

防府平野の浅層地下水と水収支

湯原 浩三*

Shallow Ground Water in Hohu Plain
and its Water Balance

By

Kozo YUHARA

Abstract

Water level distribution of shallow ground water in the Hohu plain, Yamaguchi prefecture has been cleared from the hydrological observations of about 400 shallow wells, and is shown in Fig. 6. In the central part of the plain, we have found a low level region of the ground water, the extent of which is about 3 km². This region must be resulted by a great quantity of discharge through the large wells for domestic and industrial uses.

Chlorine ion contents in the ground water have also been investigated, and they are generally small as shown in Fig. 7. It means that the sea water intrusion is, in the present stage, not so important problem for the Hohu plain.

Annual variations of the ground water level were observed in some wells in the central region, and the amplitude is large in the northern well and small in the southern well, but the time lag of the variations was not so appreciable. Pumping test of the discharge well gave the coefficient of permeability of the aquifer as 0.26~1.6 cm/sec and the coefficient of storage as 10⁻³~10⁻².

Fig. 12 shows a profile of ground water level along a line A-B in Fig. 6. Here we can find the variation tendency of the level around the discharge well from 1962 to 1965. If we suppose the initial water level profile before the start of the discharge, we may come to a supposition that there was an outcrop of ground water at Jishindo, and this may coincide to the historical fact that there was a small pond.

From the quantitatively considerations on the water balance of the shallow ground water, we can summarize that, in 1965, the recharge to the ground water was 53.35×10⁶ m³ per year from the Saba river, 2.00×10⁶ m³ per year from irrigation ditches, 1.23×10⁶ m³ per year from the rain directly, and the discharge was 41.23×10⁶ m³ per year for the industrial use, 7.29×10⁶ m³ per year for the domestic use, and the rest, 1.00×10⁶ m³ per year, was stored in the aquifer to result in ascending the ground water level about 25 cm.

Finally, a numerical relation among the discharges and the recharges was introduced as follows,

$$Q=62.9l+0.78p$$

where Q (10⁶ m³) is the maximum discharge per year, l (m) the annual mean water level of the Saba river at Shimbashi, p (m) the total precipitation per year. It will be useful to control the maximum discharge in order to avoid an excessive lowering of the ground water level.

* 国立防災科学技術センター流動研究官, 応用地質部併任

要 旨

昭和41年2月から3月にかけて、防府平野の浅層地下水の調査を行なった。地下水位は全般的には北東部の山麓が高く、ほぼ地表面に平行に海に向かって低くなっている。防府平野の中央部には縦横約3kmのほぼ正方形の地下水位の低いところがあつて、これは、その中にある市営の上水道や工業用水源の各揚水井からの揚水のための水位低下であることが、いろいろな点から確められた。この正方形の地下水位の低い地域と海との間には、数年前までの自噴地帯に対応して、やや水位の高い所がある。

防府平野全体としては地下水中のClイオンは少なく、海水による汚染はないが、海に接したところではわずかながら海水侵入のおそれがある。

地下水位の経年変化からは、昭和39年10月に工業用水源が新設されてから周辺地下水位の低下が顕著になつたことがはつきりいえる。年変化は上流から下流に向かつて、振幅は急速に減少するが、位相の遅れはほとんどなくて、いずれの井戸でも夏水位が高く冬低い。いろいろな点から検討を加えた結果、この年変化は佐波川水位の

年変化に直接影響されているよりも、むしろ、灌漑用水路や雨からの浸透量の季節的変化に影響されていると思われる。

佐波川より海にかけて1つの断面をとり、昭和37年7月の水位、38年、39年、40年の2月の水位のプロフィールを描いてみると、地神堂上水道水源を中心にこの付近の地下水が円錐形状に低下しており、この低下が37年から40年までは毎年数10cmから1m以上にまでおよび、40年2月までの間には若干上昇していることがわかる。これから、この付近に揚水井がまつたくなかつた当初の地下水位を推定すると、地神堂付近に不圧地下水の露頭があつたことになり、昔そこに湧水があつたという話をうまく説明できる。また、浅層の地盤構造と組み合わせると、海岸近くの被圧地下水の存在や、その水頭が不圧地下水水位の低下とともに低下してきたことも説明できる。

工業用水源井を利用して行なつた揚水試験から求めると、防府平野の地下水層の透水係数は0.26~1.6cm/sec、貯留係数は 10^{-3} ~ 10^{-2} 程度である。

防府平野中央部の地下水の水収支について定量的な考察を行なった結果を要約すると、たとえば昭和40年度で



第1図 防府平野
Hoku plain, Yamaguchi prefecture

防府平野の浅層地下水と水収支 (湯原浩三)

は、直接佐波川から $5,335$ 万 m^3 の水が防府平野の地下水に供給され、そのうち $4,123$ 万 m^3 が川の近くで鐘紡と協和醸酵の工業用水として汲み出され、残り $1,212$ 万 m^3 と用排水路から浸透する量 200 万 m^3 、雨からの直接浸透量 123 万 m^3 を加えたものから、市上水道として 629 万 m^3 、市営工業用水として 706 万 m^3 、その他一般使用量 100 万 m^3 を差引いた残り 100 万 m^3 が防府平野中央部に貯えられ、平均 25 cm の地下水水位の上昇をもたらした。昭和39年度は差引が 454 万 m^3 もマイナスになり、地下水水位が 115 cm も低下し、昭和38年度は 116 万 m^3 のマイナスで 29 cm の地下水水位低下をまねいたことになる。

地下水水位を現状以下に下げない範囲で地下水から揚水することのできる最大量 Q を算出する式が考案された。これによると、雨の少ない年の例として、 $Q=4,827$ 万 m^3 、雨の多い年の例として、 $Q=5,817$ 万 m^3 となる。こ

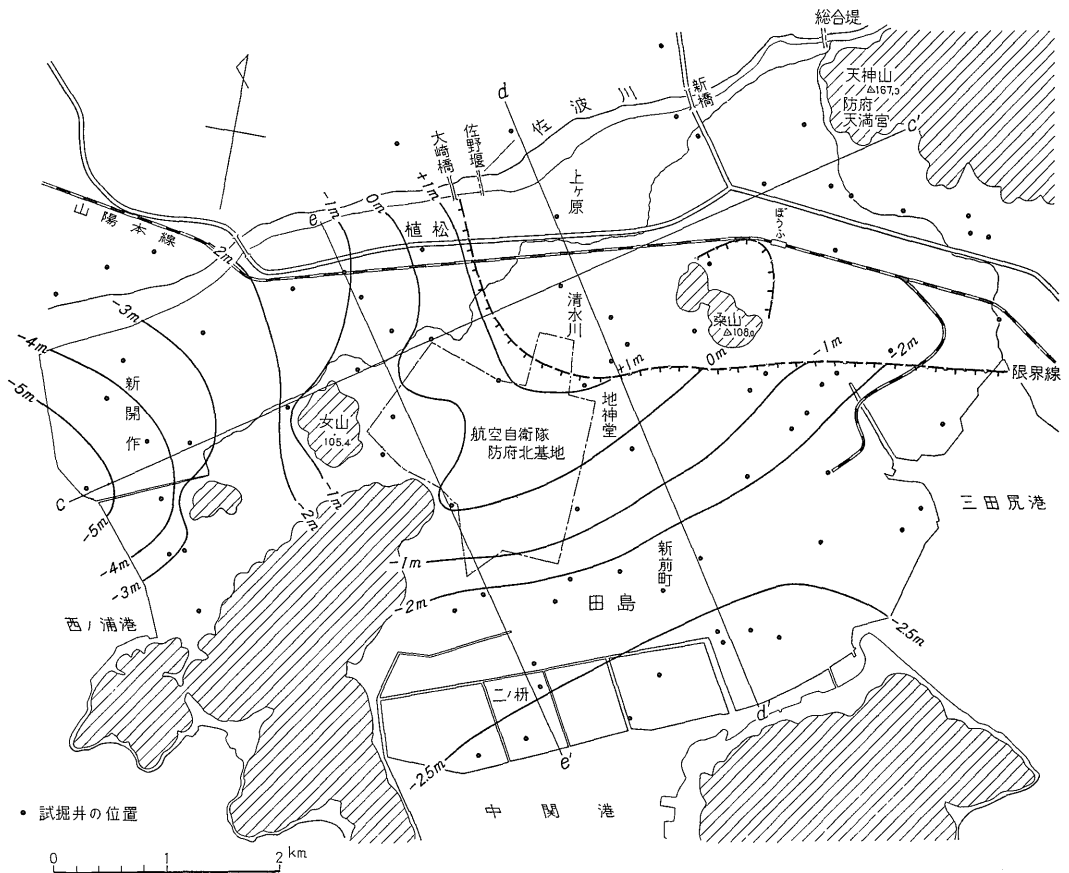
の程度が防府平野中央部からのいわゆる安全揚水量である。もし、この揚水量以上に揚水したときは、 400 万 m^3 の過剰揚水は平均 1 m の年平均地下水水位の低下となつてあらわれる。

地下水水位の低下がさらに大きくなると、海水が陸地に侵入しやすくなり、ひいては地下水の海水による汚染という重大事態を招来するおそれがある。ゆえに水源を防府平野中央部の地下水に求める限り、上述の安全揚水量を守ることが大切である。

1. 緒言

防府市の周辺に広がる防府平野は主として佐波川によつて形成された沖積平野であつて、西方の河口付近や南方の三田尻港・中関港に面したところは人工的に干拓されてきたものである。(第1図)

防府平野は従来から比較的地下水の豊富な所であつ



第2図 防府平野シルト層の上限
Contour map of the upper limit of the silt layer regarded as an aquiclude (m, m.s.l.)

て、古くからある民家の井戸は地下1~3m程度のも
のが多い。また南方では海岸より1kmほどの所に地下
水の自噴する地域があつた。

このような水の豊富さのために、近年は工業地帯とし
て発展しつつあり、すでに鐘紡、協和醸酵等が操業して
いる。これらの工場は、佐波川の伏流水や佐波川近くの
地下水を汲み上げており、市でも、防府平野のほぼ中央
にある自衛隊飛行場内に工業用水源を設けて地下水を揚
水している。また、防府市の下水道でも、市街地の西部
から平野の中央部にかけて、いくつかの水源井を設けて
地下水を揚水していて、これらの地下水揚水量は昭和41
年2月現在154,000 m³/dayに達している。

ところが、防府平野の民家の井戸では、近年水位の低
下が目立ちはじめ、昭和39年10月に市営工業用水源が揚
水をはじめてからはそれがとくに著しいといわれている。

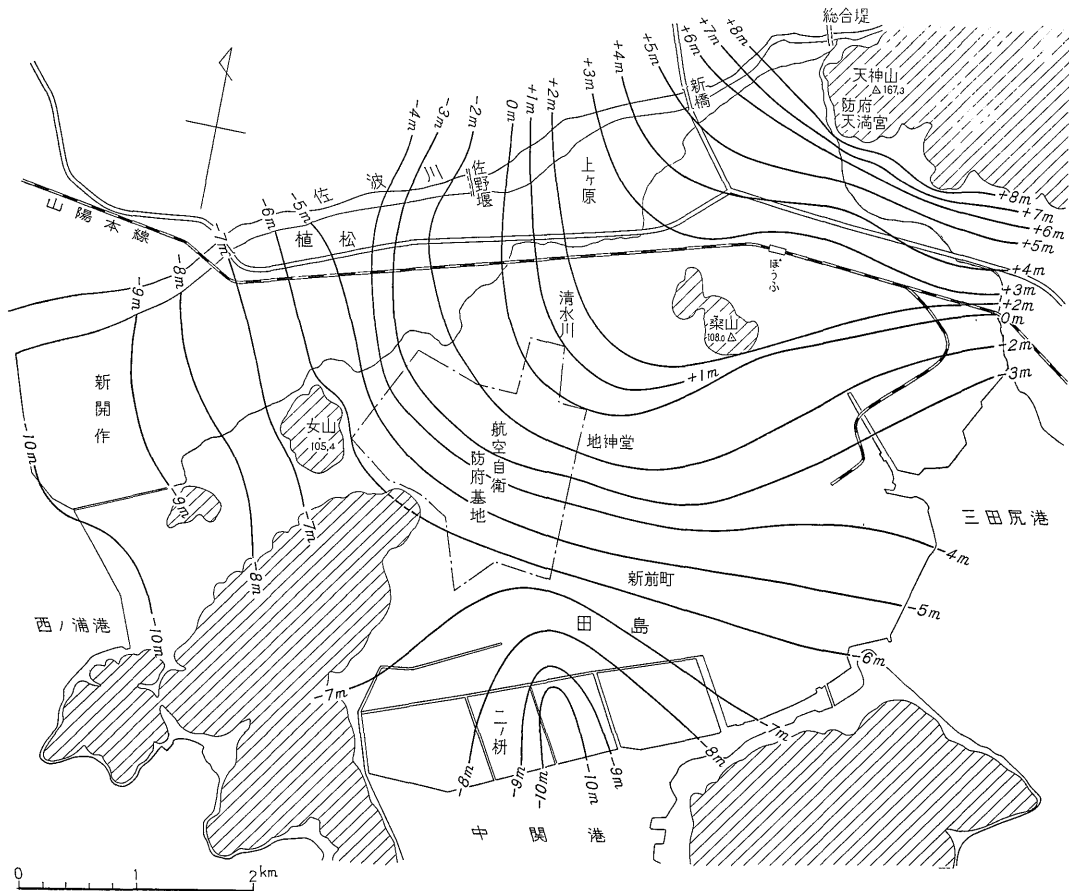
このような状況のもとで、防府平野の地下水の実体と

流動状況を把握し、近年の地下水位の低下が揚水井の影
響であるか否かをつきとめ、さらに、地下水の賦存量お
よび開発可能量とそれに対応する地下水位の低下を予想
し、水資源の適切な開発に資するための総合的な調査を
行なつた。

この報告をまとめるにあつては、防府市役所の関係
各課や鐘紡、協和醸酵の各工場などで、従来から観測さ
れていた資料を存分に利用させていただいた。また、今
回の調査活動に絶大な御協力をいただいた防府市役所企
画室の各位に深く感謝するしだいである。さらに、この
調査研究にあつては、地質調査所産業地質課の尾原課
長はじめ、渡辺・安藤・相原・小鯛各技官の御支援をい
ただいた。ここに併せて感謝の意を表する。

2. 防府平野の浅層地質

防府平野については昭和38年以降地質調査所が、沖積



第3図 防府平野砂礫層上限

Contour map of the boundary between the silt layer
and the under sand layer (m, m. s. l.)

防府平野の浅層地下水と水収支 (湯原浩三)

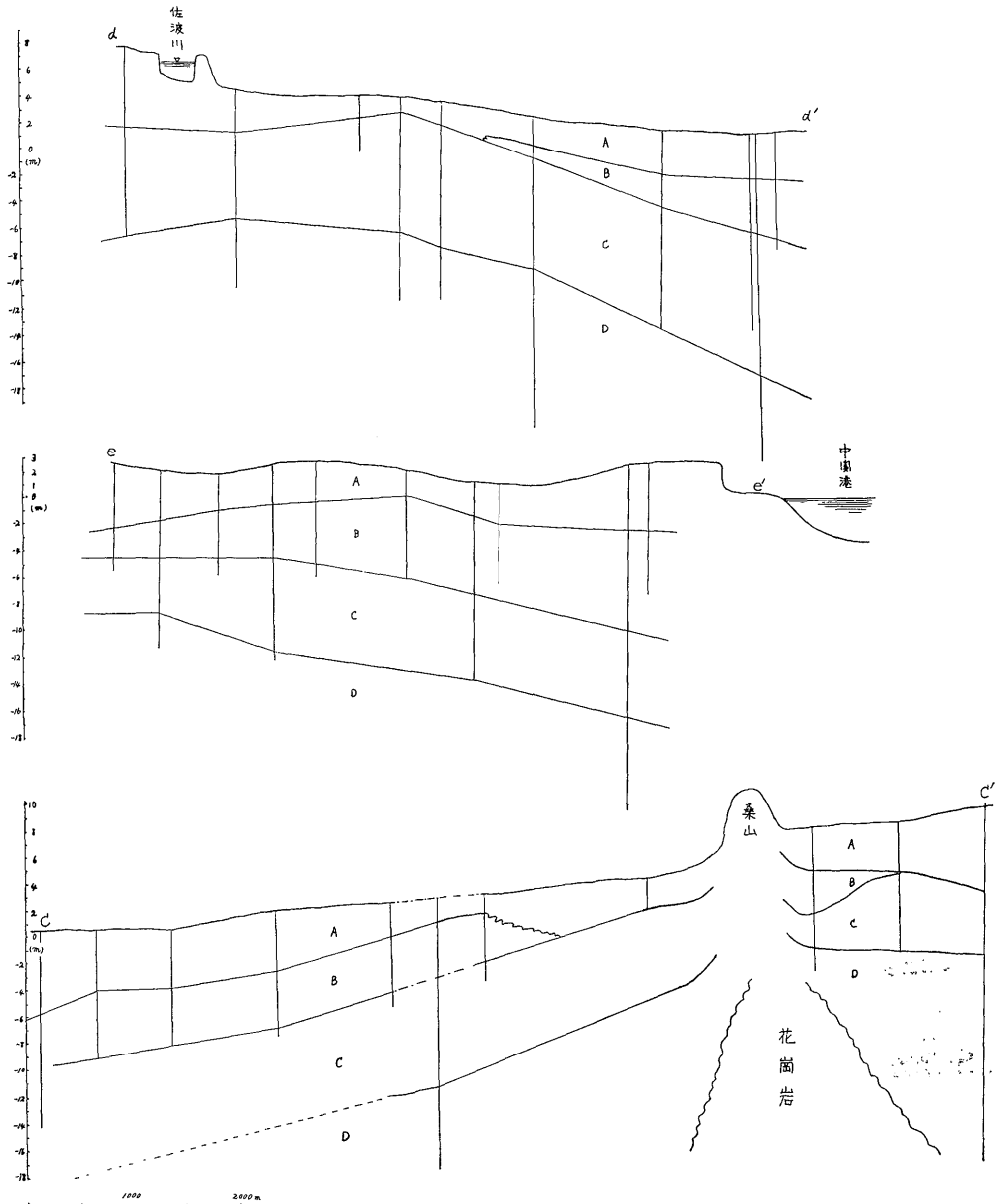
地の地下構造を調査するため、多くの浅いボーリングを行なっている²⁾。これらとその他の資料を併せると、合計68井で柱状図が得られていて、小鯛²⁾はそれらをもとにして防府平野の浅層地質を詳細に検討した。

