南関東地域の地下水利用と地盤沈下

新 藤 静 夫*

Groundwater Utilization and Landsubsidence in the Southern Kanto District

Shizuo SHINDOU

Abstract

In this paper the author deals with the prediction of groundwater level and landsubsidence accompanied with the groundwater utilization.

The main results of this investigation are as follows.

- 1) Close agreement between distribution of hydrogeological constants and geological structure is pointed out.
- 2) As a result of digital simulation, accelerative water level decline in heavy pumping area and recovery depended on the reduction of discharge are showed.
- 3) Quantitative relation between landsubsidence and amount of discharged water is clarified. The ratio of the former to the latter is 2-20 and its average value is about 5-6.
- 4) Efficiency of discharge to landsubsidence takes maximum value in the first year and decreases as a time proceeds.
- 5) By the means of electric analog computer method, a reasonable disposition of observation well and the interference areas which are caused by regional groundwater utilization are examined and he points out that there are some problems in present observation system.
- 6) He proposes the simple method for prediction of landsubsidence of which idea is based on a black box and points out that there is close agreement between observed and calculated values.

I. はじめに

筆者は昭和45年以来、南関東地方地盤沈下調査会のメンバーの一員として、当該地方の地下水の実態を明らかにする作業に従事して来、その成果を同調査会による報告書(1971, 1973)^{1,2)}の外、日本地下水学会、日本学術会議地質研連水文地質小委員会主催シンポジウム(1971)²⁹⁾、ならびに日本地質学会開催のシンポジウム(1972)³⁰⁾において公表した。またこれらの総括を土質工学会誌に掲載した(1972)³⁰⁾。

これらの内容のうち、本題に関係する重要な点を取りまとめるとつぎのようになる。

- 1) 地下水面は、全体として東京都心部を最低位とし、その周辺部が高くなる、いわゆる盆状の形状を示す。

* 東洋大学工学部 Faculty of Engineering, Toyo University

2) 地下水位低下は、このような形状をほぼ保ちつつ進行しているが、最低下部は年々北に移動し、かつ水位低下地域が拡大している。

3) このような形状は、地下水の揚水という人工的要因によつてかたちづくられたところが多い。このことは地下水利用がきわめてわずかであつた初期の状態を復元することによつて理解できる。すなわち当初は江東地区の外に浦和市および川口市の北東部から草加市にかけて明らかに地下水面上凹部がみとめられ、それぞれ別の地下水域にあつたが、地下水位低下の進行とともに地下水面に形状の上で両地域が一つの地下水域を形成するにいたつたものと解される。

4) 地下水頭と帯水層深度の関係を図示すると、ほぼ 45° の線上にならび、おおむねその関係を保ちつつ変化しているといえる。つまり全体として静水圧分布の上で平衡状態を維持しながら変化するものといえる。

5) これらのことから時間単元を年単位というように大きくとつた場合には、各時期の地下水面は、ほぼその時点での地下水賦存量の上限をあらわしているものとして良いこと、つまり長期間の量的変化について考察を進める場合には、深層部の地下水であっても自由地下水とほぼ同じような考え方で検討しても良いことがわかる。

6) 各地区の揚水量と水位低下量から粘土層、砂層、礫層を一括した地層全体の平均の産出率を求めてみると、ほとんどのものは $0.1 \sim 0.3$ の値を示し、平均は 0.15 前後である。これは地層の有効空隙率そのものとしておかしくないものであつて、このことを換言すれば、ほとんど揚水した分だけ地下水位が低下す

第1図 調査地域

第1表 揚水量 (昭和45年)

