位中で長州港に次いで大きく、しかも  $Cl^-$  濃度も 14,700 ppm と海水に近いものであることからみて、潮汐影響を強く受けていることが明らかである。①地点井戸もこれに準ずるが②地点井戸と較べれば小さく、この違いはストレーナー位置が両井とも同層準で、しかも透水係数 ( $K$  値) が相似していることから考えて、海岸と地点井戸間の距離の違いによるものとみられる。加えて①地点井戸は内陸側 (上流側) に福山市が位置するために、この周辺の工場群による時季的過剰揚水の影響を受けて夏季の水位低下性状を呈しているが、涵養源水が観測地点まで流下する道程距離があるために、なだらかな水位変動曲線になっている。その他に①地点井戸で第16図bのように半月周期の水位変動もはつきり認められる。②地点井戸の長期水位変動は季節的揚水および気圧の影響も、一見してわかるほど大きなものではなく、一応は長周期分潮に準じた水位変動性状とみてよく、日間水位変動も短周期分潮に大きく影響されているが、年間の平均水位差は数理的に検討した場合5%の危険率で有意差が認められ、14.3 cm の低下を示している。年間における降水量・揚水量などの変動差がどのような比率で影響しているかは、今後の研究にまつ問題である。

H 振巾	Well 福山地点観測 水位	大陰半	大陰月	日成月	合月	太陽年	太陽半
		月周期	周期	周期	半周期	周期	年周期
		Mm	Mf	Msf	Sa	Ssa	
	福山地点観測水位	1.83	4.59	0.36	4.49	15.22	
	Tide 尾道検潮所				1.41	1.66	

上表は 1963 年 5 月 1 日から 1 年間の期間における福山地点井戸の水位記録データをダウイン法による調解析によつて得た常数值、および、距離的に少し離れて



第16図a 福山・笠岡地区水位観測井位置図



第16図b 福山・笠岡地区井戸の水位

いるが、気象庁で算出されている尾道の調和常数値を距離的な値差があまりないものとみなして比較提示している。この表から水位の振巾値を較べた場合に、 $Sa$  は水位振巾の方が潮汐振巾の3倍位である。このことから年水位変動は周潮影響の外に気象影響も関係しているものと考えられる。 $Ssa$ の方はさらに水位振巾が10倍位大きな値であり、夏季過剰揚水による水位低下がより大きな影響を与えていて、潮汐影響と合成されていることを裏付けている。

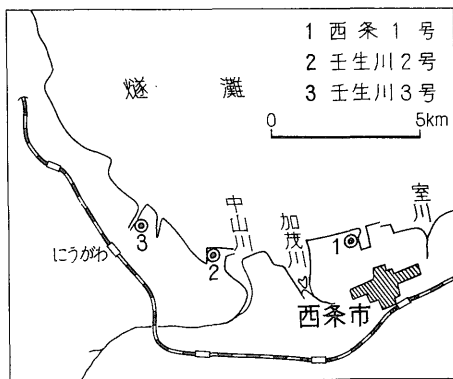
#### 4.15 西条・壬生川地区

愛媛県の道前沖積平野は西側の一边を大部分、高縄平野の花崗岩丘陵に接し、南側の一边は和泉砂岩層からなる丘陵と接しており、臨海部の工場が大部分地下水に依存しているため、地下水中への海水浸入および地盤沈下などが問題になっている。

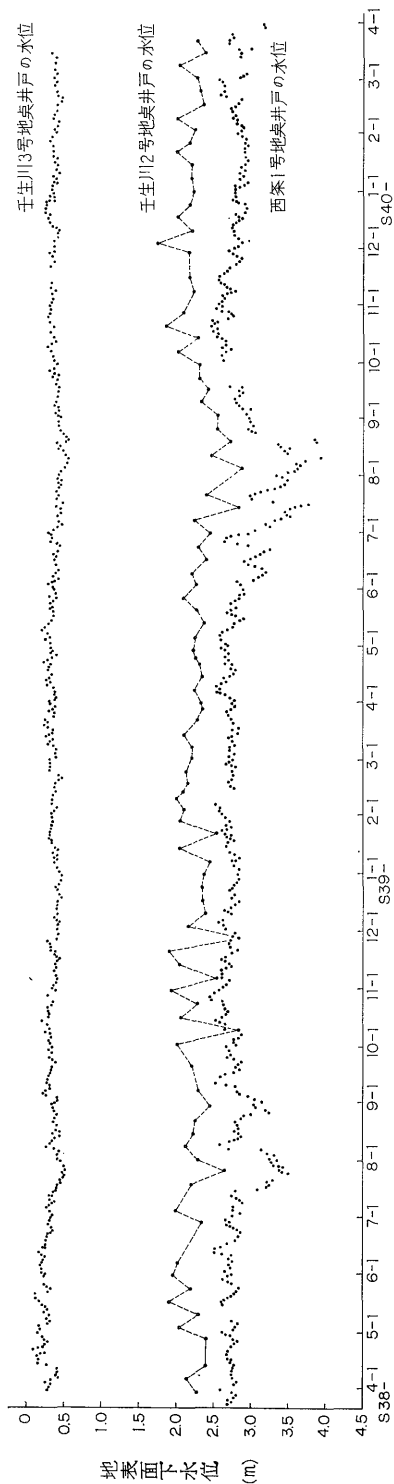
地下構造調査の揚水試験結果では、総合的にみて深度15~60m間の砂礫層が水質も良効な主要帯水層であることが判明している。

西条・壬生川地区の水位観測は、位置図(第17図a)のように①西条1号井、②壬生川2号井、③壬生川3号井の各地点において実施された。①地点井戸のストレーナー部は深度75~85mの玉石混じり砂礫層、②地点井戸のストレーナー部は深度130~145mの粘土混じり砂礫層、③地点井戸のストレーナー部は深度90~105mの玉石混じり砂礫層で、この3井いずれも洪積層に孔明してある。