それによると、防府平野の冲積層は上から下へA, B, C, D, の4層に区分される。

A層 層厚2.3~4.7 mで一様に分布し、粘土または粘土混じり砂であつて、標準貫入試験のN値は3から6

の値をとるところが多い。

B層 平野の北部地域にはみられないで、中部以南にみられ、海岸に近くなるにつれて厚く、いわゆる舌状に堆積しているシルトまたはシルト質砂層であり、局部的に透水性のよいところもあるが、全体的には不透水層または難透水層とみなすことができる。層厚は2.5~5.5 m, N値は小さい。第2図は柱状資料の分布図と、B層上限の等値線図である。



第4図 防府平野浅層地質断面図
Sectional figures showing soil system of Hoku plain

C層 B層の下には砂礫層があるが、そのうち電気検層層によって透水性が大きいと推定された部分をC層とした。これは空隙の多い砂礫層であつてN値も35~50と大きい。層厚は5.3~8.7m、層全体としては平均約1/200の勾配で海の方に傾いている。B層の下限すなわちC層上限の等値線を示したものが第3図である。

D層 C層の下のそれよりもやや締つた褐色の粘土質砂礫層をD層とした。この下限が沖積層と洪積層の境界と考えられ、その深さは28~30mと推定されている。

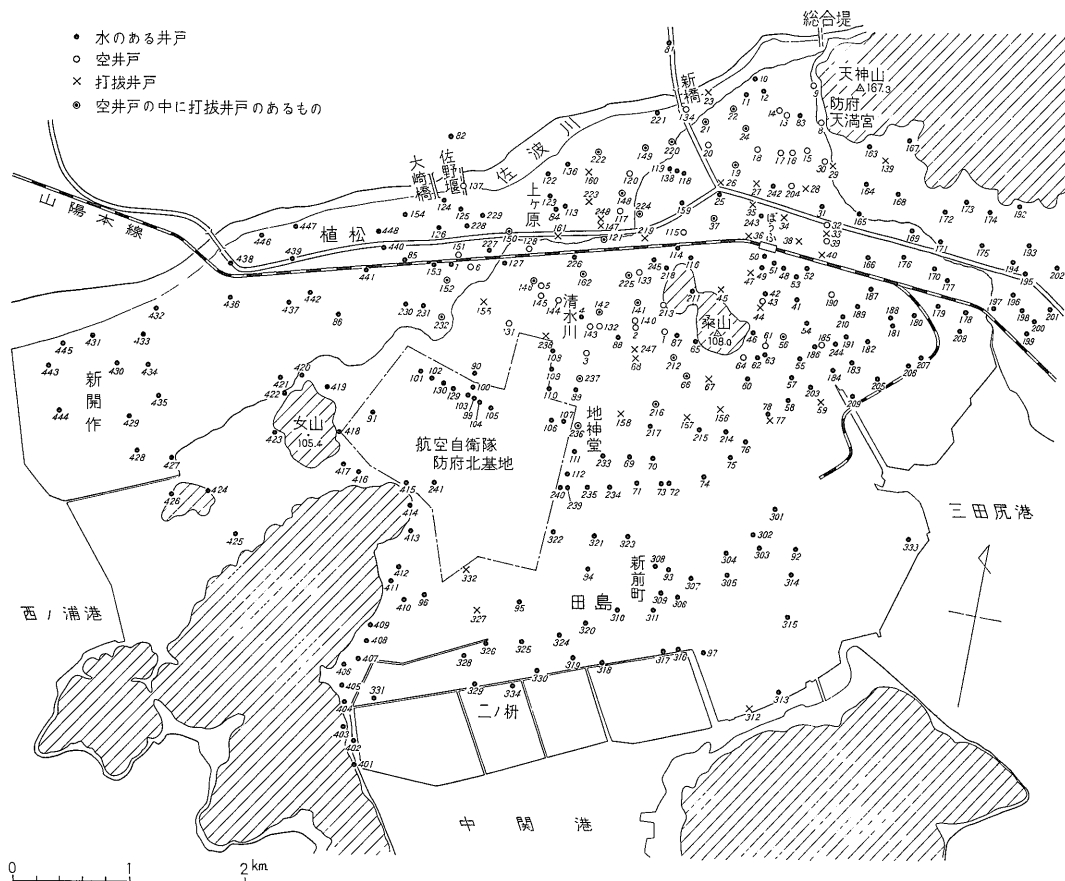
以上の各層の重なりかたを、第2図のc-c', d-d', e-e', に沿つて断面図で示したものが第4図である。

3. 防府平野の地下水位分布

昭和41年2月18日から3月1日にかけて約400の浅井戸の水位測定を行つた。測定位置は第5図に、測定結果は第1表に示す。表中井戸所在地の地面標高は防府市役所発行3千分の1地形図から読み取つたものであつて、

所によつては、井戸所在地の真の標高とは数10cmのちがひがあるかもしれない。しかし、地下水位の全体的な傾向をみるためには、この程度の精度で充分である。調査した井戸の中には、すでに水が涸れてしまつていものがかなりあつた。これらのもの水位は井戸底の深さよりも深いわけであるから、表中には不等号を付して記入した。

第1表の値から地下水位分布図を描くと第6図が得られる。地下水位は北東部では山麓が高く、ほぼ地表面と平行して三田尻港に向つて低くなつてい。地下水面の傾斜はここでは約1/100である。佐波川に沿つては、やはり、宮市から河口の新開作までしだいに低くなつていけれども、地下水面の傾斜は約1/1000で前記北東部に比してはるかに小さい。防府平野のほぼ中央部には、縦横約3kmのほぼ正方形の地下水位の低いところがあつて、その中には上水道地神道水源、工業用水源の各揚水井が含まれてい。この正方形の地下水位の低い



第5図 防府平野井戸分布図
Wells observed in Hoho plain

防府平野の浅層地下水と水収支 (湯原浩三)

第 1 表 防 府 地 下 水 資 料

Well data in Hohu plain

記号説明 ● 水のある井戸 ○ 空井戸 ◎ 空井戸の中に打抜井戸のあるもの × 打抜井戸

井戸番号 No.	所 有 者 Name	地面標高 Height (cm)	分 類 Classification	地下水位 Depth of ground water level (cm)	水面標高 Height of ground water level (cm)	地下井底 Depth of well bottom (cm)	Cl (ppm)	測定日時 Date	備 考
1	山 中 新 平	470	○	>281	<189	281		2/19 10.00	
2	町 田 理 一	455	○	>269	<186	269		// 10.20	
3	岡 村 東 一	400	○	>258	<142	258		// 10.40	
4	市 (清水川)	450	●	355	95			// 11.00	
5	岡沢医院前防火用水	390	○	>243	<147	243		// 11.20	
6	河 村 繁 夫	470	○	>174	<296	174		// 11.40	
7	渡 辺 修 央	470	●	(≧175)	312	178	44	// 12.00	
8	清 水 浩 一	1050	○	>462	<588	462		// 13.40	
9	山 本 浩 一	1080	○	>395	<685	395		// 14.00	
10	内 田 天 往	980	●	296	684			// 14.20	
11	栗 本 満	970	●	251	719			// 14.40	
12	日本果実工業	990	●	362	628			// 15.00	
13	田 中 正 雄	1010	○	>362	<648	362		// 15.20	
14	友 広 信 之	1010	○	>353	<657	353		// 15.40	
15	安 村 虎 助	1000	○	>427	<573	427		// 16.00	
16	上 原 豊 三 郎	970	○	>333	<637	333		2/20 10.00	
17	河 村 成 明 彦	910	○	>347	<563	347		// 10.10	
18	高 瀬 博 一	900	○	>224	<676	224		// 10.20	
19	藤 井 広 一	820	◎	>275	<545	275		// 10.30	
20	田 中 清 次	810	○	>247	<563	247		// 10.40	
21	大 村 朝 雄 哉	840	◎	>232	<608	232		// 11.00	
22	橋 本 隆 宮 跡	910	◎	>300	<610	300		// 11.10	
23	防 長 崎 龜 次 小 学 校	940	×					// 11.00	
24	長 崎 龜 次 小 学 校	890	◎	>262	<628	262		// 11.30	
25	佐 波 小 学 校	820	●	379	441			// 12.00	
26	宮 内 峯 義 作	770	×					// 14.00	
27	山 田 豊 作	830	×					// 14.05	
28	伊 藤 操 雄	880	×					// 14.15	
29	中 光 恒 雄	1150	×					// 14.25	
30	兄 部 次 郎	1010	○	>380	<630	380		// 14.35	
31	原 田 勝 吉 一	920	●	97	823			// 14.37	
32	長 嶋 村 富 美 子	930	○	>441	<489	441		// 14.55	
33	西 山 田 富 美 子	910	×					// 15.00	
34	山 田 恭 治	860	×					// 15.10	
35	斎 藤 義 信	810	×					// 15.20	
36	倉 重 電 器 店	770	×					// 15.30	
37	倉 本 日 出 郎	720	◎	>311	<409	311		// 15.35	
38	倉 橋 一 郎	820	×					// 15.45	
39	吉 末 悦 助 也	850	○	>408	<442	408		// 15.55	
40	栗 本 雅 也	840	×					// 16.00	
41	柳 節 陽 勇	830	●	442	388			// 16.10	
42	磯 辺 村 正 一	820	●	110	710			// 16.20	
43	石 藤 正 一	820	○	>437	<383	437		// 16.30	
44	伊 藤 清 梧	810	×					// 16.35	
45	佐 久 間 梧	630	×					// 16.40	
46	栗 本 龜 次 郎	1280	●	1145	135			// 16.55	
47	濱 本 豊 造	670	×					2/21 10.50	
48	宝 酒 造	800	●	487	313			// 11.00	
49	宝 酒 造	800	●	488	312			// 11.00	
50	宝 酒 造	800	●					// 11.00	

地質調査所月報 (第 18 卷 第 8 号)

井戸番号 No.	所有者 Name	地面標高 Height (cm)	分類 Classification	地面下水位 Depth of ground water level (cm)	水面標高 Height of ground water level (cm)	地面下井底 Depth of well bottom (cm)	Cl (ppm)	測定日時 Date	備考
51	宝酒造	800	●	471	329			2/21 11.00	
52	まき地		×					// 11.30	
53	ちまきや	840	●	601	239			// 11.30	
54	朝日製	750	●	640	110			// 13.50	
55	英雲水	320	●	(474)	(154)			// 14.15	
56	村田肇	740	◎	>381	<359	381		// 14.30	
57	西山法	385	●	234	151		37	// 15.00	
58	山下勘	300	●	72	228			// 15.10	
59	山西村	200	×				63	// 15.30	
60	田中貞子	340	●	66	374		45	// 15.45	
61	江山村	720	○	>658	< 62	658		// 16.00	
62	清水本	700	●	565	135		47	// 16.10	
63	清登代	650	●	613	37		28	// 16.20	
64	清鹿里	700	○	520	180			// 16.45	
65	近森宗介	580	●	465	115		45	// 17.00	
66	吉田喜平	375	◎	>188	<187	188	21	// 17.15	
67	木原初	360	×				19	// 17.35	
68	山根政	400	×				16	// 17.40	
69	古谷久米	255	●	103	152		26	2/23 10.00	
70	晒石消火	257	●	200	57		54	// 10.10	
71	村田実一	210	●	163	47		17	// 11.20	
72	林原孫良	200	●	158	42			// 11.30	
73	原田良	200	●	79	121		31	// 11.30	
74	永田田中	230	●	119	111		9	// 11.35	
75	田中郭子	225	●	124	101		44	// 11.40	
76	安村政人	220	●	116	104		51	// 11.45	
77	平井健一	250	×				54	// 11.50	
78	高須地蔵	330	●	218	112			// 12.00	
79	I 1	1382	●	168	1214	15			
80	I 2	1166	●	115	1051				
81	I 3	950	●	230	720				
82	I 4	756	●	20	736				
83	II 1	980	●	213	767				
84	II 2	430	●	181	249				
85	II 3	286	●	75	211				
86	II 4	202	●	60	142				
87	III 1	451	●	235	216				
88	III 2	358	●	143	215		12		
89	III 3	313	●	170	143		24		
90	III 4	277	●	210	66				
91	III 5	231	●	52	178				
92	IV 1	58	●	57	1				
93	IV 2	89	●	5	84				
94	IV 3	157	●	74	82				
95	IV 4	73	●	15	58				
96	IV 5	142	●	70	72				
97	V 1	64	●	自噴	>64				
98	V 2	178	●	46	132				
99	大塚打		●		-23		3/ 1	13.00	
100	大塚打		●		3				
101	工業用水 No. 1	260	●		- 24.9	900	2/26	12.00	
102	工業用水 No. 2	255	●		-170	900	//	12.00	
103	工業用水 No. 3	264	●		- 70.6	900	//	12.00	
104	工業用水 No. 4	258	●		-146.7	900	//	12.00	
105	工業用水 No. 5	265	●		-184.6	900	//	12.00	

防府平野の浅層地下水と水収支 (湯原浩三)

井戸 番号 No.	所 有 者 Name	地面標高 Height (cm)	分 類 Classification	地下水水位 Depth of ground water level (cm)	水 面 標 高 Height of ground water level (cm)	地下下井底 Depth of well bottom (cm)	Cl (ppm)	測定日時 Date	備 考	
106	地 神 道 水 源	215	●		-260	815		2/26 12.00		
107	〃	〃	●							
108	地神道打抜 1		●	285			82		2/ 4	
109	〃 2		●	216			65		〃	
110	〃 3		●	229			26		〃	
111	〃 7		●	181	58			〃		
112	〃 8		●	128	77			〃		
113	市 水 位 観 測 井 所		●							
114	市 福 田	610	●	495	115	800		2/21	{ポンプ 運転中	
115		620	○	>192	<428	192		〃 11.20		
116	市 役 所	620	●	377	243	600		〃		
117	消 防 鐘	585	○	>265	<320	265		〃		
118	鐘 紡 織 川	750	●	513	237	623		〃 11.45		
119	鐘 紡 織 川	750	●	456	294	665		〃 12.10		
120	石 川	635	○	>150	<485	150		〃		
121	須 田	535	◎	>184	<351	184		〃		
122	須 林 川	580	●	194	386	200		〃 14.35		
123	須 林 川	585	●	277	308			〃 14.50		
124	小 植 田	420	●	130	290	135		〃 15.21		
125	田 中 喜	420	●	156	264	188		2/21 15.33		
126	田 中 幸 秀	420	●	170	250	230		〃 15.45		
127	久 坪 大	370	●	211	159	213		〃 15.56		
128	久 坪 大	410	○	>240	<170	240		〃		
129	塚 打 抜		●		31			3/ 1 13.00		
130	〃		●		34			〃 13.00		
131	吉 藤 貞 佐 植	360	○	>152	<208	152				
132	永 井 永	440	○	>209	<231	209				
133	永 井 永	510	○	>213	<297	213				
134	波 川	1010	○	93	917					
135	植 松 土 手	552	●	—	—	—				
136	鐘 紡 織 川	650	●	197	453			2/22		
137	佐 波 川		○	105				2/21 15.15		
138	鐘 紡 織 川	750	●	386	364	655		〃 12.00		
139	ル リ 山 荘		×				16			
140		450	○	>150	<300	150		2/23		
141		490	◎	>307	<183	307	14	〃		
142	末 富 確	440	◎				14	〃		
143	伊 佐 江 神 社	440	○	>100	<340	100		〃		
144		390	○	>202	<188	202		〃		
145		390	○	>120	<270	120		〃		
146		410	◎	>197	<213	197	12	〃		
147	酒 藤 屋 井 洋	590	×			5 間以上	10	〃		
148		635	◎	>270	<365	2 間	12	〃		
149		690	◎	>360	<330	18~20尺	12	〃		
150	く に ひ ろ	530	◎				14	〃		
151	古 谷	420	○	>140	<280	140		〃		
152		330	●	>169	<161	5 間位	26	〃		
153		480	●	138	342	166	28	〃		
154	久 幸 小 西	380	●	99	281	232	12	〃		
155	萃 城	330	×			4 間位	19	〃 14.45		
156	マ リ フ 松 原 の 中	350	×			4 ~ 5 間	26	〃 15.05		
157	久 吉 本 公 信	265	×			5 間位	17	〃 15.15		
158	久 吉 本 公 信	260	×			5 ~ 4 間	17	〃 15.35		
159	岡 林	680	●	450 前後	230	460 前後	9	2/24		
160		630	×			19尺	12	〃		