(単位 m ³ /year)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	0	45,000	0	150,500	150,500	13,650	1,274,675	19,110
2	0	0	0	0	0	270,200	240,800	87,500	2,868,525	13,650
3	109,500	0	0	180,000	67,900	246,700	240,800	210,700	48,510	123,600
4	0	109,500	0	37,800	359,070	169,750	263,900	263,900	371,300	3,480,120
5	0	0	0	147,300	169,120	1,517,700	762,150	203,700	175,000	136,500
6	0	37,100	111,300	185,500	185,500	182,350	806,550	203,700	247,800	402,750
7	90,000	37,100	92,750	5,329,600	1,205,950	468,375	234,550	246,400	259,000	177,800
8	0	37,100	333,300	0	724,300	385,700	366,500	452,900	276,500	983,660
9	109,500	0	260,245	55,300	1,301,700	2,692,280	397,600	2,185,180	3,532,300	397,600
10	109,500	259,320	199,500	383,800	917,075	276,500	1,312,260	1,345,160	517,700	415,565
11	109,500	109,500	435,500	465,500	109,500	612,700	2,924,840	1,682,905	1,570,190	1,233,420
12	0	109,500	310,500	120,000	238,200	2,700,000	221,600	1,231,380	2,052,530	3,730,340
13	0	1,206,450	180,000	207,000	414,000	673,060	319,900	1,343,320	333,000	558,700
14	109,500	66,600	0	0	0	109,500	269,700	66,600	277,800	1,104,275
15	283,970	63,300	354,000	380,950	441,630	0	172,800	186,380	1,124,814	0
16	150,000	74,325	573,150	219,000	1,070,125	1,948,575	3,538,675	126,720	943,725	1,420,215
17	141,620	343,830	239,440	0	2,700,425	1,097,450	1,036,860	914,035	3,332,030	277,400
18	346,020	716,300	555,420	1,376,410	1,580,450	87,430	641,795	601,720	2,045,905	3,622,045
19	4,727,170	0	2,908,365	6,527,080	2,974,770	2,009,325	4,366,725	948,390	920,875	3,275,460
20	1,527,735	1,398,695	2,524,180	1,917,710	2,343,300	10,989,905	3,705,845	3,309,285	2,768,805	5,398,440
21	1,683,200	5,448,190	6,306,300	5,045,030	2,569,455	1,155,225	6,162,745	3,481,045	3,164,200	8,077,585
22	222,650	133,590	772,530	10,585,910	2,291,840	3,295,950	6,371,405	4,204,435	656,635	3,146,685
23	3,180,275	997,760	16,339,050	4,983,370	4,911,075	4,042,300	1,856,670	4,244,220	3,445,880	2,506,730
24	1,566,230	4,766,675	2,449,405	1,971,000	572,320	2,589,995	3,713,355	4,309,215	448,415	5,292,160

第1表 つづ き

(単位 m ³ /year)										
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	19,110	4,200	527,985	8,400	0	2,155,325	441,760	10,920	21,840	21,840
2	19,110	4,200	16,800	54,600	142,680	50,400	297,500	0	16,380	10,920
3	331,700	130,200	226,100	214,200	196,000	84,000	438,400	273,700	1,397,220	6,160
4	1,490,100	250,200	56,000	224,000	1,137,215	103,600	84,000	1,089,270	683,305	221,820
5	452,400	105,000	1,488,530	231,800	3,344,930	1,188,200	246,960	536,310	530,800	1,579,480
6	92,400	3,283,200	6,518,670	366,350	537,800	986,560	1,395,140	211,400	5,202,050	1,095,500
7	2,101,860	941,850	1,751,100	2,459,745	1,421,870	762,670	1,128,770	103,670	759,860	1,374,530
8	366,000	203,680	883,650	1,245,095	138,800	211,800	3,558,410	522,405	211,400	895,340
9	196,750	1,397,270	2,801,385	3,055,085	223,700	902,900	139,990	295,400	127,400	184,800
10	125,370	355,770	1,103,700	3,145,690	733,100	138,800	32,970	104,540	127,400	221,960
11	82,250	10,780	1,291,455	3,168,095	3,278,600	146,920	20,580	219,380	351,340	21,000
12	1,900,690	350,000	977,470	1,958,110	3,904,050	3,435,840	3,771,930	245,580	462,000	249,900
13	993,605	1,161,200	194,940	2,633,780	2,985,800	3,209,200	693,000	4,009,800	2,480,700	0
14	72,100	4,566,980	165,000	311,920	1,382,100	1,455,900	1,148,030	4,781,710	5,190,115	4,254,600
15	346,250	2,675,650	2,882,070	0	3,525,350	1,051,500	7,301,170	5,334,455	2,178,000	749,575
16	1,607,415	3,252,270	1,588,800	1,684,380	272,925	4,144,980	8,325,690	531,770	1,288,750	536,870
17	2,516,625	1,052,440	2,069,545	6,245,275	1,719,690	3,590,520	10,486,420	8,373,865	7,084,250	2,017,000
18	2,737,870	532,995	760,545	295,650	1,666,600	3,666,515	6,070,290	3,175,245	5,237,190	6,352,110
19	4,416,535	1,383,445	866,350	1,729,460	1,205,070	1,521,315	1,676,460	2,439,735	2,201,390	1,553,110
20	4,027,795	679,455	722,765	533,135	785,760	1,057,360	1,438,910	2,230,875	1,703,305	1,485,570
21	5,207,090	4,814,665	1,602,325	1,245,615	1,135,515	1,218,365	3,093,470	2,341,655	3,047,470	2,137,160
22	7,141,845	6,752,755	1,041,190	1,212,675	1,014,675	1,220,490	1,657,880	1,896,450	1,479,140	1,595,925
23	7,496,370	7,922,845	279,290	551,085	416,465	1,528,465	694,960	292,730	590,825	1,631,725
24	2,999,980	4,037,030	447,490	624,500	294,750	557,250	926,270	905,920	675,800	172,900