①および②地点井戸は、水位観測の対象となるストレーナー位置の上層部に2層の既用の主要帯水層(深度10~45m)があるが、新規帯水層の開発と地下構造求明のために、さらに深部の第3帯水層で揚水試験を行ない、引き続き2年間の水位観測が行なわれた。ただし③地点井戸のストレーナー位置は深部的に①②地点井戸ストレー



第17図a 西条・壬生川地区水位観測井位置図



第17図b 西条・壬生川地区井の水位

一ノ部の中間に位するが、地下構造的には①②地点井戸の帯水層と異なるものとされ、この層からの揚水をしている工場も現存する。

前述のように①および③地点井戸のストレーナー部の地質は、玉石混じり砂礫で良好な透水性を示しているが、②地点井戸では粘土混じり砂礫であるために、透水性に劣りその係数値は小さい。海岸と各地点井戸間の距離は、②③地点が海岸にほとんど接近して小さいが、①地点井戸はややはなれていて 200m 位である。したがって①地点井戸水位の短周期潮影響も減衰するために②③地点井戸水位のものと較べて当然小さくなるべきはずであるが、実際にはこれとは逆にもつとも大きい値を示している。これは透水係数が  $3 \times 10^{-1}$  と 3 井中もつとも高い透水性地層であることと①②地点井戸より低い平均水頭値を示していること、それに水位変動グラフの曲線性状から知れるように供給水と揚水量がもつとも不均衡な地域であるために、周潮影響を強く受けるものと解釈される。海岸から距離的にほぼ同一な②・③地点井戸水位の平均日間周期変動値は、それほど差がない。

年間水位変動をみると、①②地点井戸は新規帯水層であるにもかかわらず、夏季過剰揚水による水位低下が認められることからみて、上部の既存帯水層とは完全に遮断されていないで、なんらかの形で連続性を持つているものと云える。一方、③地点井戸の帯水層は絶対揚水量が少ないために、夏季における水位低下は認められず、年平均水位も①②地点井戸水位に較べて高く、潮汐影響と山間部からの涵養源水がよくバランスして直線的な水位性状を保っている。

年間の平均水位差についての検定結果は、①③地点井戸水位において 5% の危険率で変化が有ることが認められ、②地点井戸では有意差は無く、水位低下が今のところないようである。水位の年間平均低下量は①地点井戸で 25.9 cm、③地点井戸で 5 cm とかなり違いがあり、揚水量および涵養水源量の相違からくるものと考えられる。

#### 4. 16 周南地区

広島花崗岩を背後にもつ防府市の沖積平野部は、佐波川一級河川と、これに合流する 2・3 の小河川によつてつくられている複合三角州である。この地区の地下水はおもに深度 30m 以浅の沖積層中の砂礫から採水しているが、臨海部ほど多量の  $Cl^-$  を含有し、海水浸入がはつきりと認められ、既用の浅井戸はだんだん廃棄されその数も減少しつつあり、逆に工場などでは佐波川の表流水・伏流水に依存度を増大させている現状にある。

水位観測井は、この①防府市・三田尻地点および②防

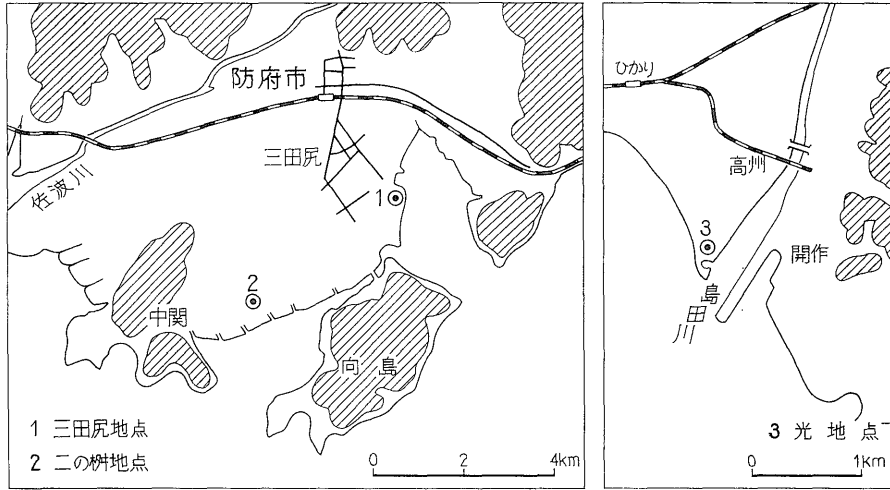
府市・二の楯地点、それに光市内の③光地点、合計 3 地点井戸で観測が行なわれた。各地点井戸のストレーナー位置は①地点井戸が深度 60~71m のシルト粘土および砂混じり粘土層、②地点井戸が深度 65~75 m の粗粒砂と砂混じり粘土層、そして③地点井戸が深度 21~32m の中粒砂・砂礫層で、いずれも洪積層に属す部位に孔明しているが、①②地点井戸とも高い  $Cl^-$  濃度のため利用価値が薄いのに反して、光市の③地点井戸は島田川の伏流などによつて水量は多く  $Cl^-$  濃度も比較的低位が、総合的にみた水質はやはり良水とは云えないで、雑用程度にとどまる。

第 2 表から、これら 3 井の日周期潮影響による水位平均振巾値をみると、69~86% の値を示している。また水位年周期変動は①②③地点井戸ともすべて夏高冬低型であるが、下表のように

		大陰半月周期	大陰月周期	日月半月周期	太陽月周期	太陽半月周期
		<i>Mm</i>	<i>Mf</i>	<i>Msf</i>	<i>Sa</i>	<i>Ssa</i>
H 振巾	Well 二の楯地点 観測水位	2.15	3.67	9.60	52.87	9.86
	Well 三田尻地点 観測水位	1.99	2.91	1.19	25.75	7.15
	Tide 防府検潮所	3.04	1.45	1.08	8.88 (29.9)	5.17 (15.2)