地質調査所月報 (第18卷 第8号)

井戸番号 No.	所有者 Name	地面標高 Height (cm)	分類 Classification	地面下水位 Depth of ground water level (cm)	水面標高 Height of ground water level (cm)	地面下井底 Depth of well bottom (cm)	Cl (ppm)	測定日時 Date	備考
161		550	×			2 間	21	2/24	
162	津森忠良	470	◎	>270	<200	3 間	12	//	10. 20
163	御手洗	1700	●	247	1453		16	//	11. 10
164	佐田保一	1380	●	84	1296		188	145	//
165	有田	860	●	62	798		24	//	11. 30
166		560	●	69	491	398	52	//	11. 45
167	川里	2600	●	542	2058		17	//	13. 35
168		1200	●	42	1158		7	//	13. 50
169	田中唯	850	●	73	777		237	45	//
170	田中	650	●	58	592	160	35	//	14. 33
171		850	●	242	608	488	65	//	14. 50
172		1350	●	51	1299	421	52	//	15. 05
173	山下勇	1600	●	196	1404	448	21	//	15. 48
174	江重	1320	●	75	1245	202	40	//	16. 02
175	江中	750	●	30	720	325	106	//	16. 16
176	石丸一一人	650	●	55	595	192	47	2/25	10. 18
177	原田川又助	540	●	110	430	288	71	//	10. 28
178	大田下万一	180	●	106	74	262	31	//	10. 37
179	大村	430	●	137	293	424	35	//	10. 45
180	村田梅広	410	●	172	238	481	195	//	10. 54
181	河村龜太郎	460	●	247	213	408	26	//	11. 03
182	森次尚	450	●	316	134	356	26	//	11. 10
183	国弘直男	270	●	116	154	197	56	//	11. 22
184	淡井源	270	●	125	145	268	45	//	11. 33
185	吉川一夷	580	●	>435	<145	435	89	//	
186	宮富次郎	580	●	440	140	445	33	//	12. 03
187	本芳一	550	●	92	458	343	30	//	13. 35
188	富井上	460	●	153	307	350	44	//	13. 50
189	渡辺直	550	●	102	448	419	44	//	
190	渡辺直	780	○	>490	<290	490		//	14. 30
191	吉池村伝次	580	●	470	110	522	54	//	14. 45
192	福田活子	1250	●	136	1114	370	40	//	15. 28
193	福田信	810	●	65	745	485	63	//	15. 45
194	藤元元	610	●	114	496	202	56	//	15. 55
195	藤元義	460	●	28	432	192	113	//	16. 10
196	高原橋田	400	●	216	184	268	65	//	16. 20
197	藤本信一	250	●	32	218	153	63	//	16. 31
198	久富浦次	350	●	33	317	183	58	//	16. 50
199	中富川	330	●	106	224	579	28	//	17. 00
200	中富川	450	●	65	385	179	37	//	17. 15
201	熊谷彦治	500	●	190	310	243	51	//	17. 25
202	安谷村	710	●	60	650	360	47	//	17. 53
203	平岡仲栄	250	●	129	121	236		2/26	11. 44
204	貞国弘	850	○	>302	<548	302	16	//	10. 45
205	貞国	135	●	46	89	146	30	//	11. 05
206	鯖石屋武男	135	●	65	70	233	112	//	11. 15
207	石屋政一	130	●	80	50	306	33	//	11. 25
208	重枝市	90	●	31	59	245	17	//	11. 31
209	山田村	95	●	72	23	289	308	//	11. 45
210	山田村	760	●	525	235	582	58	//	12. 01
211	山田幸雄	1600	●	144	1456	151	24	//	13. 25
212	坪郷幸悦	390	◎	>200	<190	4 間	17	//	13. 45
213	秋田根	530	○	>413	<117	413		//	
214	河根信	290	●	153	137	241	33	//	14. 40
215	河中	260	●	152	108	192	45	//	14. 50

近くに池あり

防府平野の浅層地下水と水収支 (湯原浩三)

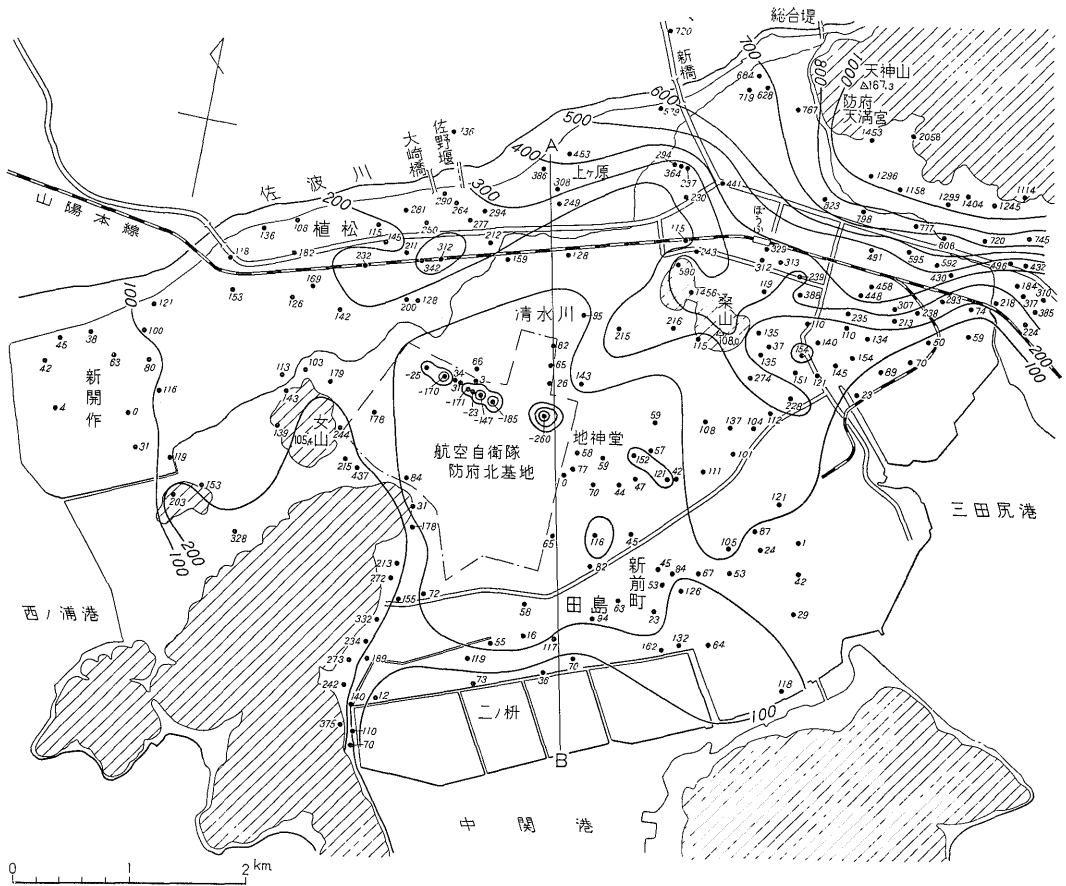
井戸番号 No.	所有者 Name	地面標高 Height (cm)	分類 Classification	地下水水位 Depth of ground water level (cm)	水面標高 Height of ground water level (cm)	地面下井底 Depth of well bottom (cm)	Cl (ppm)	測定日時 Date	備考
216	熊谷忠実	270	◎	>153	<117	153	17	2/26 15.00	
217	松沢勇進	250	●	191	59	201	12	// 15.07	
218	阿陽司	750	●	160	590	238	10	2/26 15.25	
219	山西陽品	600	×	>18尺(5.5m)	< 50		10	//	
220	西川武一	750	◎	>360	<390	1140	9	2/27	
221	協和醸造 No.2	800	●	221	579	480	10	// 10.20	
222	町田穰作	650	◎	>180	<470	19尺	10	// 10.40	
223	馬場村	570	×			6間	12	//	
224	木末村	600	◎	>180	<420		16	//	
225	末末富栄	470	◎	>180	<290	6間	16	//	
226	末富和式	425	●	297	128	333	12	// 11.25	
227	板村英一	420	●	208	212	265	23	// 11.35	
228	福田由義	425	●	148	277	187	37	// 11.45	
229	田中義雄	400	●	106	294	177	17	// 11.55	
230	宗里武夫	310	●	110	200	137	26	// 12.05	
231	原田徳郎	300	●	172	128	176	38	// 12.15	
232	末松山樹	300	◎				24	// 12.23	
233	向三山	230	◎	171	59	3間	44	// 14.05	
234	三戸忠義	220	●	176	44	178	49	// 14.15	
235	佐伯千枝子	210	●	140	70	150	31	// 14.20	
236	松田正一	270	◎			5間位	17	//	
237	上高山	330	◎	>181	<149	3間	17	//	
238	高吉和	360	×			約6m	12	// 15.30	川のそば
239	吉田光	180	●	180	0	200	35	// 14.25	
240	三戸光	180	●	86		130		// 10.55	
241	航空自衛隊北基地	150	●				9	2/28	
242	県立中央病院		●						
243	周陽製氷		●						
244	白銀堀口工場		●						
245	白銀仁井令工場		●						
246	協和 No.1	300	×				12		
247	吉田光男	590	×				16		
248	田村					5間位			
249									
250									
301	栗田心め	170	●	49	121	488	47	2/26 10.25	
302	光村義夫	188	●	101	87	552	52	// 10.35	
303	宮地良三	145	●	121	24	590	26	// 10.50	
304	官重正幸	165	●	60	105	396	116	// 11.03	
305	重笠原幸雄	200	●	147	53	683	91	// 11.15	
306	藤井久治	220	●	94	126	283	33	// 11.30	
307	岸野銀吉	118	●	51	67	691	47	// 11.45	
308	吉武助	149	●	104	45	644	21	// 14.15	
309	吉山崎	140	●	87	53	553	33	// 14.25	
310	淵上五博	150	●	87	63	795	35	// 14.40	
311	田中学而	140	●	117	23	962	485	// 14.55	
312	中谷内		×				194	//	
313	河内村	190	●	72	118	531	150	// 15.30	
314	玉山重	136	●	94	42	896	51	// 15.45	
315	山根重樹	90	●	61	29	296	33	// 16.05	
316	田中良穂	250	●	118	132	936	59	// 16.20	
317	河本延	250	●	88	162	908	1007	// 16.35	
318	藤本孝一	250	●	140	110	1043	38	// 16.55	
319	林海	190	●	120	70	917	47	// 17.20	
320	浅海重	160	●	66	94	612	101	// 17.35	

地質調査所月報 (第 18 卷 第 8 号)

井戸 番号 No.	所 有 者 Name	地面標高 Height (cm)	分 類 Classifica- tion	地面下水位 Depth of ground water level (cm)	水面標高 Height of ground water level (cm)	地面下井底 Depth of well bottom (cm)	Cl (ppm)	測定日時 Date	備 考
321	歳弘義人	243	●	127	116	516	23	2/27 10.55	
322	歳弘義人	180	●	115	65	231	26	// 11.20	
323	歳弘高良	160	●	115	45	61	61	// 11.55	
324	古谷下	150	●	33	117	880	30	// 12.20	
325	山下	110	●	94	16	960	26	// 14.30	
326	山今	140	●	85	55	758	44	// 14.45	
327	川崎忠翁	130	×	11	119	352	30	// //	
328	中司田重	140	●	67	73	178	77	// 15.05	
329	桐角	150	●	114	36	944	178	// 15.25	
330	角木原英夫	90	●	78	12	293	1833	// 15.45	
331	三田原孫夫		×				141	// 16.30	
332	中関原尻觀測		●				26		
333			●				18831		
334			●				16967		
401	赤河岸利作	420	●	350	70	460	19	2/26 10.20	
402	塩竈神社務所	420	●	310	110	550	26	// 10.30	
403	中関郵便局	470	●	95	375	400	30	// 11.50	
404	江口健介	400	●	260	140	340	52	// 10.50	
405		410	●	168	242	233	65	// 11.00	
406	岡中田貞吉	370	●	97	273	309	17	// 11.15	
407	河根根村	300	●	111	189	143	113	// 11.20	
408	中山	290	●	56	234	166	52	// 11.30	
409		430	●	98	332	459	17	// 11.40	
410		280	●	125	155	244	105	// 14.00	
411	田田	350	●	78	272	222	28	// 14.10	
412	田中	335	●	122	213	203	26	// 14.15	
413	松	330	●	152	178	244	38	// 14.22	
414	荒	360	●	329	31	435	23	// 14.30	
415	村	250	●	166	84	222	56	// 14.40	
416	奥岡村	500	●	63	437	200	21	// 14.45	
417	市	310	●	95	215	154	30	// 15.00	
418	德	340	●	96	244	250	17	// 15.10	
419		240	●	61	179	170	31	// 15.20	
420		250	●	147	103	214	38	// 15.30	
421	北川	220	●	107	113	210	85	// 15.35	
422	東郷	250	●	107	143	315	24	// 15.45	
423	山本	290	●	151	139	400	17	// 16.00	
424	今	370	●	217	153	340	9	// 16.10	
425		430	●	102	320	144	65	// 16.20	
426	倉切神社協同井戸	380	●	177	203	294	16	// 16.37	
427	德原	220	●	101	119	183	44	// 16.45	
428	吉本	50	●	81	-31	179	234	// 16.55	
429	吉武	80	●	80	0	139	200	// 17.00	
430	今井	100	●	37	63	109	38	// 17.15	
431	村田	120	●	82	38	133	14	// 17.20	
432	御洗生所	220	●	99	121	190	10	// 17.40	
433	原田	200	●	100	100	167	87	2/27 11.00	
434	高	200	●	120	80	203	126	// 11.15	
435		240	●	124	116	199	101	// 11.20	
436	岡本	230	●	77	153	153	78	// 10.55	
437	原	210	●	84	126	167	14	// 11.35	
438	荒	250	●	132	118	198	44	// 10.45	
439	猪	260	●	78	182	164	17	// 10.30	
440	河	230	●	85	145	187	80	// 10.20	

防府平野の浅層地下水と水収支 (湯原浩三)

井戸番号 No.	所有者 Name	地面標高 Height (cm)	分類 Classification	地下水位 Depth of ground water level (cm)	水面標高 Height of ground water level (cm)	地下井底 Depth of well bottom (cm)	Cl (ppm)	測定日時 Date	備考
441	有田三夫	300	●	68	232	186	40	2/27 11.45	
442	荒瀬三昌	270	●	101	169	194	30	// 14.10	
443	上山田忠	100	●	58	42	116	33	// 14.35	
444	山河根村	80	●	84	-4	150	47	// 14.45	
445	河内太充	120	●	75	45	152	14	// 15.00	
446	徳光伝	290	●	154	136	220	26	// 15.15	
447	藤川関之	300	●	192	108	268	47	// 15.35	
448	佐内孝士	250	●	135	115	242	21	// 15.45	



第6図 防府平野地下水位分布
Contour map of shallow ground water level (cm, m.s.l.)