第1表 つづき

	(単位 m ³ /year)									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	33,480	57,000	390,096	445,824	185,760	315,792	315,792	448,602	737,050	737,050
2	17,080	213,160	31,350	315,792	315,792	388,792	315,792	315,792	736,963	664,050
3	6,160	422,290	14,250	46,350	324,342	315,792	315,792	448,602	737,050	1,483,792
4	0	66,000	37,200	39,150	124,230	315,792	315,792	664,050	664,050	956,050
5	302,300	328,290	914,298	662,174	35,568	92,880	167,184	265,620	265,620	66,405
6	302,300	676,580	66,000	1,718,426	785,976	505,723	104,736	199,215	199,215	236,562
7	2,673,490	233,350	117,900	119,256	694,942	426,726	201,552	0	35,000	435,000
8	2,757,390	131,970	83,700	412,166	2,576,574	1,661,821	1,055,179	353,610	0	515,000
9	1,240,895	1,760,890	40,200	0	9,940	380,785	1,010,298	102,084	652,751	0
10	1,872,790	2,466,885	130,500	258,300	477,760	106,272	2,405,270	1,141,176	756,300	111,456
11	1,874,540	432,600	21,000	1,040,700	258,760	136,064	697,800	1,077,396	1,347,396	2,378,730
12	4,629,475	1,236,550	12,600	258,300	39,760	273,492	1,471,866	881,358	3,430,430	1,612,016
13	1,107,410	2,366,115	1,350,505	472,500	4,760	4,119,607	218,688	1,223,914	164,250	2,508,228
14	253,500	3,417,170	3,045,990	1,751,385	702,055	407,700	597,546	1,058,734	2,123,940	3,22,7674
15	2,063,565	2,325,360	1,789,405	3,071,880	482,895	2,053,655	1,538,993	2,983,667	921,784	110,856
16	83,950	826,245	1,915,500	780,795	405,000	863,740	1,956,098	766,224	1,715,983	1,214,820
17	2,541,275	1,742,850	1,255,450	533,310	554,450	2,024,665	2,590,110	960,976	3,598,708	366,195
18	3,090,995	1,554,830	456,625	1,855,270	1,477,050	430,710	821,840	1,665,990	446,600	654,550
19	1,735,790	1,376,950	2,658,580	4,901,775	867,175	651,635	743,058	947,100	1,192,090	314,855
20	2,007,590	1,425,425	1,714,650	6,098,300	721,990	1,399,790	2,477,675	1,932,320	668,590	1,343,820
21	1,280,935	608,310	1,105,950	1,619,870	2,958,015	94,170	746,145	1,669,925	212,735	4,601,245
22	958,125	54,540	191,925	796,745	2,184,950	226,370	283,525	172,200	1,722,000	2,594,385
23	260,000	35,925	39,000	39,000	1,107,695	130,613	0	362,400	861,000	0
24	201,600	0	0	0	0	768,000	0	0	0	0

第2図 地下水揚水量の分布(昭和45年)

るということがいえる。

以上の諸点をふまえて、筆者はそのうち模型実験を併せ行ないつつ、地下水位変化と地盤沈下の予測の問題を追求し、これを調査会最終報告として公表した(1974)⁵⁾。

ここではこれらのうち、①地下水位変化の予測、②地盤沈下体積と地下水揚水量の関係および③地盤沈下量推定の一手法をのべる。また①の調査の過程で利用した④電気アナログモデルによる解析例を合わせてべることにする。