水位年周期の振巾値は、年周潮振巾値より大きく年周期分潮影響度が日周期分潮影響度に比例的であると考えば、実質的に水位振巾値の方がさらに大きくなるものと推察される。……ということは、年水位変動要因として潮汐の他に、さらに別の影響因子が考えられ、気象(降雨と気圧)の変動が挙げられる。周南地区は気象的に夏季の気圧が比較的に低くなる地域である。しかしながら、周南地区被圧面地下水井水位の年変動について潮汐影響の他は、すべて気圧影響とするには水位振巾におよぼす影響度が大きすぎる懸念もある。

このようなことから、まず第 1 段階として周南地区井中でもつとも周潮振巾値の減衰率が大きい②地点井戸が逆に気圧影響がもつとも大きいと云えるため、(各井の水位グラフと、同期気圧変動グラフを見ても明らかであるし、上表から①②地点井戸水位の各長周期常数值を較べた場合にも②地点井戸水位の方が、①②地点の夏季過剰揚水量差の違いによつて影響されている水位 *Ssa* 常数值を除いて、他の常数はすべて大きく、①②地点が港湾形状的にみて潮汐係数がほぼ同率であるとみなした場合に、水位に与える潮汐影響度が①地点井戸よりも大きいことが明らかであり、このことから短周期分潮と長