地域の南側には、海との間に、やや水位の高いところがあつて、そこでは、以前は自噴井があつたといわれ、現在でも地下水位が地表面に近いものがある。桑山付近の等水位線は他の地域に比してやや複雑である。

これは桑山の花崗岩が防府平野の砂層あるいは砂礫層の中へ根を張っている模様を反映しているものと思われる。

以上のような地下水位の分布、すなわち等水位線の形

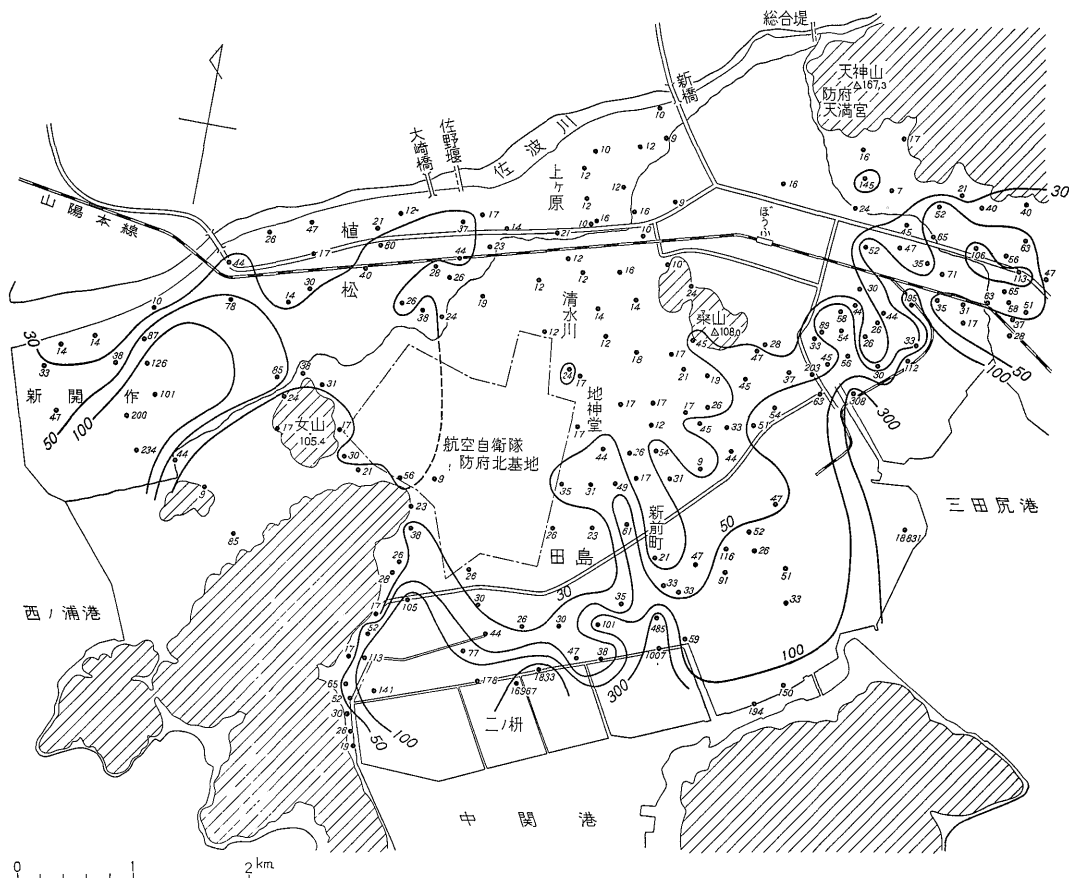
から防府平野の浅層地下水の流動状況を推定すれば次のようになる。

佐波川の水は総合堰、本橋付近より下流で左岸の防府平野に浸透していることが予想されるが、防府平野の地下水の涵養源としては、佐波川からの直接浸透のほかに、用排水路からの浸透や雨水の浸透もかなりの役割を果たしているものと思われる。また、大橋より下流では川よりの浸透はほとんどない。佐波川より直接または間接に浸透した地下水は、一部は佐波川にほぼ平行して流れ、他の大部分は防府平野の中央部、すなわち前記正方形の低水位地域に向って流れている。北東部の地下水は、多々良山や天神山等に降った雨が地中にしみ込んだものであつて、佐波川からの水ではないと思われる。天満宮一桑山一協和醸造防府工場を結ぶ線にそつて地下水位の嶺があつて、ここが佐波川からの地下水と、多々良山系からの地下水との境界線になつていゝと思われる。

防府平野の中央部では、市上水道地神道水源が昭和38

年5月から、工業用水水源が昭和39年10月から合計1日に約3万 m³ の揚水を行なつてゐる。これらの揚水井を含む正方形の地域の地下水位が、周囲に比して低くなつてゐることは揚水の影響とみてまず間違いはないであろう。この点は地下水位の経年変化からも確めることができるが、これについては後に述べる。揚水によつて周辺の地下水位がしだいに低下してゆくが、現在その低下が縦横約3 km の範囲に及んでゐると解釈できる。

もつとも、地下水の一般的な流れがあるために、低下範囲が必ずしも揚水井を中心においた形にならないのは当然である。水位低下は、西方では植松一女山を結ぶ線にはまだ達してゐなくて、現在ではここに地下水位の嶺があり、そのさらに西方の西開作や佐波川河口付近の地下水は揚水井に引込まれることはない。また、南方でも低下範囲は田島付近までしか及んでゐなくて、中関港との間に、地下水位のやや高い所を残してゐる。したがつて、いまのところ、海に接した地域の地下水が揚水井に



第7図 防府平野地下水Cl⁻量分布
Cl⁻ in the ground water (ppm)

流入することはない。しかし、将来、地下水位の低下範囲が拡大されて海岸にまで達すると、海水の内陸への侵入が理論的に可能となり、防府平野の地下水の海水による汚染が大きな問題となることが予想される。したがって、このような事態を防ぐためには、少なくとも現在以上に低下範囲を拡大しないように、揚水に何らかの規制を行なうことが必要である。

4. 塩素イオン量分布

前節で述べた点から考えて、現在のところ、防府平野の地下水の海水による汚染は実際上問題にならないと思われるけれども、このような沖積平野や埋立地では、塩素イオン量の分布は地下水流の流れの方向を推定する1つの目安となる。第7図は塩素イオン量の分布から、30 ppm, 50 ppm, 100 ppm, 300 ppm の等値線を描いたものである。これをみると、一般に、三田尻港、中関港に近い所では塩素イオン量が多く、防府平野の中央部、すなわち、防府市の市街地から西南方の飛行場の方面にかけては塩素イオン量は非常に少ない。また、佐波川河口の埋立地では、川に接した所以外ではかなりの量の塩素イオンが認められる。これはおそらく埋立てた際に地中に閉じこめられた塩分がまだ洗い去られずに残っている

ためであろう。

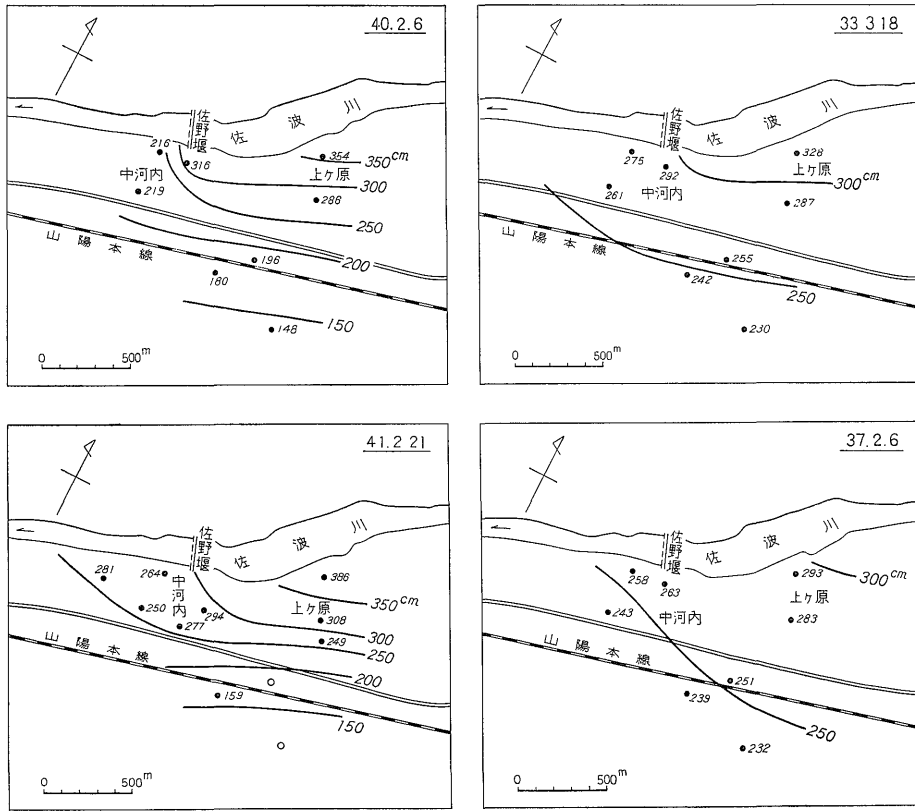
以上のような塩素イオン量分布からは、やはり、総合堰一大橋間で直接間接に佐波川より浸透した地下水の大部分は南へ流れており、西方へ流れる地下水はごくわずかであることが推定され、前節の地下水位分布からの推論とよく一致している。

三田尻海岸の埋立地にある No. 333 の井戸と中関港に近い二の樹埋立地にある No. 334 の井戸の塩素イオン量は、それぞれ 18,831 ppm と 16,967 ppm であつて、ほとんど海水そのものである。これらの両井は深度が地下 85.0m と 89.5m、ストレーナの位置がそれぞれ 60~71m であつて、そこは淡水と海水の境界面より下にあることを示している。

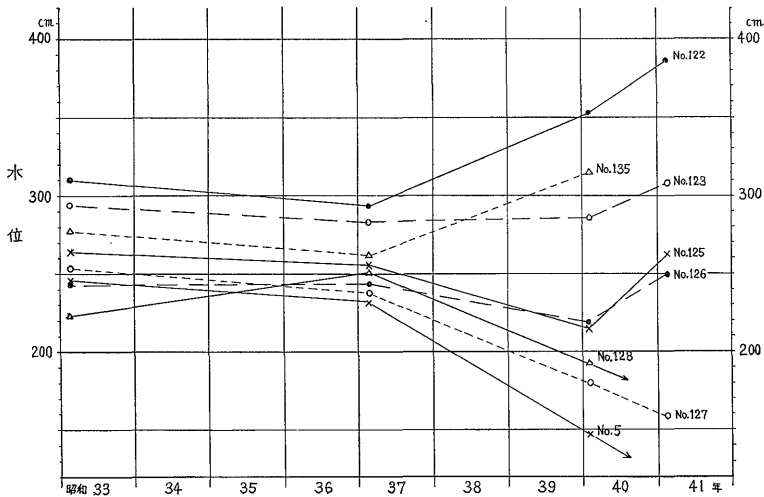
等塩分線は海岸線と必ずしも平行ではない。これは、海より平地に入りこんだ運河や、こまかい地下構造の違いを反映しているものと想像されるが、それについて議論を進めるだけの資料はない。しかし、新前町から地神堂に向つて伸びている等塩分線の位置は、等水位線図(第6図)にみられる正方形の低水位の地域が海に向つて開いている所とほぼ一致している。したがって、この場所から防府平野に向つて、現在すでに、わずかながら海水の侵入がはじまつているのかもしれない。

第 2 表 佐野堰付近地下水位の経年変化 (海面上 m)
Ground water level change near Sano weir (m, m. s. l)

年月日 Date	No. 5	No. 122	No. 123	No. 125	No. 126	No. 127	No. 128	No. 125
32. 7. 13	3.44	4.35	4.24	3.29	3.05	3.12	3.50	3.49
32. 8. 16	3.38	3.39	4.32	2.75	2.98	3.14	3.56	3.17
32. 9. 12	3.45	3.93	4.28	2.90	3.06	3.20	3.57	3.77
32.11. 8	2.46	2.91	3.03	2.58	2.52	2.54	2.72	2.71
32.12.17	2.45	2.98	2.92	2.50	2.56	2.50	2.69	2.62
33. 1. 21	2.60	3.18	3.19	2.65	2.61	2.67	2.80	2.82
33. 2. 20	2.45	3.10	2.95	2.65	2.44	2.54	2.23	2.79
33. 3. 18	2.30	3.28	2.87	2.75	2.61	2.42	2.55	2.92
33. 4. 16	2.45	3.18	3.17	2.65	2.31	2.52	2.60	2.82
33. 5. 30	2.89	3.07	3.62	2.60	2.64	2.84	3.20	2.92
33. 7. 1	3.48	3.83	4.30	2.95	3.06	3.27	3.62	3.19
33. 9. 4	3.32	3.66	4.21	2.85	2.96	2.87	3.45	3.13
33. 9. 29	3.19	3.48	3.69	2.65	2.61	2.97	3.35	2.81
36. 9. 1	3.47	3.78	4.19	3.23	3.00	3.14	3.54	3.37
36.10. 2	2.84	3.65	3.56	3.13	2.45	2.76	3.03	3.25
36.12. 1	2.46	2.93	2.92	2.58	2.54	2.50	2.66	2.72
36.12.28	2.32	2.90	2.74	2.50	2.36	2.36	2.52	2.62
37. 2. 6	2.32	2.93	2.83	2.58	2.43	2.39	2.51	2.63
40. 2. 6	1.48	3.54	2.86	2.16	2.19	1.80	1.96	3.16
41. 2. 21	<1.47	3.86	3.08	2.64	2.50	1.59	<1.70	—



第8図 佐野堰付近の地下水位
Ground water levels near Sano weir from 1958 to 1966

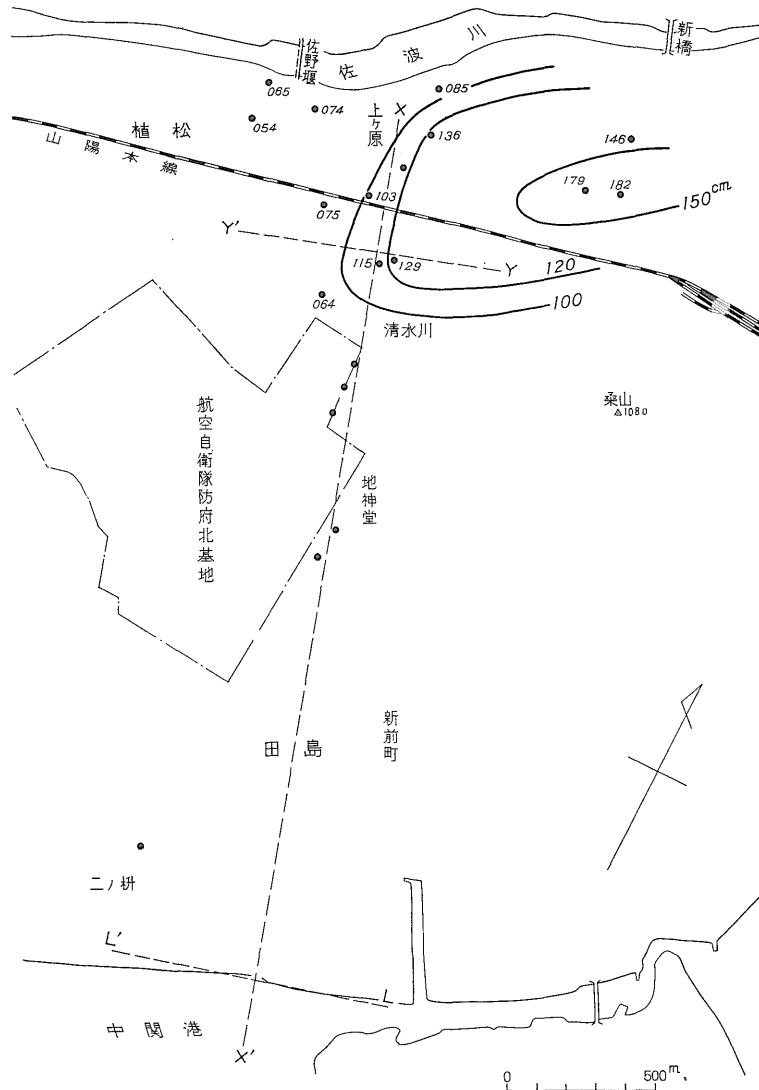


第9図 佐野堰付近の地下水位の経年変化
Time-level relations of ground water level near Sano weir

5. 佐野堰付近地下水位の経年変化と年変化

佐野堰付近の地下水位は昭和32年以来防府市役所によって年数回の観測が続けられている (第2表)。これらの観測値の中から、季節的にはほぼ等しい時期のものとして、昭和33年3月18日、昭和37年2月6日、昭和40年2月6日、昭和41年2月21日の地下水位をとりあげ、それぞれから等水位線を描いてみると第8図ようになる。これをみると、昭和33年と昭和37年のものは佐野堰付近の地下水面の傾斜がゆるやかで $1/1200 \sim 1/1600$ 程度で

あるのに、昭和40年と昭和41年のものでは $1/200 \sim 1/400$ 程度に傾斜が急になっている。この関係は第9図からも明らかであつて、これをみると、昭和37年までは各井戸の水位は唯一の例外を除いてほぼ平行に変化しているが、昭和40年以後は、地下水流の下流にあたる No. 5, No. 127, No. 128 では水位の低下が著しく、川に近い No. 122, No. 123, No. 135 ではむしろ水位は上昇している。以上のことは、昭和37年と昭和40年の間に地下水位の分布を大きく変えるような事件がおこつたことを暗示するものであつて、それは昭和38年5月の地神堂水源



第10図 年最高地下水位と年最低地下水位の差の分布
Differences between maximum and minimum ground water levels (cm, m.s.l.)