本論を公表するにあたり、これらの研究の機会を与えて下さった東京都、千葉県、埼玉県、神奈川県各関係機関の担当職員の方々、種々御助言をいただいた調査会のメンバーの方々に厚く御礼申し上げる。

II. 地下水位変化の予測

(1) 資料処理および計算方法

南関東地域を第1図に示したように、東西60 km、南北48 kmの方形の区画でかこみ、これを一辺2 kmの方眼で細分した。したがって小区画の総数は720箇所となる。

揚水量、帯水層定数、その他の資料はすべてこの方眼に整理した。なお地下水位の予測計算にあたって

第2表 基準年に対する揚水量の増減量(比率)

	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
板橋			*0.70	0.40	0.40	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.12	0.12
北足			*0.62	0.23	0.21	0.11	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06
葛立			*0.64	0.27	0.26	0.26	0.19	0.13	0.13	0.13	0.11	0.11
飾			*0.70	0.39	0.39	0.38	0.22	0.09	0.09	0.09	0.07	0.07
荒川			*0.78	0.56	0.47	0.29	0.28	0.28	0.28	0.28	0.20	0.20
墨田			*0.73	0.46	0.42	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.29	0.29
江戸			*0.89	0.78	0.64	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.15	0.15
江川			*0.95	0.90	0.90	0.90	0.27	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
港品			*0.83	0.66	0.66	0.58	0.36	0.36	0.35	0.30	0.22	0.22
大田			*0.84	0.67	0.66	0.66	0.64	0.60	0.50	0.42	0.35	0.35
			*0.85	0.070	0.70	0.70	0.67	0.63	0.51	0.42	0.34	0.34
目黒			*0.89	0.77	0.78	0.60	0.46	0.46	0.43	0.40	0.32	0.32
世田			*0.87	0.73	0.73	0.67	0.57	0.52	0.43	0.40	0.37	0.37
中野			*0.94	0.88	0.87	0.74	0.59	0.57	0.52	0.51	0.44	0.44
杉並			*0.84	0.67	0.67	0.61	0.54	0.52	0.48	0.48	0.48	0.48
練馬			*0.91	0.82	0.72	0.66	0.58	0.54	0.46	0.45	0.44	0.44
千代田		基	*0.66	0.32	0.32	0.21	0.10	0.09	0.08	0.06	0.06	0.06
中新		準	*0.88	0.76	0.76	0.55	0.28	0.28	0.26	0.24	0.19	0.19
文京		年	*1.00	※1.00	※1.00	0.79	0.52	0.47	0.38	0.32	0.30	0.30
台東			*0.95	0.90	0.90	0.68	0.41	0.37	0.26	0.26	0.25	0.25
豊島			*0.79	0.57	0.57	0.46	0.31	0.31	0.30	0.30	0.30	0.30
			*0.83	0.65	0.65	0.64	0.47	0.43	0.34	0.33	0.30	0.30
			*0.97	0.63	0.93	0.67	0.41	0.38	0.31	0.36	0.21	0.21
八王子			0.93	0.81	0.80	0.85	0.76	0.65	0.47	0.37	0.26	0.22
日野			※0.80	0.75	0.76	0.78	0.69	0.56	0.37	0.30	0.24	0.20
多摩			1.03	1.15	1.21	1.27	1.11	0.92	0.67	0.46	0.29	0.18
瑞穂			※0.85	0.81	0.98	0.84	0.81	0.73	0.62	0.48	0.38	0.34
福生			1.07	1.06	1.08	1.10	1.00	0.89	0.74	0.61	0.47	0.38
立川			1.14	0.85	0.85	0.95	0.82	0.65	0.47	0.31	0.16	0.06
武蔵			1.00	1.01	1.04	1.03	0.94	0.76	0.56	0.37	0.20	0.08
三府			0.93	0.84	0.88	0.93	0.82	0.68	0.51	0.35	0.22	0.13
昭中			0.99	0.94	0.97	1.00	0.88	0.72	0.45	0.28	0.22	0.15
調島			1.02	0.98	1.00	1.05	0.92	0.75	0.50	0.37	0.26	0.18
小金			1.01	0.82	0.85	0.88	0.79	0.66	0.48	0.36	0.25	0.19
小井			1.00	1.01	1.03	1.15	1.00	0.81	0.60	0.38	0.19	0.05
小平			0.91	0.81	0.83	0.86	0.76	0.63	0.43	0.31	0.22	0.16
東国			*1.00	0.96	0.98	0.97	0.94	0.89	0.76	0.64	0.53	0.51
保寺			1.19	1.04	1.06	1.16	1.01	0.81	0.59	0.39	0.22	0.10
田立			*0.80	0.77	0.79	0.87	0.76	0.62	0.46	0.30	0.16	0.06
保谷			1.07	1.00	1.01	1.07	0.93	0.76	0.53	0.38	0.25	0.16
田無			*1.05	1.04	1.05	1.10	0.96	0.78	0.51	0.39	0.30	0.24
狹山			*0.90	0.86	0.93	0.97	0.85	0.71	0.53	0.35	0.17	0.07
武蔵			0.93	0.80	0.81	0.83	0.74	0.61	0.40	0.34	0.27	0.24
大和			1.11	1.17	1.21	1.26	1.10	0.89	0.60	0.45	0.32	0.22