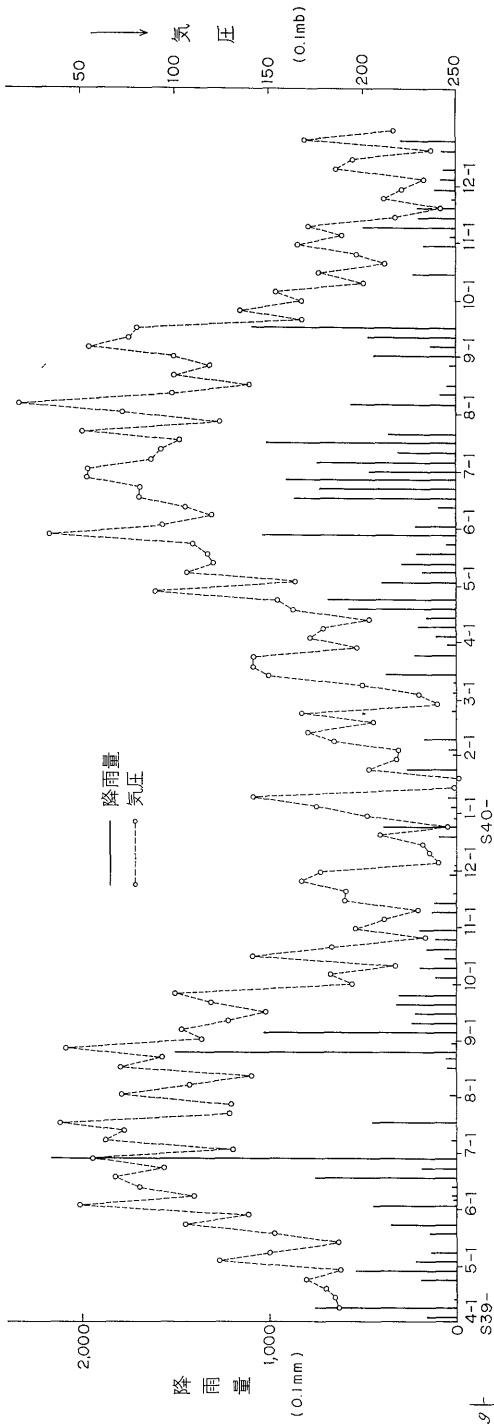


第 18 図 a 周南地区水位観測井位置図

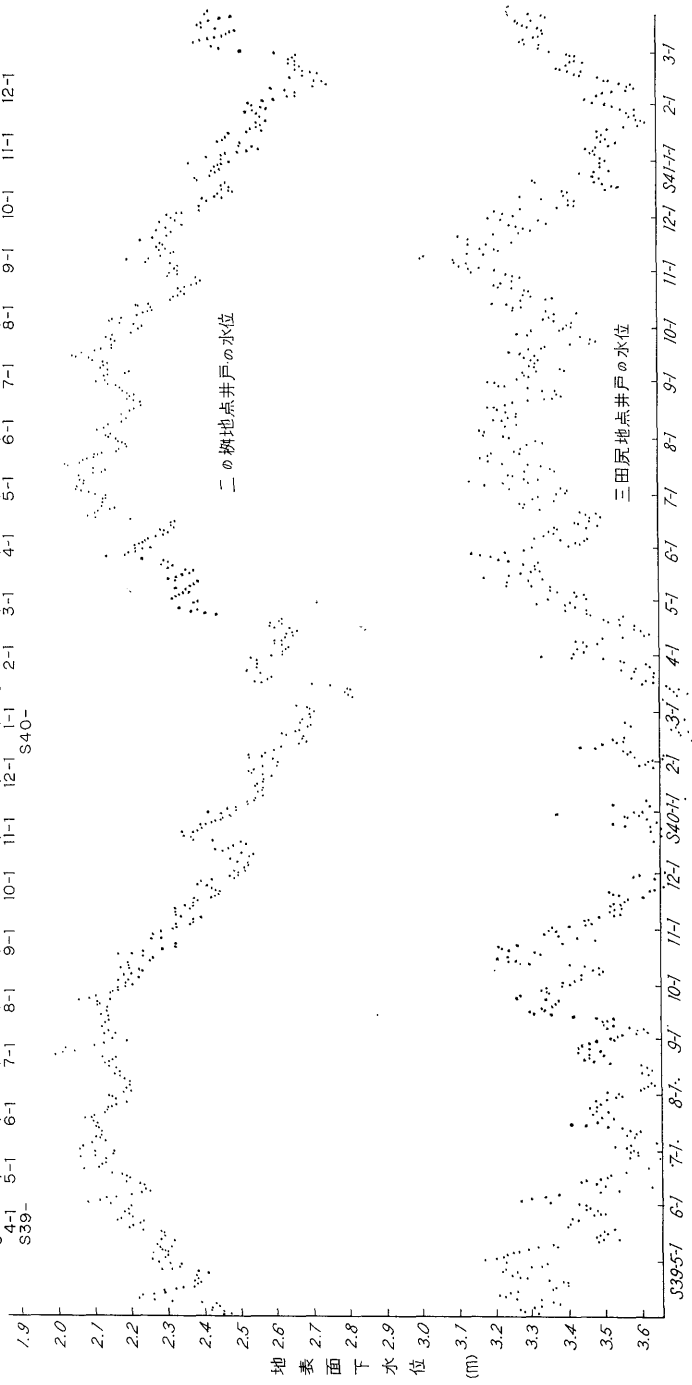
周期分潮の各影響度は比例的であるとも云える) 3 井中もつとも検討しやすいので、昭和41年1月6日～1月26日までの②地点井戸の日平均水位データを特性値  $z$  とし、要因の日周期平均潮位  $x$  と日間気圧値  $y$  の 2 変量がどのように変わるか、その度合いをあらわしているものかを統計的重相関係数  $r_{z \cdot xy}$  を算出し、3 変数中注目する 2 つの変量の間各偏相関について吟味してみた。その算出結果として  $r_{z \cdot xy}$  は  $F^2_{15}(0.05) = 3.55$  に対して 2.31 であるが、有意性があるものとして算出した偏相関は、 $r_{zx \cdot y} = +0.417$ ,  $r_{yz \cdot x} = -0.510$ ,  $r_{xy \cdot z} = +0.453$  であり、 $r_{yz \cdot x}$  と  $r_{xy \cdot z}$  の 2 つが有意であり、もう一つの値  $r_{zx \cdot y}$  についてもこれに近い値である。しかし相関度合の順位としては 1) 日周期平均潮位を除いた相関、2) 日平均水位を除いた相関、3) 日間気圧を除いた相関となる。これが何を意味するかを考えた場合に、日周期潮位および日間水位を平均化した場合には、天体潮として大きな変動値を示すし、半日および日周期分潮はほとんど消去され、変動値としては月および週周期分潮がおもな比率をしめており、潮位自体も気圧変動に強く影響されているが、この日周期平均潮位よりは日間気圧影響値の方が大きいことを示している。一方、この被圧面水に対する降雨影響は、上流地域からの浸透があつても、水位変動は降水の日遅れを伴う積分量として表われるのであるが、第 18 図 e からみて日遅れについては大部分が 1 カ月以内におさまるものとみられるので、第 2 段階として昭和39年4月から41年1月間の毎月平均水位  $z$  ・月降雨量  $x$  ・月平均気圧値  $y$  を第 1 段階で行なつた同じ方法で重相関係数を算出し、年変動影響の度合いを吟味すると、 $r_{z \cdot xy}$  は  $F^2_{15}(0.05) = 3.55$  に対

して 3.31 で、かなり近い有意性があり、偏相関は  $t(\alpha)$  の  $\alpha = 0.01$  で 0.56,  $\alpha = 0.05$   $r = 0.45$  に対して  $r_{zx \cdot y} = -0.10$ ,  $r_{yz \cdot x} = 0.30$ ,  $r_{xy \cdot z} = 0.67$  となり  $r_{xy \cdot z}$  のみがわりあい高度で有意とでている。すなわち気圧と降雨の相関性は高いものと一般に云われているが、ここでもはつきり、それが証明されている。この 3 変数の相関度合を順位にすれば、1) 月平均水位値を除いた相関、2) 月降雨量を除いた相関、3) 月平均気圧値を除いた相関、となり長周期的には気圧変動よりも降雨変動の方がかなり高い度合いで水位変動に効いているものと云える。これら 4 大因子の影響度合を総合して順位をつければ、1) 日遅れを伴う降雨変動量、2) 日および年周期分潮振巾値、3) 気圧変動値、4) 日および年周期分潮振巾値以外の雑周期分潮振巾値となるものとする。以上で②地点井戸水位について検討したのであるが、①③地点井戸においては、短周期分潮振巾の減衰度からみて気圧影響度はやや小さくなる。また、③地点井戸は海岸からの距離が①地点井戸とほぼ同じであるが、揚水結果、 $Cl^-$  濃度が比較的小さいことからみて内陸側からの涵養源水勢は大きいものとみられ透水性もまた大きいために、水位の日周期振巾値は①地点井戸とほぼ等しくなっている。②地点井戸は海岸からの距離が①地点井戸に較べて大きいために、周潮影響による減衰度は大きくなっている。

昭和 39 年と 40 年に分けて平均水位を比較すると、②・③地点井戸において、いずれも前年より後年の方が平均水位が高いが、同期の年降雨量をみると後年の方が 180mm 多く降っておりこれと比例している。