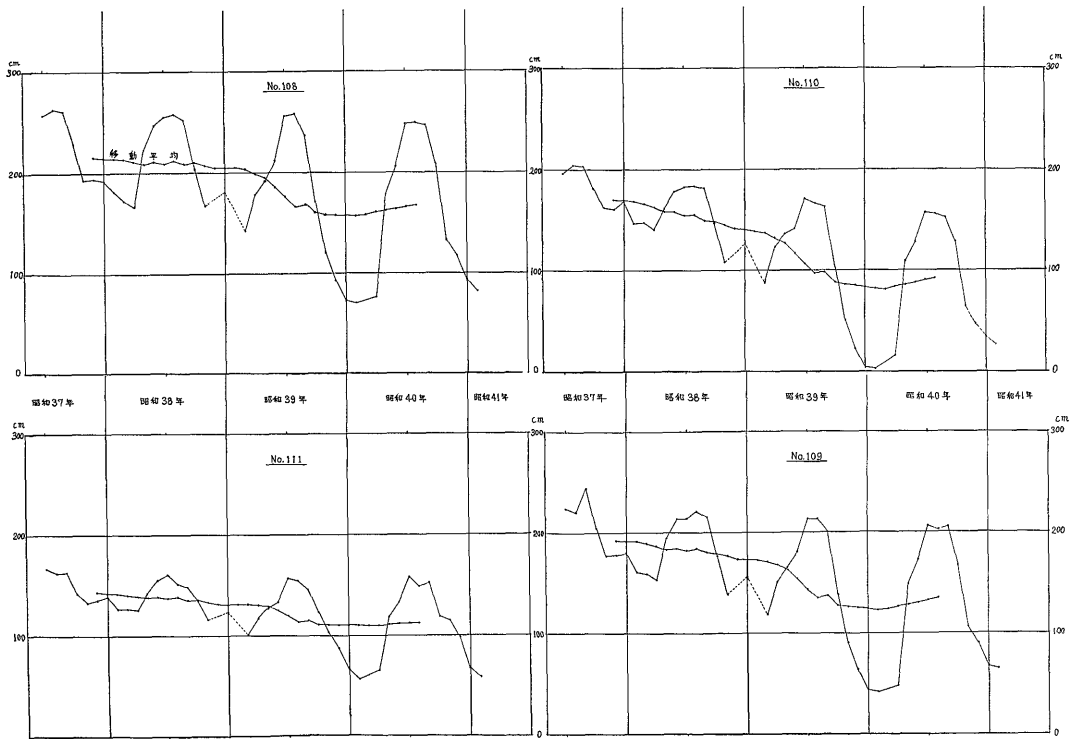
と昭和39年10月の工業用水水源の新設と考えると間違いないであろう。しかも、地下水位の低下が鉄道線路付近より下流でのみおこっていることは、前節でのべた正方形の地下水位低下域の北限が鉄道線路近くにあることとよく一致している。すなわち、現在のところ、川に近いところの地下水は工業用水井による影響をあまり受けていないということがいえる。

つぎに、第2表をみると季節的な地下水位の変化が大きいことがわかる。いま、1年を通じての最高水位と最低水位の幅を知るために、1例として、もつとも水位の高い季節にあたる昭和36年9月1日の水位と、逆に、もつとも水位の低い頃の昭和37年2月6日の水位の差を示してみると第10図が得られる。この図で興味あることは、水位年変化の幅がもつとも大きい所は川のそばではなくて、むしろ、川より約1km 南に下った鉄道線路付近にあるということである。このことは次節で述べるそれより下流の地下水位の年変化の原因が、少なくとも、佐波川の水位の年変化ではないことを示している。総合堰で佐波川から分流した用水路の一部は、鉄道線路沿いの水田を涵養しながら西浦幹線用排水路に続いている。したがって、この用水路に水を入れるか否か、いいかえ

るならば、これらの灌漑用水からの浸透の年変化が地下水位年変化のおもな原因の1つになっているのかもしれない。もしまた、この用水路がそれより南の地下水涵養源の1つになっていれば、工業用水井の揚水影響がそれより北へ及ぶことを妨げることにもなる。すなわち、前述の地下水位の低下地域が鉄道線路近くでよく止められて、川の近くまで及んでいないこともよく符合する。

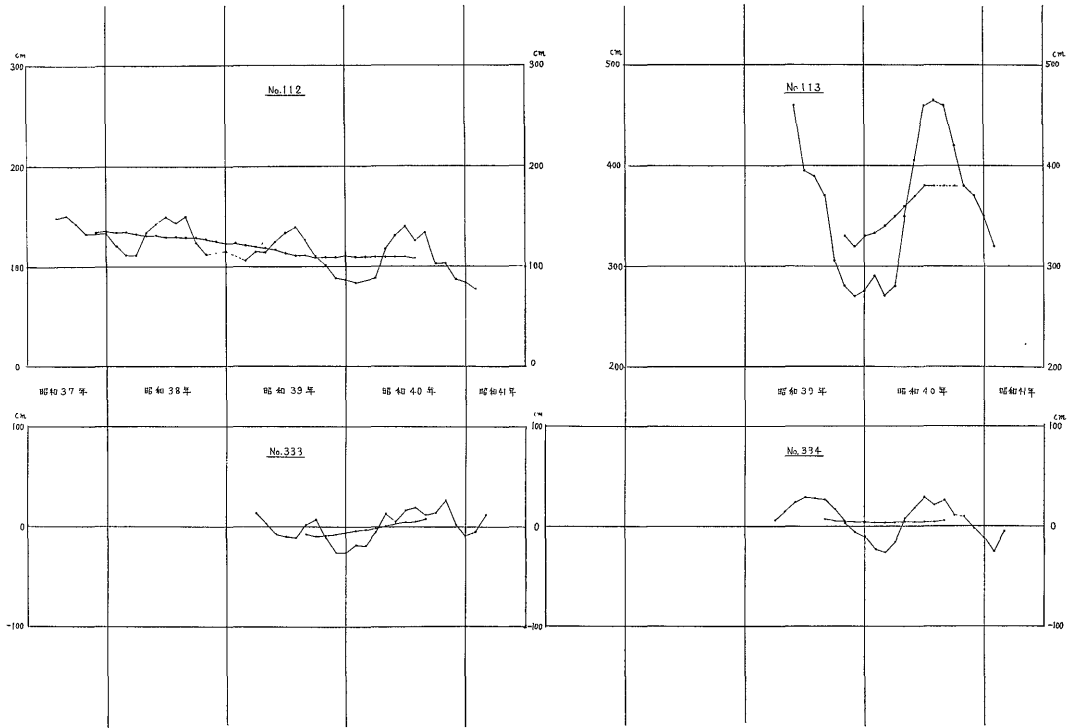
6. 防府平野中央部の地下水位の 経年変化と年変化

上水道地神堂水源や工業用水井からの揚水が付近の地下水位に及ぼす影響を知るために、飛行場の東側に8個の打抜観測井がつけられ、そのうちの5個は現在まで毎月数回の水位観測が続けられている。これらの観測値から各月の平均値を求めて、その約3年半にわたる変化を示したものが第11図である。このほかに、三田尻と中関には通産省の地下水位観測井が、上ヶ原には市の観測井があるので、それらの月平均値も同様に第11図に示した。また、新橋における佐波川水位、防府測候所の雨量、蒸発量の月平均値の推移も第11図に示した。第11図をみると地下水位の月平均値は7～8月が最高、2～3

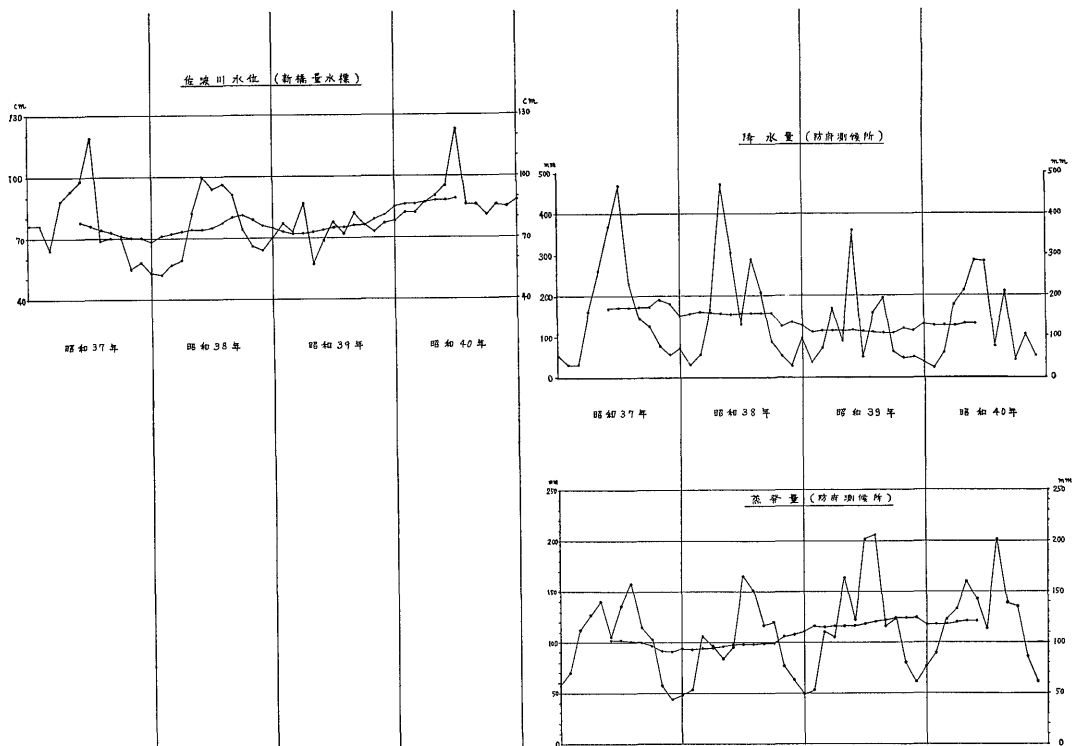


第11図 - 1

防府平野の浅層地下水と水収支 (湯原浩三)



第 11 図 - 2

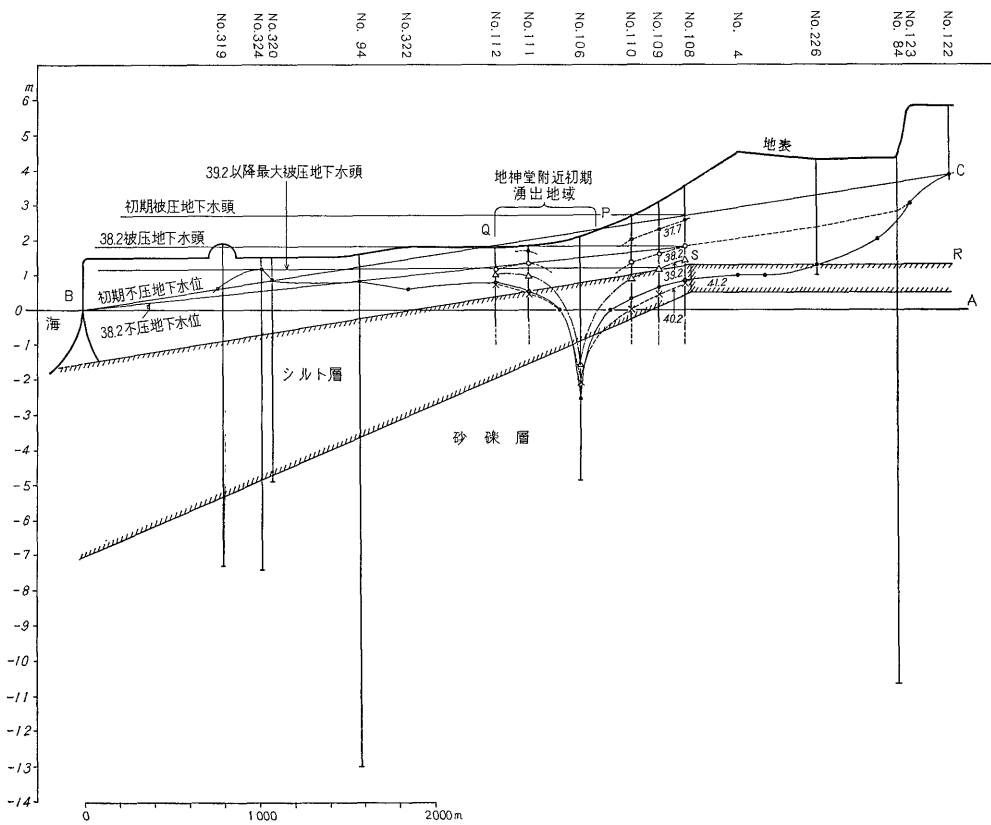


第 11 図 - 3 中央部の地下水位および佐波川水位, 降水量, 蒸発量の経年変化
Variations of ground water level, river water level, precipitation and evaporation in the central region

月が最低で、比較的規則正しい年変化を示しながら年とともに次第に下つていくことがわかる。この経年変化を明らかにするために、12カ月の移動平均値を併せて示した。移動平均値は39年5月頃より低下の割合が急に大きくなっており、このことは No. 108, No. 109, No. 110 でとくに著しい。12カ月の平均値を6カ月目の位置にプロットしてあるから、移動平均値が5月頃から急に低下しだしたということは、5月から数えて6カ月目、すなわち、10月に実際の地下水位が急に低下しはじめたことを示している。10月13日、工業用水井の揚水が始められ、その影響が直ちに500~1,000m はなれたこれら観測井に平均地下水位の低下としてあらわれているわけである。次にこの移動平均値は39年11月頃からはほぼ一定値に落ち着くようになり、40年3月以降には、わずかながら回復する傾向をみせている。これはまず、39年頃から、揚水量が地下水位勾配の増加に対応した揚水井への流入量と釣り合うようになったことを示している。40年3月以降のゆるやかな上昇は、39年に比して40年の地下水への補給量が多かったことを反映しているのかもしれない。

第6図のA—B線に沿って41年2月現在の地下水位の断面図を描いたものが第12図である。また、これには打抜観測井 (No. 108, No. 109, No. 110, No. 111, No. 112) の38年, 39年, 40年の2月の地下水位と37年7月の地下水位を示した。さらに、この図には浅層地盤の研究から結論されたシルト層の位置も示した。この図でもつとも顕著なことは、No. 106 (地神堂上水道水源) を中心にこの付近の地下水が円錐形状に低下しており、この低下は37年から40年まで毎年数10cmに及び、40年2月から41年2月までの間には若干上昇していることである。A—B線は工業用水源を通っていないので、水位低下が見掛上 No. 106 の揚水のためだけのように見えるけれども、実際は工業用水井と上水道水源井の揚水の影響を併せたものが、付近の地下水位として表わされていると考えられる。

いま、これらの井戸がまったくなかつた当初の地下水位の断面を推定しようとするならば、川に接した No. 122 の地下水位が変っていないと仮定して、それと海岸における地下水位(海面とほぼ等しいと仮定する)とを



第12図 第6図A—B線にそつた地下水位断面図
Level profiles of ground water along line A—B in Fig. 6

結ばよい。このようにして得られた直線C—Bは中間で(P—Qの間)地表より高くなっている。すなわち、ここに不圧地下水の露頭があつて、地下水が地上に滲み出してははずである。以前、清水川から地神堂にかけて存在していた浅い沼地はこのようにして説明される。次にNo. 108 から下流では地下水の一部はシルト層の下にもぐり、そのシルト層の下の地下水は不完全ながら被圧地下水となつて、ほぼ入口に近いNo. 108 の水位が示す圧力をもつはずである。したがつて、それより下流でシルト層を貫いて掘られた井戸の水頭は地表以上となる。これが田島地区にある掘抜井戸である。工業用水井や上水道水源井の揚水によつて、No. 108 の地下水位が低下してくると、それに伴つて被圧地下水の水頭も低下し、遂には地表以下となつて自噴はしなくなる。しかし、No. 108 の水位と同じ高さの水頭をもつから、依然として被圧地下水であつて、井戸の水面はその場所の不圧地下水より浅い。

シルト層は A—B 断面内ではNo. 108 より上流にはないけれども、その西側では佐波川まで続いているので(R—S)、たとえNo. 108 の水位がシルト層上端よりも低くなつても、それより上流のA—B断面以外のシルト層の入口で水位がシルト層の上端以上であれば、シルト層より下の被圧地下水の水頭がやはりシルト層上端近くに保たれる場合もあるであろう。したがつて、このような場合を仮定して、No. 108 の水位がほぼシルト層の上端まで下つた昭和39年2月以降の最大被圧地下水頭を、図中に示したように推論することができる。

40年2月から41年2月にかけて地下水位が若干回復し

た事實は、前にも触れたように、雨や川や用水路からの浸透による地下水への補給が、地下水からの揚水量を上回つたためであろう。この点は後に水収支について論ずる際に詳しく述べる。

年変化の様子を正しくつかむために、各月の地下水位と前記移動平均値との差を求め、さらにこれを同じ月について平均して12個の値を求めたものを第3表、第13図に示す。

地下水位の年変化が簡単に

$$Z = R' \sin(\theta + \varepsilon') + R'' \sin(2\theta + \varepsilon'') + R''' \sin(\theta + \varepsilon'''), \quad (1)$$

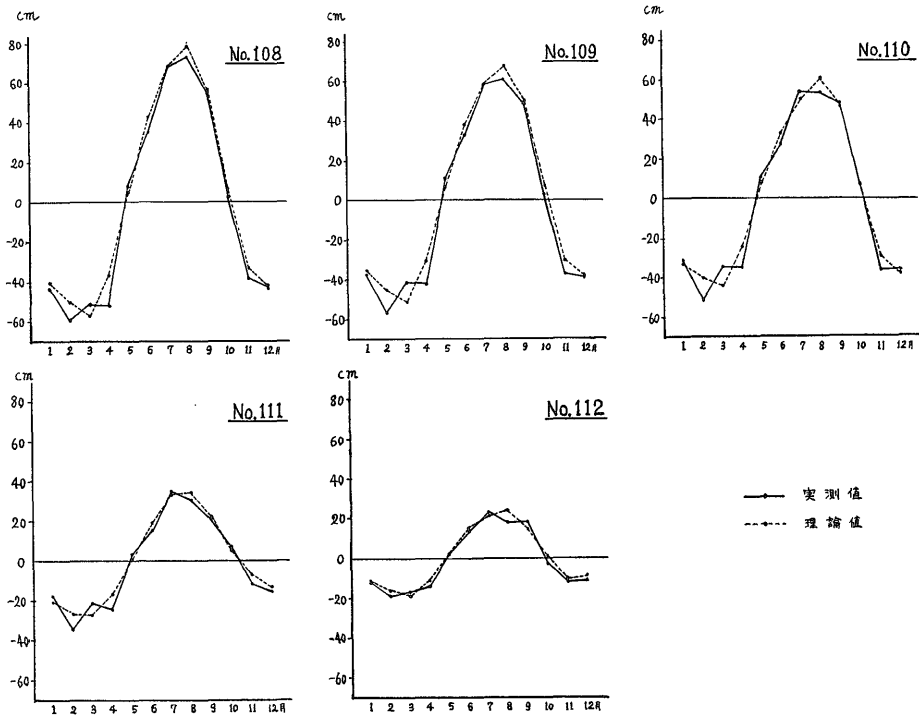
で表わされるものとして調和分析を行なうと第4表の結果が得られた。ここにZは移動平均値から測つた地下水位、R', R'', R'''は、それぞれ1年周期、1/2年周期、1/3年周期の波の振幅、ε', ε'', ε'''は、それぞれの波の1月から測つた位相のおくれである。第13図にはこれらの係数値から計算した値も示してある。