* 推定

※ 補正

は、このような広大かつ区画数の大きい問題に最適とされている A.D.I 法 (alternating direction implicit method; 交互方向陰解法) によった。これを運用するにあたって採用した種々の条件はのちに述べる。

(2) 揚水量

a. 実績値の算出

第2表 つ づ き

	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
清瀬久留米			0.88 0.88	0.93 1.46	0.99 1.48	1.02 1.56	0.91 1.37	0.70 1.12	0.53 0.81	0.36 0.65	0.20 0.49	0.09 0.39
川戸鵜沢浦与大	口田谷 ヶ 和野宮		0.84 0.93 0.80 *0.87 1.03 0.93 3.01	*0.79 *0.84 *0.78 *0.96 *1.05 *0.88 *1.04	*0.74 *0.75 *0.73 *1.06 *1.08 *0.84 *1.06	*0.69 *0.65 *0.73 *1.15 *1.10 *0.79 *1.09	*0.64 0.56 0.70 *1.24 1.12 0.74 1.11	0.36 0.32 0.41 1.10 0.75 0.50 0.74	0.10 0.22 0.29 0.68 0.50 0.33 0.49	0.05 0.21 0.25 0.64 0.47 0.31 0.47	0.02 0.15 0.25 0.59 0.45 0.30 0.44	0.01 0.15 0.25 0.52 0.42 0.28 0.41
草八三越松岩春吉庄	加潮郷谷伏槻部川和 日	基	*1.11 1.12 1.24 1.14 1.20 1.15 1.18 1.06 1.36	*1.04 *1.07 *1.16 *1.16 *1.14 *1.12 *1.15 *1.04 *1.29	*0.97 *1.01 *1.08 *1.06 *1.09 *1.06 *1.12 *1.01 *1.22	*0.90 *0.96 *1.00 *1.01 *1.03 *1.05 *1.09 *0.99 *1.14	0.83 0.90 0.92 0.97 0.97 1.02 1.06 0.96 1.07	0.51 0.51 0.57 0.64 0.64 0.65 0.70 0.65 0.85	0.21 0.13 0.27 0.35 0.35 0.38 0.33 0.44	0.22 0.14 0.26 0.34 0.34 0.34 0.37 0.35 0.46	0.22 0.14 0.27 0.34 0.34 0.33 0.35 0.31 0.41	0.23 0.15 0.29 0.34 0.34 0.34 0.35 0.35 0.46
川所狭入朝志和新富上大三	越沢山間霞木光座見岡井芳 土福	準年	1.09 1.52 0.72 0.84 1.10 1.11 1.02 1.01 1.23 1.16 1.47 1.20	*1.00 *1.33 *0.73 *0.77 *1.01 *1.05 *1.01 *0.95 *1.14 *1.10 *1.32 *1.15	*0.91 *1.13 *0.73 *0.71 *0.92 *0.99 *1.00 *0.90 *1.05 *1.04 *1.17 *1.11	*0.82 *0.94 *0.74 *0.64 *0.82 *0.92 *0.98 *0.84 *0.96 *0.97 *0.02 *0.06	0.73 0.74 0.74 0.57 0.73 0.86 0.97 0.78 0.87 0.89 0.87 1.01	0.66 0.70 0.79 0.60 0.69 0.73 0.92 0.70 0.78 0.79 0.90 0.01	0.63 0.80 0.72 0.52 0.58 0.64 0.78 0.61 0.70 0.40 0.76 0.97	0.30 0.87 0.29 0.30 0.35 0.46 0.46 0.40 0.41 0.40 0.43 0.41	0.21 1.01 0.19 0.25 0.26 0.47 0.34 0.40 0.46 0.28 0.31 0.23	0.20 1.15 0.19 0.05 0.22 0.49 0.29 0.42 0.36 0.22 0.26 0.13
連宮白杉上	田代岡戸尾		※1.00 1.50 1.18 1.28 ※1.11	※1.02 *1.65 *1.33 *1.39 *1.21	※1.04 *1.81 *1.48 *1.49 *1.32	※1.05 *1.96 *1.62 *1.60 *1.42	※1.06 2.11 1.77 1.70 1.53	1.07 2.36 1.97 1.88 1.60	1.18 2.60 2.16 2.09 1.65	1.29 2.82 2.44 2.30 1.66	1.40 3.03 2.69 2.61 1.64	1.51 3.37 2.99 2.96 1.62
市船浦松流柏野鎌	川橋安戸山田谷 ヶ		0.34 0.70 1.00 0.93 0.94 1.11 1.03 1.60	0.15 0.44 1.00 0.95 0.98 1.39 1.04 2.00	0.15 0.44 1.00 0.97 1.07 1.67 1.08 2.00	0.15 0.44 1.00 0.97 1.07 1.83 1.08 2.00	0.15 0.44 1.00 0.97 1.07 1.94 1.08 2.00	0.15 0.44 1.00 0.97 1.07 1.94 1.08 2.00	0.15 0.44 1.00 0.97 1.07 1.94 1.08 2.00	0.15 0.44 1.00 0.97 1.07 1.94 1.08 2.00	0.15 0.44 1.00 0.97 1.07 1.94 1.08 2.00	0.15 0.44 1.00 0.97 1.07 1.94 1.08 2.00