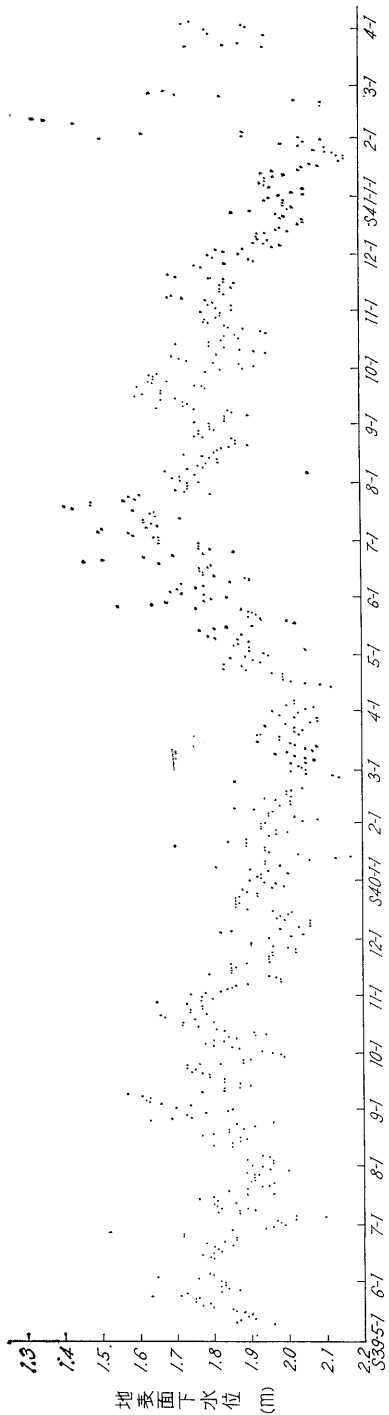


第 18 図 b 防府地域の降雨量と気圧の変動



第 18 図 c 周南地区井の水位

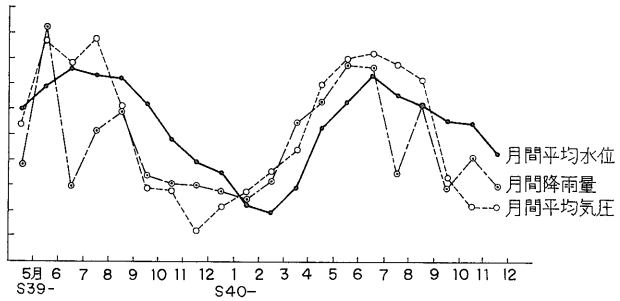




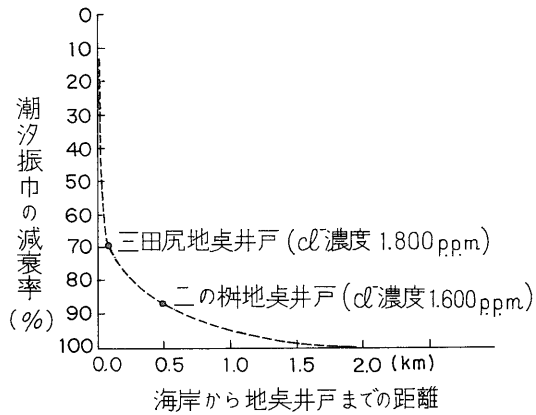
第 18 図 d 周南地区光地点井の水位



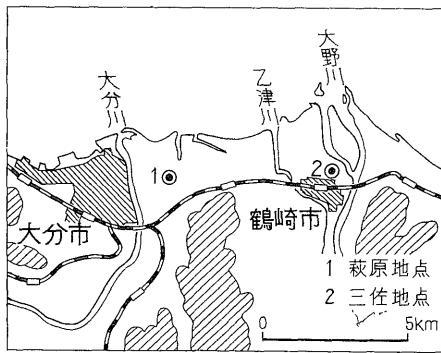
第 18 図 e 防府市臨海平野部の日間における平均気圧・平均潮位・降水量と平均水位の関連図