第4表、第13図からもつとも興味あることは、川から海の方へ向かつて、地下水位変化の振幅は急速に小さくなつていながらもかかわらず、位相の遅れはほとんど認められないという点である。これは、定性的には、地下水層の透水係数が大きくて、しかも末端の海と接する所では地下水位が常に一定に保たれているとして説明することができる。この問題を定量的に取扱うために次のように考える。いま、x=0でx軸(第10図X—X')に垂直な線上(第10図Y—Y')いたるところで水位Zが時間とともに周期的に変化し、x=L(第10図L—L')でx軸に垂直な線上すべての点で常に一定に保たれているとす

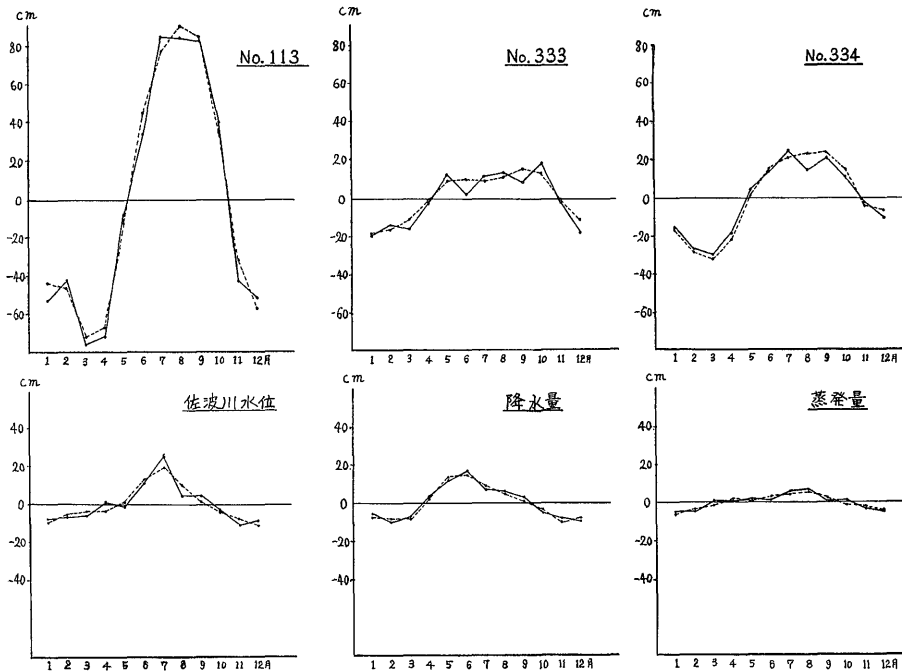
第3表 地下水位、佐波川水位、降水量、蒸発量年変化 (cm)

Annual variations of ground water level, river water level, precipitation and evaporation in the central region (cm)

month	No. 108	No. 109	No. 110	No. 111	No. 112	No. 113	No. 333	No. 334	佐波川 水位	降水量	蒸発量
1 月	-43.8	-36.9	-31.9	-18.7	-11.3	-53.	-20.	-14.1	-9.	-6.8	-5.2
2 月	-59.2	-56.7	-51.3	-34.5	-19.7	-42.	-14.	-26.5	-6.	-10.2	-4.9
3 月	-51.3	-41.8	-34.2	-21.9	-17.4	-76.	-16.	-29.4	-6.	-7.2	0.4
4 月	-50.3	-42.7	-34.1	-24.3	-14.3	-72.	-3.	-18.9	0.3	3.7	0.0
5 月	9.5	11.3	11.8	3.6	2.3	-8.	14.	4.5	-2.	12.5	2.4
6 月	34.9	33.1	28.2	15.3	14.1	34.	2.	14.2	12.	17.6	0.7
7 月	68.9	58.9	53.5	35.5	23.8	85.	11.3	25.3	25.	7.1	6.1
8 月	72.8	61.5	53.6	30.3	19.8	85.	13.3	17.4	4.	6.0	6.6
9 月	55.3	49.4	48.1	21.4	18.4	83.	7.4	20.3	5.	3.7	0.9
10 月	2.3	3.9	6.9	6.6	-1.8	41.	17.1	11.8	-3.	-5.4	0.9
11 月	-39.6	-37.1	-36.6	-12.1	-11.7	-43.	-2.	-1.6	-11.	-8.6	-3.5
12 月	-43.0	-37.9	-35.7	-14.9	-10.8	-51.	-18.	-10.1	-9.	-9.8	-4.8



第 13 図 - 1



第 13 図 - 2

中央部の地下水水位および佐波川水位、降水量、蒸発量の年変化

Annual variations of ground water level, river water level, precipitation and evaporation in the central region

第 4 表 地下水位年変化の調和常数
Harmonic constants of the annual variations

	x	R'	ϵ'	R''	ϵ''	R'''	ϵ'''
No. 108	600 ^m	65.7 ^{cm}	250°50'	16.9 ^{cm}	61°29'	7.2 ^{cm}	92°00'
No. 109	740	57.7	251°58'	13.2	61°57'	7.3	90°47'
No. 110	850	51.8	287°01'	11.1	50°53'	7.6	90°00'
No. 111	1500	30.2	246°31'	6.2	85°28'	1.0	127°36'
No. 112	1640	20.3	251°32'	5.8	79°41'	2.5	98°07'
No. 113	—	80.5	240°04'	23.5	43°48'	15.0	38°15'
No. 333	—	16.1	251°48'	5.5	261°59'	2.5	32°22'
No. 334	—	27.8	229°16'	4.8	139°03'	3.3	55°53'
佐波川水位	—	11.9	275°42'	4.5	76°59'	2.7	214°29'
降水量	—	12.0	289°02'	2.9	107°54'	3.0	82°24'
蒸発量	—	4.9	271°39'	1.2	349°26'	1.2	223°38'

る。そうすると x に関する一次元の問題として取扱うことができ、 $0 \leq x \leq L$ の範囲にある点の地下水位 z は、微分方程式

$$T \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} = S \frac{\partial z}{\partial t} \quad (2)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{を } x=0 \text{ において } z=h_0+R_0 \sin \delta t \\ x=L \text{ において } z=0 \end{array} \right\} \quad (3)$$

なる条件のもとで解くことによつて得られる。ここに $T=kD$, k , D は地下水層の透水係数と厚さである。 S は地下水層の貯留係数である。

この場合の解は

$$z=h_0(1-\xi)+R_0 \frac{e^{\beta(L-x)} \sin(\delta t-\beta x) \sin(\delta t+\beta L)}{e^{\beta L} \sin(\delta t+\beta L)-e^{-\beta L} \sin(\delta t-\beta L)} - \frac{e^{-\beta(L-x)} \sin(\delta t-\beta L) \sin(\delta t+\beta x)}{e^{\beta L} \sin(\delta t+\beta L)-e^{-\beta L} \sin(\delta t-\beta L)} \quad (4)$$

で、ここに $\xi=\frac{x}{L}$, $\delta=\frac{2\pi}{\tau}$, $\beta=\sqrt{\frac{\delta S}{2T}}$, τ は周期である。(4) 式は形式的にはさらに簡単に变形することもできるけれども³⁾、実際計算にはあまり便利にはならないので、このままの形で議論をすすめる。

(4) 式において

$$\beta \rightarrow 0 \text{ のとき } z=h_0(1-\xi) \quad (5)$$

$$\beta \rightarrow \infty \text{ のとき } z=h_0(1-\xi)+R_0 e^{-\beta x} \sin(\delta t-\beta x), \quad (6)$$

(6) は $L \rightarrow \infty$ のときの解と同じである。(4) より任意の点の地下水位の時間的変化を計算することができ、それはやはり x とともに振幅の減少する週期関数であることが予想されるけれども、それを δt の任意の値について具体的に示すことは簡単でないので、次のようにする。

$x=0$ において地下水位が最大になつたとき、すなわち、 $\delta t=\frac{\pi}{2}$ のときには、各点の水位は (4) より

$$z=h_0(1-\xi)+R_0 \frac{(e^{\beta(L-x)}-e^{-\beta(L-x)}) \cos \beta x}{e^{\beta L}-e^{-\beta L}} \quad (7)$$

(7) 式の β と x の関数である部分を $\Phi(\beta x)$ とかくと、

$$\Phi=\frac{(e^{\beta(L-x)}-e^{-\beta(L-x)}) \cos \beta x}{e^{\beta L}-e^{-\beta L}} \quad (8)$$

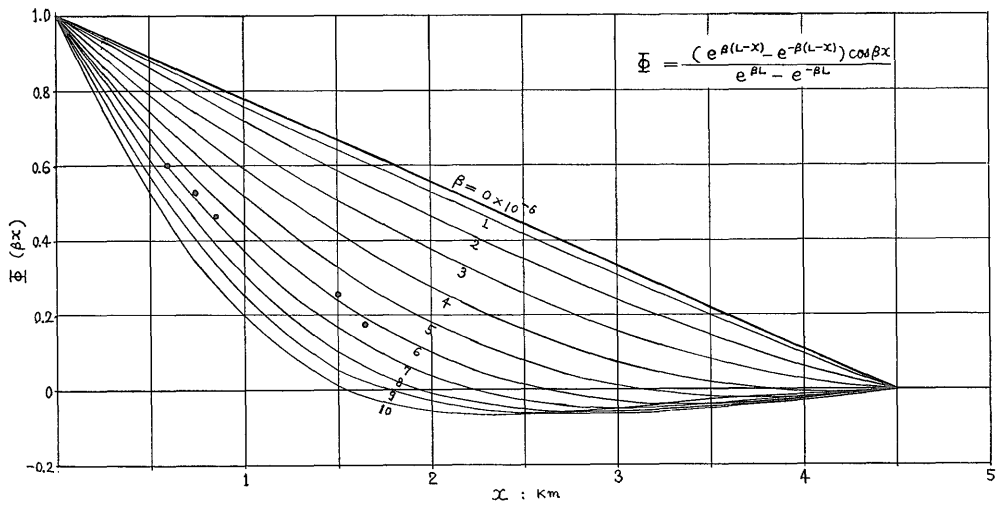
β をパラメータとして $\Phi(\beta x)$ を x についてプロットすると第14図の曲線群が得られる。

さきに示した第4表において、位相のおくれはほとんど認められなかつたから、 $x=0$ で地下水位が最高になつたときには、他の点でもほぼ最高水位になつたと考えてもよい。したがつて、近似的には、任意の点の地下水位変化の振幅を R とすれば、

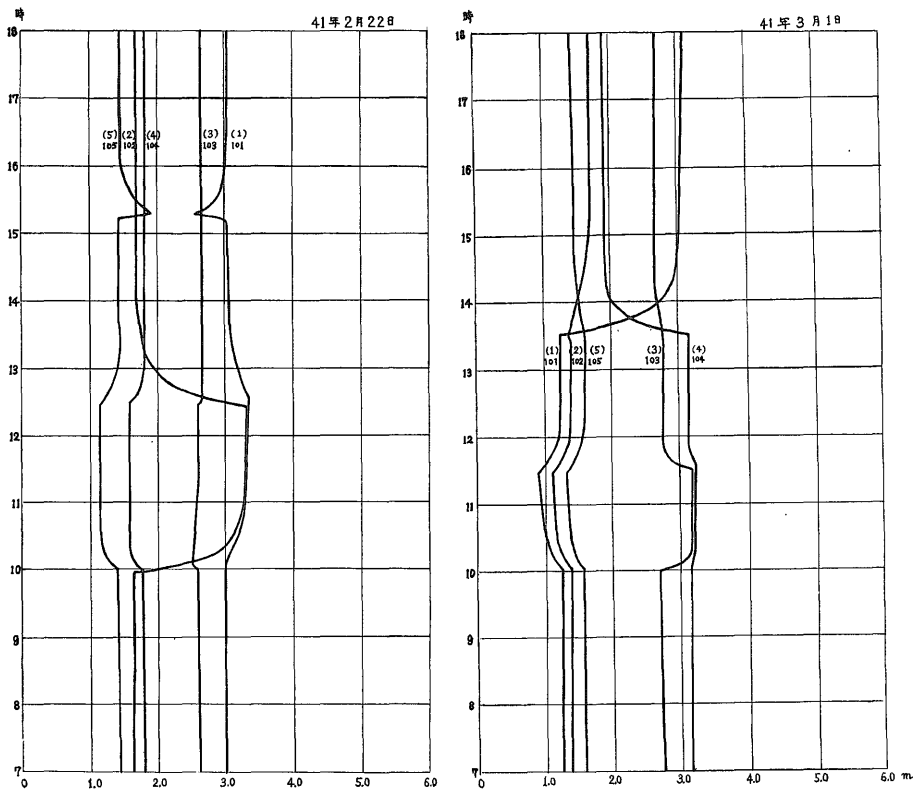
$$\frac{R}{R_0}=\frac{(e^{\beta(L-x)}-e^{-\beta(L-x)}) \cos \beta x}{e^{\beta L}-e^{-\beta L}}=\Phi \quad (9)$$

したがつて、それぞれの x の値に対して $\frac{R}{R_0}$ の値を第14図上に落すと、その点を通る Φ の曲線から β の大略の値を知ることができる。実際計算には x 軸を第10図の直線 $X-X'$ のようにとり、前節で述べた昭和36年9月1日と昭和37年2月6日の地下水位差が最大である所を $x=0$ とした。また、ここでは、一応1年週期のものについて計算し、 $R'_0=110\text{cm}$ とし、 $\frac{R'}{R'_0}$ の値を第14図に記入した。その結果これらの点は $\beta=6\sim 7 \times 10^{-6} \text{ 1/cm}$ の曲線上にあるので、これより $\tau=31536000$ 秒(1年)とすると、 $\frac{T}{S}=2 \times 10^3$ 、さらに $S=10^{-2}$ 程度と考えると $T=2 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{sec}$ となる。

防府平野の浅層地質は 2. でのべたように、上から、

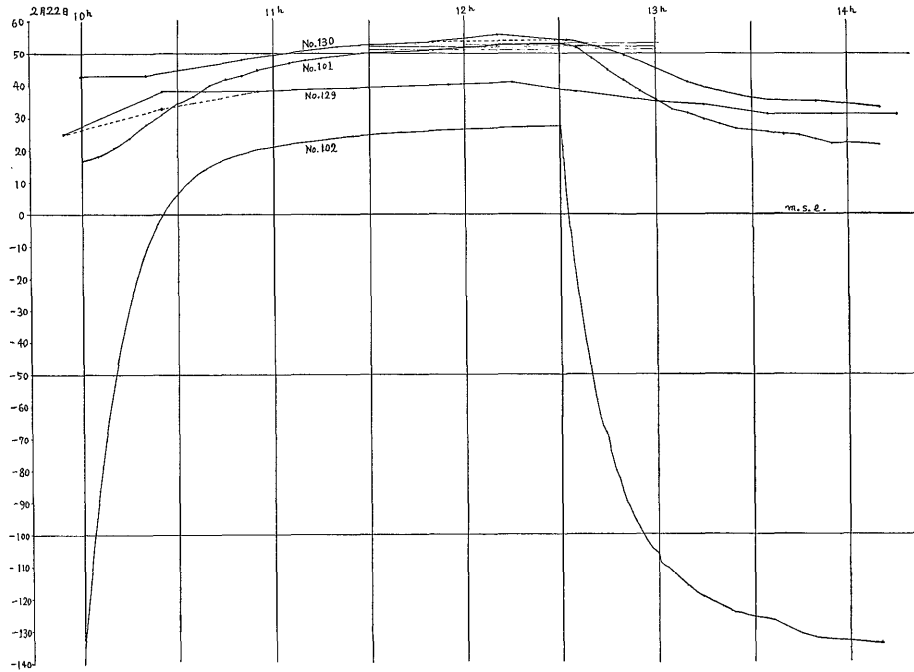


第 14 図 x と $\Phi(x, \beta)$ の関係
 $x-\Phi(x, \beta)$ diagram

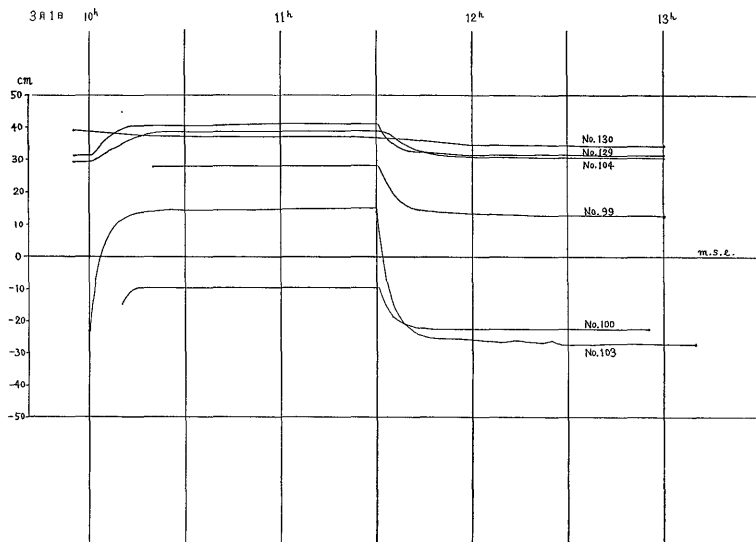


第 15 図 揚水試験のときの地下水位自記記録
 Water level records in the pumping test

防府平野の浅層地下水と水収支 (湯原浩三)



第 16 図 No.102 揚水停止による近傍の地下水位の変化
Ground water level change followed by stopping the discharge of No.102 well