* 推 定 ※ 補 正

各種の資料がほぼ同一の精度で広域的に整理されている昭和45年を基準年とし、この時点での地区別、用途別の深井戸1本当りの揚水量を算出した。いま参考までに全域の平均値を示すと、公営水道水源井では1,488 m³/d、工業用水では325 m³/d、雑用水では158 m³/d、簡易水道では274 m³/d、農業用水では191 m³/dとなっている。

つぎに既往の深井戸分布図^{2,13,20,24,25)}に補足調査の結果を加えて各小区画ごとの井戸本数を集計した。ここで調査地域全域での用途別の井戸本数は、上水道水源井が917本、工業用水源井が3,483本、雑用水源井が3,100本、農業用水源井が4,087本で合計11,587本となっている。

第3図 透水量係数分布

以上の結果が区画別の揚水量を算出した^{注1)}。第1表がこれである。

また第2図はこの分布を示したものである。これによると東京都心部の外に武蔵野地域、東武東上線、高崎線、東北線、東武伊勢崎線の各沿線地域の揚水量が多くなっているのが指摘される。

b. 予測揚水量

各行政区ごとに算出されている計画揚水量を基準年に対する比率として表示した。

第2表がこれである。ほとんどの市町では揚水の削減を策しており、昭和55年には全体として揚水量は現在の半分以上におさえたいとしている。

(3) 帯水層定数

a. 透水量係数

当地域の揚水試験資料220例余りを用いたほか、その補足資料として比湧出量を参考に透水量係数の分布を求めた。第3図がそれである。

透水量係数は調査地域の中心部にあたる浦和、大宮、岩槻、越谷地域が $2,000 \text{ m}^2/\text{day}$ に達する高い値を示し、その周辺部が低い値となっている。全体としては当地域に想定される地下水盆の形状と一致した分

第4図 地下水位低下量の分布(昭和44年—昭和45年)

布を示し、注目される。

b. 産出率

産出率についてはつぎの方法によつて求めた。すなわちまず昭和44年から45年にかけての地下水位の記録からこの期間における各区画ごとの水位低下量を求めた。第4図はその分布図である。

すでに指摘して来たごとく、武蔵野地域や埼玉県での水位低下が目立ち、最大年間5m以上に達するところが見とめられる。つぎにこの図と第2図の揚水量の分布から単位面積当りの地下水産出量(水柱高によつて示す)を求めた。

第5図は一部に手直しを加えて画いたその分布図である。透水量係数の分布と同様に埼玉県南部が高く、その周辺部が低くなつており、やはり地下水盆の形状と一致しているのが指摘できる。