第 18 図 f 防府市臨海平野部の月間における降水量・平均気圧と平均水位の関連図



第 18 図 g 防府市臨海平野部深部帯水層における潮汐の水位に与える影響度

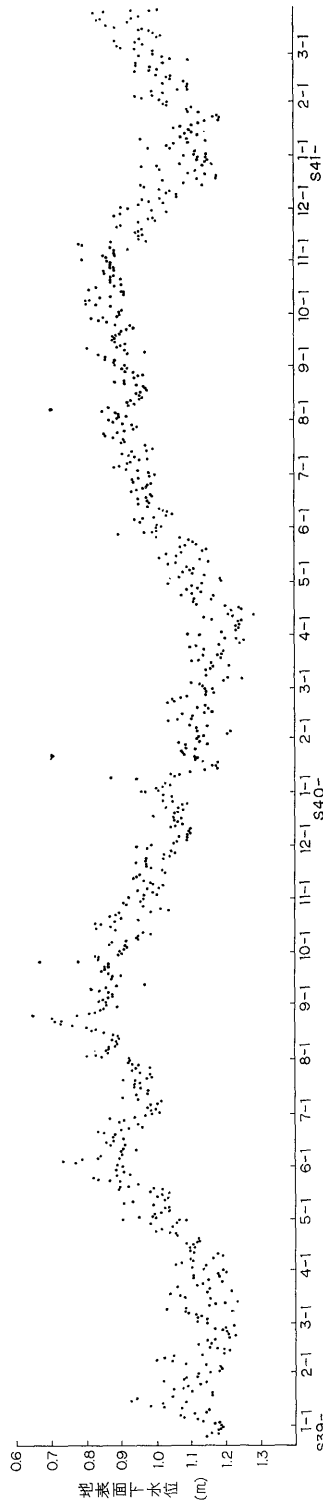


第19図a 大分・鶴崎地区の水位観測井位置図

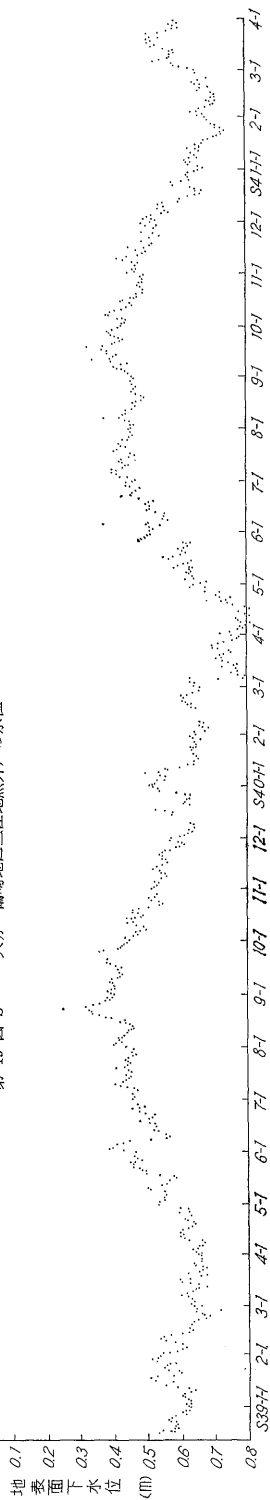
4.17 大分・鶴崎・杵築地区

大分平野部とその周辺の丘陵地には、新第三系上部および第四系地層がよく発達している。この地区の臨海部自由面地下水は、各河川の涵養によつて得られるが水量は豊かでなく、水質は有機性分を含むが総合的には良質である。深部30~50mの臨海部地下水は不透水性火山灰層によつて遮断停帯しているらしく、その水質はやはり有機性分を含み、さらに海水の侵入をうけて  $Cl^-$  濃度も大きい。このような関係から多くの工場は河川の表流水・伏流水に依存しており、大分川ならびに大野川の流量はこれをまかなつて余りがあるが、気象的に長期の無降水継続頻度の大きい地域であるので、総合的水収支からみた干ばつの危険性が大きいので、この点は充分の注意を要するところであろうし、臨海部ではこのような場合に河川道の塩水の逆上がとくに著しく問題になつてくる。

この地区における水位観測井は、①三佐、②萩原の2地点にもうけられたが、そのストレーナー位置は①深度111~126mの礫および砂礫層、②深度90~112mの礫および砂礫でありいずれも洪積に属す被圧第2帯水層に相当する。地下構造調査結果で①地点井戸は  $Cl^-$  濃度が高く、また総合水質成分は一般の地層水と較べて特異性がある。②地点井戸は  $Cl^-$  濃度が低いが着色性の地下水であり、①地点井戸と多少その水質を異にするようである。



第19図b 大分・鶴崎地区三佐地点井戸の水位



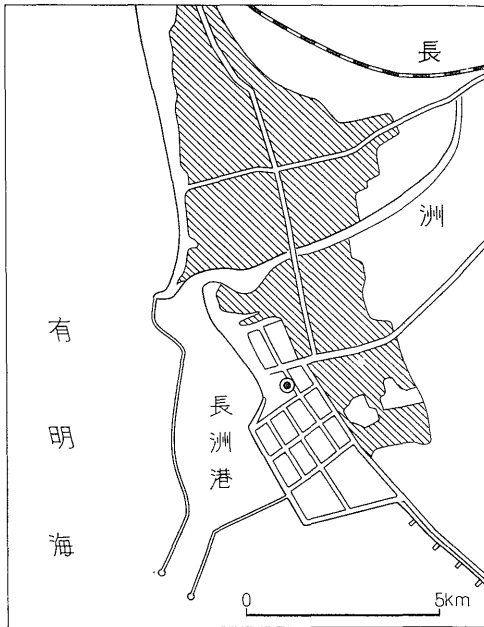
第19図c 大分・鶴崎地区萩原地点井戸の水位

水位観測の結果、年間水位は①・②地点井戸とも夏高冬低型であり、後述の①地点井戸水位を調和解析の結果、年間平均潮汐振巾値に較べて、年間平均水位振巾値の方がやや大きいことからみて、年間水位の周期変動は潮汐影響に加えて気圧変動量も影響している。なお②地点井戸では前年で疑似的に周潮振巾よりも大きな半年周期振巾があるようだが、後年では認められない不規則なものであることから、半年周期分潮による影響とするよりも夏季過剰揚水の影響による水位低下とみた方が妥当であろう。なお日間周期分潮影響による水位の振巾はかなり減衰されているものの、両井ともほぼ同値ではつきりと認められることから距離的な多少の違いはそれほど大きな影響度を示していない。

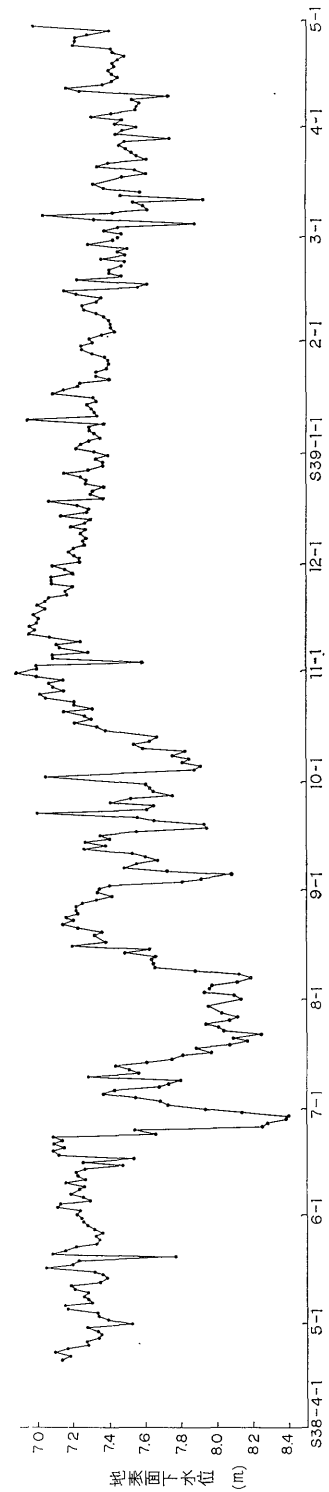
		大陰半 月周期	大陰月 周期	日月合成 半月周期	太陽年 周期	太陽半 年周期
		<i>Mm</i>	<i>Mf</i>	<i>Msf</i>	<i>Sa</i>	<i>Ssa</i>
<i>H</i> (振巾)	Tide 三佐遠見検潮所	6.28	6.08	3.64	10.40	5.72
	Well 三佐水位観測井	3.09	4.59	2.25	14.72	7.07

上表は昭和39年4月1日から1年間の期間における①地点井戸の水位記録データと三佐字遠見検潮所における潮汐データをダウイン法によつて同時的に調和解析し常数值を算出したものであるので、データ期間が少ないために生じる誤差や、その他の誤差は両者同率であるために常数值を比較する場合の精度は高い。

これから *Mm*・*Mf*・*Msf* の振巾常数值は、各周潮でその影響度は異なるが、いずれも水位の方が2～5割方値が小さいので減衰しているものと云えるが、*Sa* および *Ssa* は逆に水位振巾常数值の方