第 17 図 No.103 揚水停止による近傍の地下水位の変化
Ground water level change followed by stopping the discharge of No.103 well

(A) 平均層厚3.5mの粘土または粘土まじり砂層、(B) 平均層厚4.0mの難透水性シルトまたはシルト質砂岩、(C) 平均層厚7.0mの砂礫層、(D) それ以深の粘土質砂礫層で、これの下限は30m位であろうといわれている。いま問題としている地下水の帯水層は(B)層より下のものと思われるから、地下水層の厚さは10~40mとなる。これより $k=50\sim 200$ cm/secが得られる。この値は次節の揚水試験から得た値や、他の土地でいままでに知られている値に比較すると桁はずれに大きいので、結論としては、地下水位の年変化を地下帯水層内の水圧

の伝播だけで説明することは無理であつて、むしろ地表からの浸透の年変化が大きな因子となつてゐると思われる。

7. 工業用水井における揚水試験

別の方法から、防府平野の地下水帯水層の透水係数や貯留係数を知るために、工業用水源において前後2回揚水試験を行なつた。第1回目は41年2月22日に行なわれ、No. 102の揚水を10時から12時まで停止した。一方、No. 101の揚水を前日来停止し、これを観測井とし

第5表 第1回揚水
Data of pumping

41年2月22日

No. 102							
時分 Time	水 level 位 (cm)	時分	水 位 (cm)	時分	水 位 (cm)	時分	水 位 (cm)
10 ^h 00.5	-130.5	10 ^h 30	6.6	12 ^h 32	3	13 ^h 03	-110.8
01	-126	31	7.6	33	- 5.5	04	-111.4
01.5	-120	32	8.8	34	- 14.7	05	-112.4
02	-114.5	33	9.7	35	- 21.5	06	-113.6
03	-105	34	10.5	36	- 28.5	07	-114.4
04	- 95	35	11.4	37	- 35.0	08	-115.1
05	- 86.2	36	12.3	38	- 41.5	09	-116.0
06	- 78.5	37	13.0	39	- 48.3	10	-116.6
07	- 70.7	38	13.5	40	- 53	12	-118.1
08	- 63.2	39	14.2	41	- 58	14	-119.6
09	- 57.2	40	14.5	42	- 63.3	16	-120.5
10	- 51.5	43	16.3	43	- 66.7	18	-121.7
11	- 45.3	46	17.3	44	- 68.5	20	-122.8
12	- 40.3	49	18.4	45	- 73.3	22	-123.4
13	- 35.4	52	19.0	46	- 77.5	24	-124.4
14	- 31.0	55	20.2	47	- 80.2	26	-124.7
15	- 26.8	60	21.0	48	- 82.4	28	-125.4
16	- 23.4	11 05	21.9	49	- 86.5	30	-125.9
17	- 19.7	10	22.4	50	- 89.0	35	-126.6
18	- 16.7	15	23.0	51	- 91.6	40	-128.8
19	- 13.8	20	23.5	52	- 93.0	45	-131.1
20	- 11.0	25	24.2	53	- 95.1	50	-132.0
21	- 8.5	30	24.6	54	- 97.3	55	-133.0
22	- 6.3	35	25.0	55	- 99.0	14 00	-133.0
23	- 3.9	40	25.4	56	-101.0	10	-134.3
24	- 2.0	50	25.8	57	-102.8	20	-135.2
25	- 0.5	12 00	26.2	58	-104.0	30	-134.3
26	1.5	10	26.7	59	-105.2	40	-134.0
27	2.7	20	27.0	13 00	-106.2		
28	4.2	30	27.3	01	-109.3		
29	5.5	31	21	02	-110.2		

防府平野の浅層地下水と水収支（湯原浩三）

て、No. 102 揚水停止の影響を No. 101 で観測した。また、近傍にある打抜井 No. 130, No. 129 も補助観測井として水位を観測した。第 2 回目は 41 年 3 月 1 日行なわれ、No. 103 の揚水を停止し、No. 104 を観測井に、No. 99, No. 100, No. 129 を補助観測井とした（第 18 図）。第 15 図は No. 101, No. 102, No. 103, No. 104, No. 105 の日記水位記録である。これから明らかなように、試験井の揚水を停止すると、試験井の水位が直ちに上昇し、ほんの少しおくれで観測井の水位も上昇しているが、残りの 3 つの井戸の水位は逆に下降している。これは、各

井からの揚水した水を送る送水管が 1 つにまとめられているために、1 つの井戸からの送水が止まると送水管内の背圧が低下し、それが揚水を続けている井戸の揚水能力の増大をもたらす、そのために揚水井の水位が低下すると解釈される。したがって観測井の水位には、試験井における揚水停止の影響と、他の揚水を続けている井戸での揚水量の増加の影響が重つていることになる。しかし、揚水を続けている井戸は試験井に比べて数倍遠方にあるので、その影響はあるとしても小さく、また、時間的にもおくれであらわれるので、適当な時間内では、そ

試験資料

test (1)

No. 101				No. 129		No. 130	
時 分	水 位 (cm)	時 分	水 位 (cm)	時 分	水 位 (cm)	時 分	水 位 (cm)
9 ^h 53	17	12 ^h 50	41.5	9 ^h 55	28	9 ^h 50	43
56	17	55	38.0	10 25	38	10 20	43
10 00	17	13 ^h 00	35.3	55	38	50	48
05	18	05	32.3	11 25	39	11 20	52
10	20.5	10	31.5	55	40	50	53.5
15	23.5	15	29.4	12 15	41	12 10	55.5
20	28	20	28	35	38	32	54
25	31	25	26.5	55	35	50	49
30	34.5	30	26.0	13 15	34	13 10	41
35	36.5	35	25.5	35	31	30	36
40	40	40	24.8	55	31	50	35
45	42	45	24.3	14 15	31	14 10	33
50	43	50	23.0	35	31	30	32
55	44.5	55	22.0				
11 00	46	14 ^h 00	22.0				
05	47	10	21.5				
10	47.7	20	20.5				
15	48.3	30	20.5				
20	49	45	20.0				
25	49.5						
30	50						
35	50.3						
40	50.5						
45	50.8						
50	51.0						
12 10	52.5						
20	52.7						
30	53.0						
35	52.0						
40	48.5						
45	44.8						

の影響を無視することができる。

次に、現在では、各井戸からの揚水量を直接別々に知ることはできない状態であるので、試験井で揚水を停止した量を推定しなければならない。井戸ができた当時、別々に測定された揚水量は、No. 101 が 222 m³/h, No. 102 が 234 m³/h, No. 103 が 212 m³/h, No. 104 が 214 m³/h, No. 105 が 234 m³/h であつた。41年 2 月 18 日より 2 月 26 日までのポンプ運転日誌によると、いくつかの井戸のポンプを同時に運転した場合、そのときの合計した揚水量は必ずしも 1 つずつ運転したときの揚水量の和とはなっていない。一般には前に述べた背圧の影響を受

けて、合計した揚水量は個々のものの和より小さくなる。すなわち、

2 月 18 日 8 時から 19 日 7 時まで

$$\text{No. 101} + \text{No. 102} + \text{No. 103} + \text{No. 104} = 838 \text{ m}^3/\text{h}$$

2 月 20 日 8 時から 21 日 7 時まで

$$\text{No. 101} + \text{No. 103} + \text{No. 104} + \text{No. 105} = 834 \text{ m}^3/\text{h}$$

2 月 22 日 10 時から 22 日 12 時まで

$$\text{No. 103} + \text{No. 104} + \text{No. 105} = 705 \text{ m}^3/\text{h}$$

2 月 23 日 7 時から 24 日 7 時まで

$$\text{No. 102} + \text{No. 103} + \text{No. 104} + \text{No. 105} = 833 \text{ m}^3/\text{h}$$

であつて、これらから大ざっぱに

第 6 表 第 2 回 揚 水
Data of pumping

41 年 3 月 1 日

No. 103				No. 99			
時 分 Time	水 level 位 (cm)	時 分	水 位 (cm)	時 分	水 位 (cm)	時 分	水 位 (cm)
10 ^h 00	-23.1	10 ^h 34	14.5	11 ^h 50	-25.5	10 ^h 20	27.9
01	-13.9	37	14.6	51	-25.6	40	28.1
02	-6.7	40	14.6	52	-25.6	11 00	28.1
03	-1.9	46	14.7	53	-25.7	20	28.1
04	1.8	52	14.7	54	-25.8	40	15.4
05	4.6	11 00	14.8	55	-25.8	12 00	13.2
06	6.8	10	14.9	56	-25.8	20	12.7
07	8.4	20	15.0	57	-25.9	40	12.8
08	10.0	30	15.0	58	-25.8	13 00	12.6
09	10.8	30.5	9.4	59	-25.8		
10	11.4	31	5.2	12 00	-25.8		
11	11.9	31.5	2.3	01	-25.9		
12	12.6	32	-1.4	02	-25.9		
13	12.8	33	-6.8	03	-25.9		
14	13.1	34	-10.9	04	-26.0		
15	13.3	35	-14.0	13	-26.1		
16	13.5	36	-16.5	16	-26.4		
17	13.7	37	-18.6	19	-26.7		
18	13.8	38	-19.9	22	-27.7		
19	13.9	39	-21.0	25	-26.2		
20	14.0	40	-22.0	28	-27.4		
21	14.1	41	-22.8	31	-27.5		
22	14.2	42	-23.6	34	-27.5		
23	14.3	43	-24.1	37	-27.4		
24	14.3	44	-24.4	40	-27.3		
25	14.4	45	-24.7	45	-27.2		
26	14.5	46	-25.0	50	-27.3		
27	14.5	47	-25.2	13 00	-27.3		
28	14.5	48	-25.3	10	-27.5		
31	14.5	49	-25.5				

No. 100	
時 分	水 位 (cm)
10 ^h 15	-9.9
35	-9.9
55	-9.4
11 15	-9.4
35	-18.4
35	-22.5
12 15	-22.7
35	-22.7
55	-22.8

防府平野の浅層地下水と水収支（湯原浩三）

3つの井戸で同時に揚水したとき、各井戸での平均揚水量は 235 m³/h

4つの井戸で同時に揚水したとき、各井戸での平均揚水量は 208 m³/h
 という結果が得られる。したがって今回の実験では、4つの井戸で揚水していた時にそのうちの1つの揚水を停止したのであるから、揚水停止量は 208 m³/h と考えればよい。揚水停止と同時に残りの3つの井戸の揚水量は各々 208 m³/h から 235 m³/h に増加するが、これらの井戸は観測井から遠いから、前述のように適当な時間内ではその影響は無視できる。

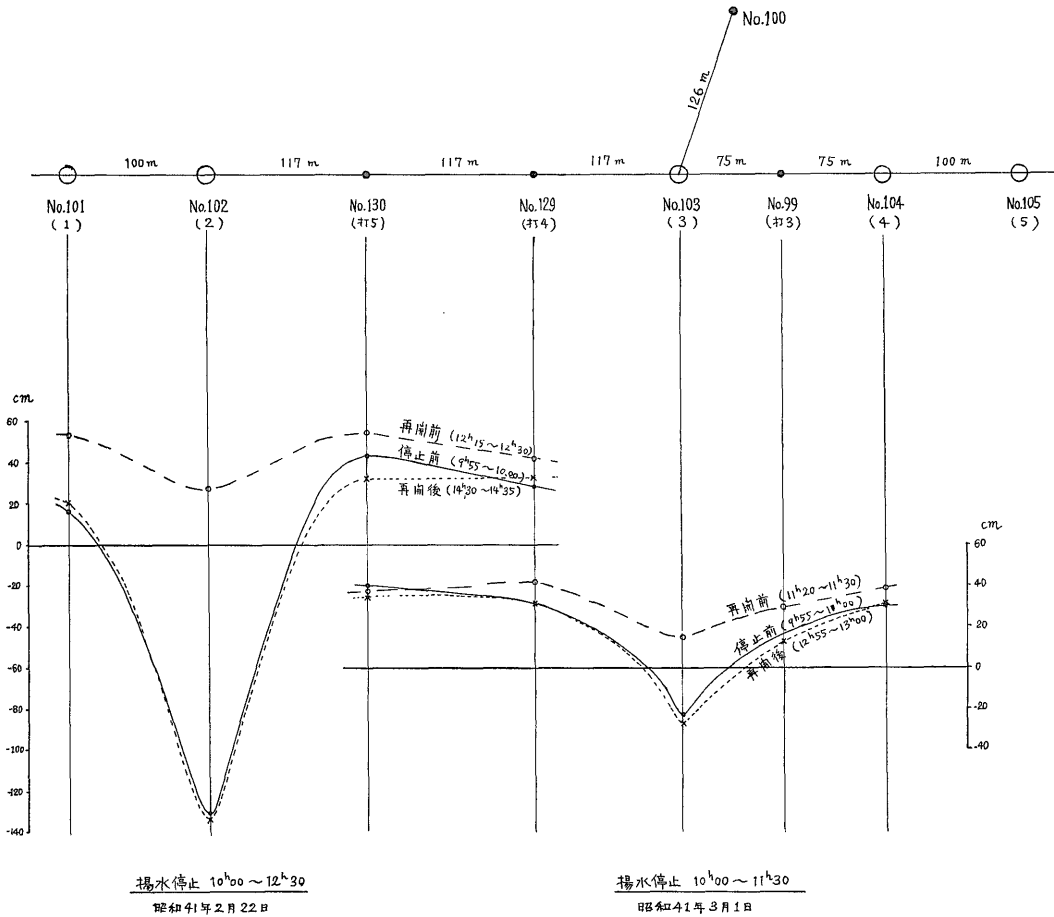
第1回目の実験に際しての各井戸の水位変化を第5表と第16図、第2回目のものを第6表と第17図に示す。これらからは、第1回目のNo.102の揚水停止量と、第2回目のNo.103の揚水量を同じとみなすのは疑問であつて、No.103の揚水停止量はもつと小さいように思えるが、そのときの資料が手元にないので、ここではともに 208 m³/h であつたと仮定する。

揚水停止前、再開前、再開後十分時間がたつてから、の3つの時点でそれぞれの水位の断面図を描くと第18図が得られる。これらを見ると、再開後1時間半から2時間もたつと、停止前すなわちつと続けて揚水している

試験資料

test (2)

No. 129		No. 104					
時 分	水 位 (cm)	時 分	水 位 (cm)	時 分	水 位 (cm)	時 分	水 位 (cm)
9 ^h 55	31.1	9 ^h 55	29.4	10 ^h 35	38.6	11 ^h 53	31.1
10 20	40.6	10 02	30.1	40	38.7	54	31.0
40	40.6	03	30.6	45	38.7	55	31.0
11 00	41.1	04	31.5	50	38.7	56	31.0
20	41.1	05	32.0	11 00	38.8	57	30.9
40	32.6	06	32.8	10	38.9	58	30.9
12 00	31.6	07	33.3	20	38.9	59	30.9
20	31.6	08	33.6	29	38.9	12 00	30.8
40	31.1	09	34.0	31	38.9	05	30.8
13 00	31.1	10	34.3	32	38.7	10	30.8
		11	35.1	33	38.4	15	30.7
		12	35.8	34	38.0	20	30.7
		13	36.1	35	37.4	25	30.7
		14	36.4	36	36.6	30	30.7
		15	36.6	37	36.0	40	30.7
		16	36.9	38	35.4	50	30.7
		17	37.1	39	34.9	13 00	30.6
		18	37.4	40	34.3		
		19	37.7	41	33.8		
		20	38.1	42	33.4		
		21	38.3	43	33.1		
		22	38.3	44	32.8		
		23	38.3	45	32.4		
		24	38.3	46	32.2		
		25	38.4	47	32.0		
		26	38.4	48	31.8		
		27	38.4	49	31.6		
		28	38.4	50	31.4		
		29	38.5	51	31.3		
		30	38.5	52	31.2		



第18図 揚水井付近の地下水位断面図
Level profiles of ground water near the discharge wells

ときの水位とほとんど一致し、定常状態に達しているといふことができる。一方停止したときには、その程度の時間では完全に周囲の水位と同じにはならないことを示している。

実験を行なった井戸は半径3mのコンクリート製円筒でできており、底は砂礫を敷きつめた浅井戸であつたから、一定量の揚水を継続して水位が定常状態に達したときは Forchheimer の式⁴⁾ が成りたつとみてよい。すなわち H を揚水前の水位、 z_0 を揚水継続によつて定常状態になつた水位、 r_0 を井戸半径、 q を揚水量とすると、

$$H - z_0 = \frac{q}{4kr_0} \quad (10)$$

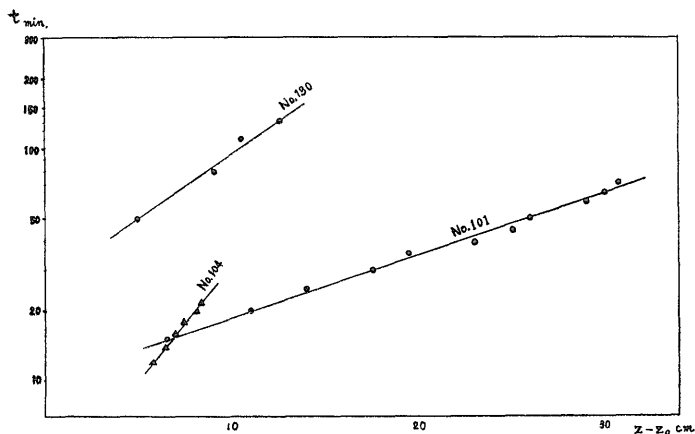
この関係式を用いると、第1回目の実験 (No. 102 の揚水) から $k=0.26$ cm/sec が、第2回目の実験 (No. 103 の揚水) から $k=0.74$ cm/sec が得られる。