この値は多層構造の地盤を対象として算出したもので、いわゆる有効空隙率とはその意味が異なるが、水収支計算の時間的、空間的スケールが大きい場合には、これと同義にとりあつかい。かつ深層地下水に対しても拡張してこれを適用することが出来る³¹⁾。

ここではこの値をベースとし、種々の検定計算の結果これを補正し、固定した。計算に用いた値は第5

第5図 産出率の分布(相対値で示す)

図とやや異なるが、これに0.1を乗じた値とほぼ一致する。

(4) 計算条件

a. 初期水位

先に昭和44年時の地下水面が得られているのでこれを初期水位とした。第6図にこれを示す。なお図からの水位の読みとりは、その区画内の平均水位をもつてした。

b. 周辺条件

周辺はすべて開放とし、一定水頭差で流入しているものとした。水頭はいくつかの試行計算の結果と現況を参考として、北縁で3m、西縁で5m、東縁で3m、南縁で2mとした。

c. 計算期間

計算は1年刻みとし、昭和45年～昭和55年の11年間とした。このうち45～48年は検定のための期間であり、49年～55年は予測期間である。なおいうまでもなく計算の入力値は揚水量と周辺条件および帯水層パラメータであり、出力値は地下水位(海拔高度)である。

(5) 計算結果

計算には NEAC 3100電子計算機を用いた。ここでは計算結果を10万分の1の縮尺を考えた位置に打ち

第6図 地下水面（昭和44年）

出すようにした。第7図～第9図にその結果を示す。地下水利用の地域分布、またその規模によつて地下水面の形状が変化する様子がよく示されている。

つぎに第10図は各地区の水位変化図である。今後の計画揚水量の増加が見込まれる地域たとえば埼玉県上尾市付近、千葉県柏市などは、かなりはげしい水位低下が予測されるが、揚水量を現在の半分以下におさえるという計画の大宮市、浦和市などではその効果が明らかに認められる。またすでに揚水量の規制が行なわれ、またその徹底を期している板橋区、足立区などでは地下水位の回復が認められる。

III. 沈下量の予測

(1) 基本的な考え方

地盤沈下量の予測に際して圧密理論を適用して解こうとする場合は勿論、これに類したほかの方法²⁾を用いるにしても、これを適用するためには、圧密に関する土質係数、あるいは水位変化の資料を各層毎に確定しておく必要がある。しかし実際にはこのことはほとんど不可能に近い。厳密な値を要せず、大略の地盤沈下の傾向を把握しようとする場合は、地下水位という変数を介さずに揚水量と沈下量の実績値をベースとして求めた方が手取り早い。これはつぎの2つの手続きをもととして行なわれる。すなわち一つは沈下体積と揚水量の関係であり、他はその時間的配分である。

(2) 揚水量と沈下体積

a. 沈下体積

第7図 推定地下水面図 (1) (昭和46年) 数字は海拔高度を示す

第11図に示したように5万分の1地形図を16等分してこれを1区画の大きさとし、全部で111区画を設けた。本論にはふれていないが、地質構成、帯水層の利用頻度、水位変化等の処理はすべてこの区画の中で処理している。

沈下体積は1区をさらに16等分してその交点に相当する地点の沈下量を読みとり（これは各年度毎にとりまとめられている地盤沈下等量線図から読みとつた）その総和値に小区画の面積を乗じて求めた。第3表は各地区ごとの揚水量であり、第4表は以上によって得た沈下体積である。

b. 揚水量と沈下体積の比

第5表は第3表、第4表より得た平均揚水量を平均沈下体積で除した値である^{注3)}。これによるとその値が大きいくところでは10以上、つまり揚水量は沈下体積の10倍以上を示し、小さいところで2程度となっている。また平均は5～6といったところである。ここで比率の大きいところと小さいところの地理的分布にはそれぞれに共通の原因が関係しているように思われる。例えば江東、浦安のように極端に小さいところは、通常の地下水の揚水以外の要因、つまり天然ガス採取によるものが大きなウェイトを占めているものと思われる。これに対して地下水の補給が多く行なわれているようなところや、地盤沈下が終息に近づいているようなところでは、Q/S 値は大きくなることが予想される。このことは第12図に示した揚水量とQ/S 値の関係や、第13図に示した Q/S 値の年変化の上で認めることができる。すなわちこれによると全体として揚水量の大きいところほど誘発的な涵養が行なわれて Q/S 値が大きくなるが、時間の経過に従