第20図 a 有明・長洲地区水位観測井位置図



第20図 b 有明海・長洲地区長洲港地点井戸の水位

が大きい。 $Sa$ では内陸側から涵養源水量の変動、 $Ssa$ では夏季過剰揚水による水位低下がそれぞれ、周潮影響振巾に合成されていることを裏付けるものである。

#### 4.18 有明海長洲港地区

この地区の臨海平野部の地質は、後背に急向配で存在する古第三系上にほぼ水平に第四系が堆積しているが、多くの既存深井戸は第一帯水層(深度 30~36m)、第二帯水層(深度 50~60m)と第三帯水層(深度 75~85m)から揚水しており、中でも第三帯水層は有力視されている。地下構造調査の井戸は長洲港に面した地点に一井もつけられ、新規の第三帯水層とみられる深度118~133mの砂礫層に孔明し揚水試験を行なったが、その結果非常に大きな透水性を有し、かつ豊かな供給源を背景にもつために、その揚水量も大きかつたが、年平均水頭は-8m前後で海水準よりかなり低いことは注意する必要がある。この井戸での水位観測結果は、これに加えて海岸からの距離が近いために日間周潮影響による日間の平均水位振巾値も非常に大きく記録されているが、初期の観測井であつたために適切な指導ができなくて、長周期的変動に関して種々綿密に検討しえる資料には残念ながら得なかつた。しかし水位グラフ(第20図b)を巨視的にみた場合、夏季の過剰揚水影響による水位低下ははつきり認めることができる。

### 5. 総 括

2の初めで説明したように、深層被圧面地下水の水位変動に影響をおよぼすものに、種々の原因が有るが、これら水位観測結果からみても臨海平野部被圧性地層水での基本的な要因として周期潮・揚水・気圧の3つの変動量が挙げられる。沖積扇状地の自由面地下水源は場合によっては圧力地下水が地殻の裂目を通つて上方に浸出する場合もあるが、一般には山麓からの地表流去水、灌漑水および降水などが透水性の良い地層から浸出することによつて水位変動に作用するし、この時の水位の位相差はあまり大きくならない。しかしながら被圧面地下水層の場合でも、井戸施工が不完全で常時孔口から漏水をうけ局部的に影響されるもの以外に、内陸側上方が開放しているものは、直接的降水影響がある。これら以外の場合で降水変動と位相差がなく比例した水位性状を示すものは、降水変動と比例関係にある気圧変動に影響されているものと考えられる。

深層の被圧面地下水は、その水質分析結果から数10万年前のもので、その補給水も1,000年位以前のもので云われており、新潟地区のガス水や大分地区の温泉水などは、はつきりこれに類するものと云えるが、臨海平野

部の被圧面地下水井戸では一般に地下水に依存する工場が多く、これらによる大量揚水のために生じる水位低下のため、涵養源水の補給が不足する結果、海水の浸入をまねいている状態にあり、この場合に混入する海水の年代はそう古いものではないと思われる。

水位観測結果から、水位と気圧変動とは相関性をもっているものが、周潮および揚水影響をあまり受けていない水位観測井において比較的鮮明に認められる。Jacobは気圧の変化に対する井水位の変化の比をB、潮汐の変化に対する井水位の変化の比をCとした場合、 $B+C=1$ の関係のあることを明らかにしているが、一般的気圧変動の性質からして、時間の変動が小さいために、日間の水位変動は周潮影響が強く認められる地域でも、日間・月間の水位変動では周潮影響よりも気圧変動による影響の方が強く表われる場合もあり、同地区における短周期潮影響・長周期潮影響の減衰率は普通比例的である。

17地区35井の水位観測結果から、年間の水位変動傾向をみた場合、年周期性をもつものは夏低冬高型と夏高冬低型に区分でき、夏低冬高型の長周期変動をする水位性状の多くは夏季過剰揚水によるものとみられ、長周期分潮の調和常数值よりはるかに大きい振巾をもっているが、これは有明長洲地区井戸・西条・壬生川地区の1号井と2号井・福山地点井戸・西播地区川崎炉材地点井戸・桑名城南小学校地点井戸・東駿河湾地区明電舎地点井戸などにみられる1)夏季に急激な低下を起こすものと、東播地区①②地点井戸・豊橋地区井戸にみられる2)正弦的なものとに区別されるが、これらの原因については(a)地層の透水性、(b)地下水の包蔵量、(c)地点的揚水量と井戸密度などが複雑に関連性をもつことが考えられ、第1表および第2表から種々検討しても一概には明瞭な判断はできないし、水位観測井中で夏低冬高型の年水位変動値においてダウイン法によつて得た調和常数值について太陽半年周潮振巾値と水位の半年周期振巾値を比較して、水位振巾値の方が小さく他の周期影響も認められない井戸では、減衰した潮汐影響のみで過剰揚水の影響はないか、もしあつても小さいものと判断できるし、水位振巾値の方が大きければ、過剰揚水影響が複合しているものと考えられる。後者は季節的涵養源水と太陽年周潮の影響による変動とがみられるが、太陽年周潮振巾は各港湾地点で地形の違いによる差があつて、そう大きなものではなく、しかもこれは水位に対して減衰して影響するためにさらに縮小するはずであるが、実際は周潮振巾値と較べて大きい地域が数地点あり、これらは季節的涵養源水変動の影響が複合したものと考えられる。また日間周潮の認められる地区では当然長周期潮影

響もあるものと思われるが、これが水位記録上はつきり認められない地区では、夏季過剰揚水影響と複合相殺され消去されているものと考えられる。

18 地区 35 地点井戸の水位観測結果から潮汐影響が他の要因影響でかく乱されないものや、攪乱されていても周潮影響が卓越しているためにはつきり認められる地区の井戸は、ほとんど瀬戸内海沿岸に集っている。この背景となる海象についてみてみると、短周期潮振巾は、外洋から明石海峡まで約 1/3 に急減するが、これを通過後は備讃瀬戸から備後灘にかけて逆に増大してくることが解っている。