つぎにまた、第16図、第17図に示した揚水停止時の水

位変化曲線を利用して透水系数を推算することができる。実験を行なった井戸の構造からみて、いわゆる Theis の非平衡式井戸理論をあてはめることは問題が多い。しかし、このような場合の水位の時間的変化を理論的に表わすことは相当厄介であるので、それは別の機会にゆずる。いまの場合、揚水井の半径に比して観測井までの距離がかなり大きいので、揚水井の近くの垂直方向の流れの影響は観測井ではほとんど無視されると考えると、ごく大まかな近似としては Theis の式を用いることが許されるであろう。揚水停止前には、揚水が非常に長く継続しているかまたは何らかの補給と釣合つて井戸水位が定常状態に達していたと考え、揚水停止後十分時間がたつたときには、水位 z は

$$z - z_0 = \frac{q}{4\pi kD} \left(\ln \frac{4kDt}{r^2 s} - 0.577 \right) \quad (11)$$

ここに t は揚水を停止してから時間、 D は帯水層の厚



第 19 図 揚水停止後の時間と地下水位上昇の関係
Time rise-up graphs in the pumping test

さで、5. におけると同様 $T=kD$ が透水量係数である。一方、実際の水位変化を半対数方眼紙上にプロットすると第19図のようになるから、これと (11) 式から T, S を、さらに $D=7\text{ m}$ として k を求めると

	T (cm ² /sec)	k (cm ² /sec)	S
No. 101	286.7	0.41	3.86×10^{-3}
No. 130	585.4	0.83	15.55×10^{-3}
No. 104	1114.1	1.59	2.00×10^{-3}

が得られた。

以上の計算結果を総合して、大塚工業用水源付近の地下水層では

$$k=0.26 \sim 1.6 \text{ cm/sec}$$

$$S=10^{-3} \sim 10^{-2}$$

程度と考えることができる。 k の値は、どちらかといえば、No. 101 や No. 102 から No. 130 や No. 104 の方へ、すなわち東へよるにつれて大きくなっているといえる。したがって地下水流は、この地域に関する限り、東寄りの方がより優勢であろうと思われる。

8. 防府平野中央部の水収支

3. で論じたところから、防府平野の地下水のうち、天満宮—桑山—協和醸酵防府工場を結ぶ線より東のものと、植松—女山を結ぶ線より西のものは一応中央部の地下水とは別の水系に属するものと考えられるから、それらを除外した中央部の地下水についてその収支を考察する。

いま、佐波川や用排水路から浸透してこの地域の地下水となる量を F 、雨が浸透して地下水になる量を P 、地

下水として海へ流出する量を G 、この地域からの揚水量を Q 、地下水位の低下量を H 、貯留係数を S 、この地域の面積を A とすると、地下水の収支は

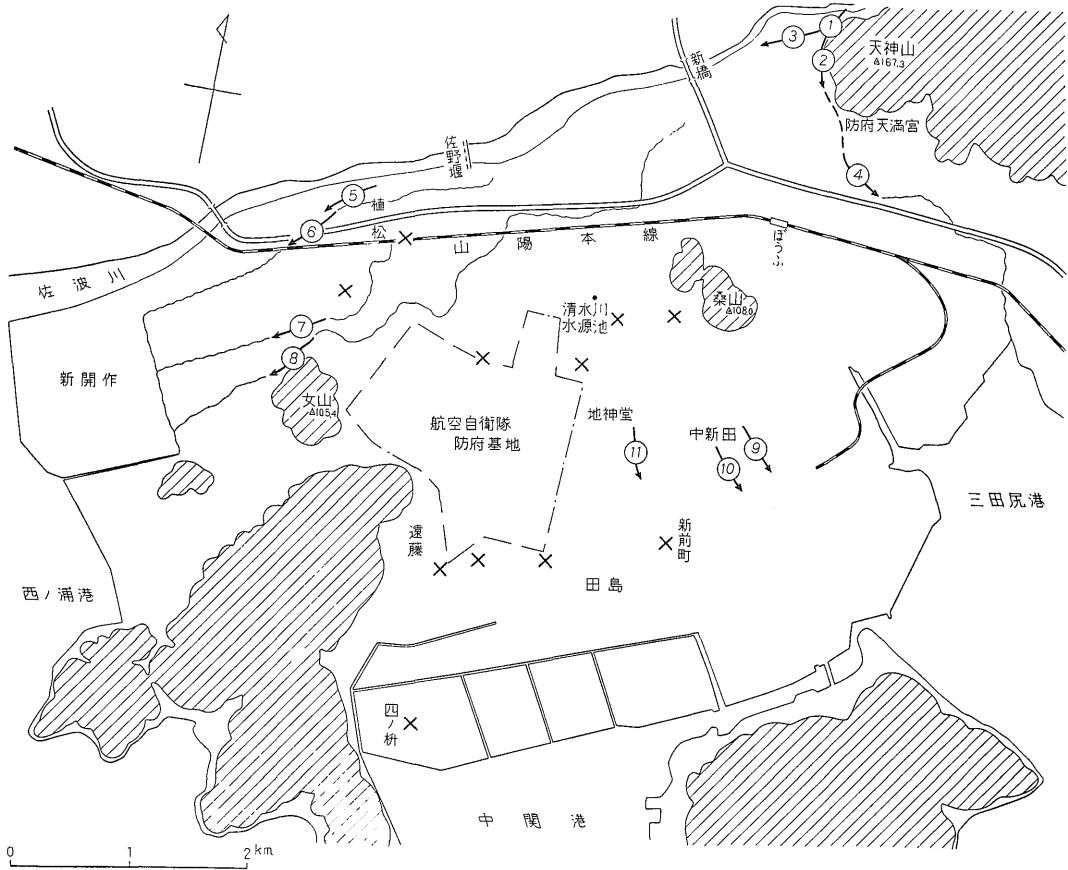
$$F+P-G-Q+HSA=0 \quad (12)$$

であらわされる。 F を佐波川からの浸透量 F_1 と用排水路からの浸透量 F_2 に分けて考える。後者については安藤²⁾ によつて測定が行なわれた。それによると地表水の流量を第20図に示した箇所²⁾で41年2月に測定した。結果は第7表のとおりであった。また、第20図中の×印の地点では實際上地表水の流れは認められなかった。したがって防府平野中央部で、測定時期に、用排水路から地下に浸透する水量は

$$F_2=0.1197+(0.0921-0.0832)-0.0806-0.0037 \\ =0.0443 \text{ m}^3/\text{sec}=3827 \text{ m}^3/\text{day}=1.4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$$

となる。この時期は1年の間で灌漑用水のもつとも少ない季節であったから、1年間では当然この計算値より大きくなると思われるが、第8表に示したこの地域からの揚水量に比して、やはりはるかに小さいであろう。揚水量の大部分を占める鐘紡や協和醸酵の井戸は第10図に示した幹線用排水路と佐波川の間にあつて、これらの揚水量が用水路からの浸透量よりはるかに大きいことは、用水路からの浸透量よりはるかに多量の水が佐波川から浸透し、それがこれらの揚水井をまかなっていることを示している。したがって $F=F_1$ とし、しかも、 F_1 が佐波川の水位に比例すると仮定すると $F=lW$ という形にかけられる。ここで l を佐波川の水位を示す無次元の係数とすれば W は $l=1$ の時の佐波川からの浸透量となる。次に P は降水量 p に比例するから、その係数を m とすると $P=mpA$ である。

G については、第12図に示した海岸付近の地下水位



第20図 地表水流量測定点
Measuring points of surface flow

第7表 用排水路流量
Surface flow in the central region

測点 Point	流量 Flow (m ³ /sec)
①	0.2118
②	0.0921
③	0.1197
④	0.0832
⑤	0.0037
⑥	0.0806
⑦	
⑧	
⑨	
⑩	
⑪	

の断面から、地下水として海に流出している量はそんなに多くはないと思われる。また、海水が陸地へ侵入して

いる傾向すらうかがえる所もあるので、実際には $G=0$ とおいてもさしつかえないと思われる。次に Q について、最近4年間の実測値を第8表に示す。また、第9表には昭和37年から昭和40年までの佐波川水位の年平均、年降水量、および No. 101, 102, 103 の井戸の1月の水位月平均値から求めた H の値とを示す。

以上の考慮から (12) 式は

$$lW + mpA - Q + HSA = 0 \quad (13)$$

と書きなおすことができる。ここで l, pA, Q, HA は実際の資料から知り得る量であつて、未知数は W, m, S の3つである。したがつて、3個の独立した式があれば代数的にこれらの未知数の値を知ることができる。そこで最近の3カ年の資料を用いると、 $A=22,375\text{km}^2$ であるから、 $10^6\text{m}^3/\text{年}$ の単位で

$$\text{昭和38年} : 0.74W + 41.51m - 49.14 + 6.53S = 0$$

$$\text{昭和39年} : 0.74W + 31.21m - 52.17 + 25.64S = 0$$

$$\text{昭和40年} : 0.88W + 35.24m - 55.58 - 5.59S = 0$$

防府平野の浅層地下水と水収支 (湯原浩三)

第 8 表 防府平野の地下水揚水量 (10⁶m³)

Discharges from the central region

年 度 Year	防 府 市 municipal wells					鐘 紡 Kanebo K. K.			協和醸酵	その他 (推定)	合 計 Total
	上 水 道			工業用水 (大 塚 水 源)	市 営 計 Total	第 1 泉 源	第 2 泉 源	計 Total	Kyowa- Hakko K. K.	Others	10 ⁶ m ³
	第 1 + 第 2 泉	第 3 (地 神 源 堂) 水 源	計								
昭和37年	2.33	—	2.33	—	2.33	26.51	3.15	29.66	10.96	1.0	43.95
38	3.07	2.34	5.41	—	5.41	29.57	2.70	32.27	10.46	1.0	49.14
39	2.63	4.09	6.72	1.35	8.07	30.72	3.36	34.08	9.02	1.0	52.17
40	2.52	3.77	6.29	7.06	13.35	28.77	4.53	33.30	7.93	1.0	55.58

第 9 表 地下水位年間低下量

Yearly draw-down of ground water level

年 度	記 号 l	p	H				
			佐 波 川 年平均水位 (m)	降 水 量 (mm)	地下水位年間低下量		
					No. 108 (cm)	No. 109 (cm)	No. 110 (cm)
昭 37	0.78	2031.8	2.4	10.5	14.3	9.1	
38	0.74	1855.1	12.5	23.6	41.5	29.2	
39	0.74	1395.1	107.5	113.0	123.5	114.6	
40	0.88	1574.8	-20.5	-24.0	-30.5	-25.0	

がなり立つので、これから

$$\left. \begin{aligned} W &= 62.90 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年} \\ m &= 0.035 \\ S &= 0.177 \end{aligned} \right\} (14)$$

が得られる。

m はいわゆる降雨の浸透係数である。これが 3.5% であるのは、多少小さ過ぎるという気がしないでもない。防府測候所で従来の方法で測定した蒸発量の資料をみると、年蒸発量は 38 年で雨量の 65%、39 年で 100%、40 年で 92% に達している。蒸発量の測定には種々の問題があるけれども、古来から塩田が発達した地域であることも考え併せて、この地方が気候的に蒸発の盛んな所であるとも考えられるので、実際に浸透係数が他にくらべて小さいのかもしれない。

S=0.177 という結果が得られたが、これは 5. に述べた揚水試験から得た結果に比して 1 桁大きい。これについては、揚水試験のような数時間程度の水圧または水位変化によつて、地層から絞り出されて地下水流に加わる水量は、地層全体積の高高数% であるけれども、経年

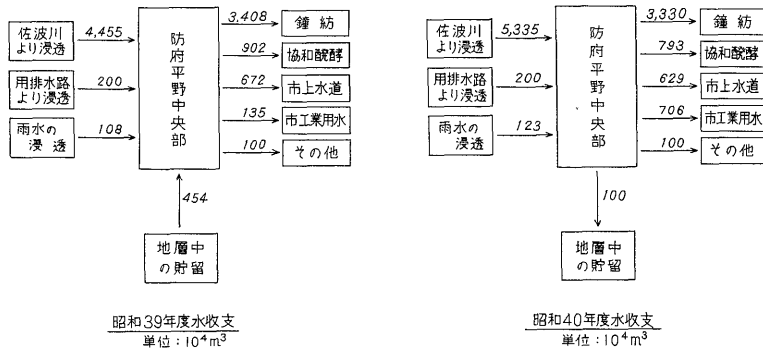
変化のような長時間の変化に対しては 2 割近い水を地層中から絞り出すことができると解釈される。ここで水収支について論じた防府平野中央部の地下水は、浅層地盤の研究からも明らかにされているとおり、一部は不圧地下水であり、他は不完全な被圧地下水であるので、上のような解釈は物理的にも矛盾しない。

(14) に示した諸常数を用いて、38~40 年の佐波川および用排水路からの浸透量、雨水の浸透量、地層中から

第 10 表 揚水以外の地下水への出入 (10⁶ m³)

Recharges to the central region

年 度 Year	佐波川および用水路 からの浸透量 From river and ditch			雨水から の浸透量 From rain	地層中から 絞り出された水量 From storage
	計	用水路 から	佐波川 から		
昭和38年	46.55	2.0	44.55	1.44	1.16
39	46.55	2.0	44.55	1.08	4.54
40	55.35	2.0	53.35	1.23	-1.00



第21図 防府平野の水収支

Schematic diagram of water balance in Hoku plain

絞りだされた水量等を計算したものを第10表に示す。さらに昭和39年と昭和40年について防府平野中央部の地下水に関する水収支を模式的に示したものが第21図である。すなわち、たとえば、昭和40年度では、佐波川と用排水路から合計 5,535 万 m³ の水が防府平野の地下水に供給された。用排水路からの分を前述の実測値に基づいて大ざっぱに 200 万 m³ とすると佐波川からは 5,335 万 m³ ということになる。この水は比較的川に近いところで、鐘紡と協和醸酵の工業用水として 4,123 万 m³ 汲みだされる。その残り 1,212 万 m³ と雨からの浸透量 123 万 m³ と用排水路からの分 200 万 m³ を加えたものから、市上水道として 629 万 m³、市営工業用水として 706 万 m³、その他一般使用量 100 万 m³ を差引いた残り 100 万 m³ が防府平野中央部に貯えられ、平均 25 cm の地下水位上昇となつてあらわれたことになる。昭和39年度は差引が 454 万 m³ もマイナスになり地下水位が平均して 115 cm も低下し、昭和38年度は 116 万 m³ のマイナスで 29 cm の地下水位低下をまねいたことになる。

9. 防府平野中央部からの安全揚水量

最後に防府平野中央部から揚水し得る地下水の安全量はいくらかという点について論ずる。まず何をもつて安全と考えるかという問題があるが、ここでは一応、地下水位を現状以下に低下させないということをもつて安全と考えることにする。地下水位を低下させないためには揚水量を地下水への補給量以下におさえることが必要であるが、補給量は佐波川の水位や雨量に支配される。その関係は前節の関係式 (13) で $H=0$ とおくことによつて得られる。すなわち地下水への補給量、いいかえれば安全最大揚水量は

$$Q = lW + mpA \quad (15)$$

(14) の常数値を用いて

$$Q = 62.90l + 0.78p, \quad 10^6 m^3 \quad (16)$$

ただし l は佐波川新橋での年平均水位を m 単位で表わしたものの、 p は年雨量を m 単位で表わしたものである。雨の少ない年の例として、年平均水位が 75 cm、雨量が 1400 mm であると、 $Q=4,827$ 万 m³ となり、雨の多い年として水位 90 cm、雨量 2000 mm とすると $Q=5,817$ 万 m³ となる。

もし、実際の揚水量を Q' としてそれが (16) 式から得られた安全最大揚水量より多いときには、地下水位の低下 H は、

$$H = \frac{Q' - Q}{SA} \quad (17)$$

Q, Q' を $10^6 m^3$ 単位であらわすと

$$H = \frac{Q' - Q}{3.96}, \quad m \quad (18)$$

となる。すなわち、400 万 m³ の過剰揚水は 1 m の年平均地下水位の低下となつてあらわれる。この水位低下は揚水井近くで大きく、遠方に行くにつれて小さくなるけれども、いずれは海岸地下水の水圧または水位低下となり、海水が陸地に侵入しやすくなり、ひいては地下水の海水による汚染という重大事態を招来する原因となる。ゆえに水源を防府平野中央部の地下水に求める限り、長期的にみて (16) 式によつて算出される安全揚水量を守ることが大切であると思われる。

(昭和42年5月稿)

参考文献

- 1) 地質調査所：周南地区地下構造調査報告書 (昭和38年)
- 2) 小鯛桂一：防府平野の浅層地質地盤、(未発表)
- 3) WERNER, P. W. (1946) : Notes on Flow-Time Effects in the Great Artesian Aquifers of the Earth. *Trans. Am.*

防府平野の浅層地下水と水収支 (湯原浩三)

- Geophy. Union*, vol. 27, no. 6
- 4) 物部長穂(1950): 水理学, 岩波書店, p. 483
- 5) THEIS, C. V. (1935): The Relation between
the Lowering of the Piezometric
- Surface and the Rate and Duration
of Discharge of a Well. *Trans.
Am. Geophy. Union*, vol. 16
- 6) 安藤高明: 防府平野の地表水流量測定 (未発表)