このような海象状態に比例して観測水位の周潮影響振巾値も瀬戸内海の中中部と西部がとくに大きく、全体的に瀬戸内海沿岸の大潮差および小潮差は他地域の各港湾に比較して非常に大きな値である。またこの内海各海特有の自由振動周期作用によつて、海域的に半日潮系の定常値を成長させるために、日周潮系との間に差異を生じたり、日潮不等を起こすところもあり、神戸から播磨一帯にかけては、日周潮位が低い高潮および高い低潮がほとんど消滅した一日一回潮が卓越しており（神戸気象台、1967）、この地域の臨海平野部被圧面地下水の井戸水位もこれに影響をうけている。

水位に対する潮汐の影響度と各水位観測井ストレーナー一部の  $\text{Cl}^-$  濃度との相関性をみた場合に必ずしも比例性はないが、瀬戸内海沿岸地域に限つては、潮汐影響度および  $\text{Cl}^-$  値がともに大きいという地域性が一般にあり、比例的であるが、 $\text{Cl}^-$  含有量が増大し海水成分量に近い値になるほど潮汐影響度が増し、各地区の水位振巾値もその港湾区の同期周潮振巾値に近づいてくる。しかしながらその漸近度は、各地区帯水層の構造形態の特質の相違によつて異なつてくることはもちろんである。

一般的に  $\text{Cl}^-$  濃度は内陸側の涵養源の水勢と潮汐ポテンシャルの優劣によつて左右されるものと思われるが、この他の例として、鹿島地区井戸のように難透水性地層中から強制的な揚水試験実施中の動的な水質と、水位観測中の静的な水質が異なるものと推定され  $\text{Cl}^-$  濃度が高いのに反して潮汐影響のないところ、東播地区近江網紙地点井戸の水位のように鹿島地区とは逆に潮汐影響を強く受けているのに  $\text{Cl}^-$  濃度は微小であるために、地下構造的に帯水層が海に開放されていないで、地層が海水重量によつて弾性的に作用しているのではないかと推定されるところ、新潟地区井戸のように化石塩水のために  $\text{Cl}^-$  濃度が高いが潮汐影響がないところなどがある。また東駿河湾地区では、後背火山帯地熔岩の気泡または裂口中を浸出する夏季多・冬期少の季節的変動をする降水

に影響され涵養源水変動もこれに比例的であり、年間において、 $\text{Cl}^-$  濃度は海水と内陸側涵養水源変動とがバランスするために、はつきりと比例的な変化をしている。

以上のように、これまで地質調査所地下構造グループで行なわれた各地区臨海工業地帯被圧面地下水井戸の水位観測のデーター収集と、その研究成果について報告したが、個々において深く立入っていないで、ごく大筋的に、また単なる傾向として推論している点も多いし、今後、未発表の 7 地区 10 観測地点井戸水位について解析研究するとともに、この報告中の観測井水位データーについてもさらに突こんだ詳細な究明を行なつていく予定であり、その結果訂正されるべきところもまた、少なくないものとする。

（昭和36～41年調査）

#### 文 献

- 安藤善之助（1934）：海潮の干潮と井戸の水位変化，土木工学，vol. 3
- 地下構造調査グループ（1960）：伊勢湾北部地区地下構造調査報告書，地質調査所，p. 75～81
- 地下構造調査グループ（1960）：富山地区地下構造調査報告書，地質調査所，p. 70～73
- 地下構造調査グループ（1960）：豊橋地区地下構造調査報告書，地質調査所，p. 72～76
- 地下構造調査グループ（1960）：堺地区地下構造調査報告書，地質調査所，p. 11～13，p. 121～124
- 地下構造調査グループ（1960）：徳島地区地下構造調査報告書，地質調査所，p. 79～84
- 地下構造調査グループ（1960）：有明海長洲地区地下構造調査報告書，地質調査所，p. 120～127
- 地下構造調査グループ（1961）：仙塩地区地下構造調査報告書，地質調査所，p. 75～79
- 地下構造調査グループ（1961）：鹿島地区地下構造調査報告書，地質調査所，p. 6～7
- 地下構造調査グループ（1961）：木更津地区地下構造調査報告書，地質調査所，p. 5～31，p. 67～70
- 地下構造調査グループ（1961）：福山・笠岡地区地下構造調査報告書，地質調査所，p. 23～24
- 地下構造調査グループ（1961）：西条・壬生川地区地下構造調査報告書，地質調査所，p. 8～12，p. 84～88
- 地下構造調査グループ（1962）：桑名・四日市地区地下構造調査報告書，地質調査所，p. 107～110
- 地下構造調査グループ（1962）：東播地区地下構造調査

- 報告書, 地質調査所, p. 67~68
- 地下構造調査グループ (1962) : 周南地区地下構造調査報告書, 地質調査所, p. 95~99
- 地下構造調査グループ (1962) : 大分・鶴崎・杵築地区地下構造調査報告書, 地質調査所, p. 122~127
- 地下構造調査グループ (1963) : 新潟東港地区地下構造調査報告書, 地質調査所, p. 141~146
- 地下構造調査グループ (1963) : 東駿河湾地区地下構造調査報告書, 地質調査所, p. 104~110
- 地下構造調査グループ (1963) : 西播地区地下構造調査報告書, 地質調査所, p. 26~29
- 神戸気象台 (1967) : 潮汐・潮流および高潮, 神戸気象台彙報, no. 177
- 中野猿人 (1940) : 潮汐学, 古今書院
- 野満隆治 (1940) : 海岸地下水の研究 (第3報) その二・潮汐と地下水位, 地球物理, vol. 4
- 小河原正己 (1950) : 時系列の有意性検定法について, 中央気象台・研究時報, vol. 1, no. 15
- 酒井軍治郎 (1965) : 地下水学, p.224~250, 朝倉書店