が、水位低下地域が拡大して、地下水の補給が減退するとともに Q/S 値が减小する傾向が示されるものと解される。なお第12図には $Q-Q/S$ 関係にみとめられるおよその地域区分が示されているが、ここで a 地域は上述のようにガス採取地域にほぼ一致し、c 地域は沈下の漸減がみとめられる地域あるいは周辺からの地下水の補給を誘発していると考えられる地域にあたり、b はその中間的な性格を示す地域にあたるものと思われる。埼玉県南部地域がこれにあたる。

c. 揚水量と沈下体積の相関度

第3表、第4表よって、ある年度の沈下体積とこれに対する当年、1年前、2年前……の各年度の揚水量を図示し、各々の場合について両者の相関度をしらべると、当年の場合がもつとも大きく、以下年度をさかのぼるにしたがい漸減するのが示される。たとえば第14図の場合には相関係数は当年が0.64、1年前が0.62、以下0.60、0.58^{注4)}となっている。年度による揚水量の変化がかなり顕著になっている地域でしかも収縮層が限定されている例、たとえば、江戸川観測井(55 m)の記録⁵⁾と江東・江戸川地区の揚水量の記録によつて同様の手続きを行なってみると、当年では0.93、1年前では0.80、以下0.15、0.13とかなり明瞭に相関の度合いが示される。この例では沈下に対する揚水の影響は大きく2年前までで、それ以前の揚水による影響度は急激に減退するものと判断される。

(3) 沈下量の簡易予測法

以上にのべて来た結果から、つぎの仮定をたてる。すなわち、

1) 揚水による沈下体積の割合は、地域によって差があるものの、一つの地域ではそれはほぼ一定の値を示す。

2) ある年度に行なわれる揚水による沈下量は上述の関係から求めることが出来る。この沈下量はその年度で大部分が消化されるがのこりは次年度以降に持ち越される。その比率にも地域性が認められるが、前項にのべたような資料が得られない場合には、試行的に決めるより外はない。その値は沈下量の記録によって補正され、固定される^{注9)}。

3) 次年度の揚水による沈下量は、前年度の残留分に上積みされ。それがその年の沈下量となる。以下同様の過程がくりかえされる。

以上の仮定のもとに沈下量の簡易予測法をのべてみよう。

1) 一定期間の平均沈下体積と揚水量の比 (Q/S) を求める。この値の中には地下水の産出機構に関する要因つまり揚水に伴う補給の状態や揚水に対する地盤の応答の大きさが含まれており、前にのべたように地域によって様々な値を示す。なおこの場合 Q/S 値は年度、揚水量によって変化すると考えられるが、短期間の予測の場合には一定と仮定しても大差はない。

2) つぎに上記によって求めた沈下体積の年度毎の配分率をきめる。この数値の中には地下水の補給の

第10図 地下水位の変化 1
電子計算機によつて推定された地下水位の変化

第10図 地下水位の変化 2

第11図 ブロック区分図

第3表 ブロック別揚水量

(単位 m^3/year)

年度 ブロック	39	40	41	42	43	44
38	1,365,100	1,873,910	2,238,545	2,876,565	3,354,715	4,297,145
45	14,025,490	13,057,875	14,607,300	14,805,495	13,942,270	13,001,665
46	19,128,920	18,758,080	19,125,270	20,549,865	15,422,710	14,387,570
47	12,047,190	13,325,785	12,608,925	15,362,120	11,743,875	12,254,875
48	3,241,930	4,009,160	4,445,335	5,861,170	6,640,080	7,841,295
49	1,613,300	1,960,415	2,244,020	2,671,070	2,748,815	3,274,780
56	15,796,835	15,465,780	18,262,775	16,794,015	14,111,265	13,570,335
57	29,357,315	32,039,700	31,330,140	33,085,425	22,544,955	22,202,220
58	18,841,665	19,663,280	18,521,560	20,837,120	16,837,450	17,514,525
59	6,908,610	7,507,320	7,899,330	8,915,125	9,738,565	11,179,665
60	2,681,655	3,019,280	3,537,580	4,232,540	4,358,100	5,055,980
67	16,584,870	17,545,185	15,284,010	14,841,995	15,831,875	16,018,390
68	44,387,650	42,275,760	38,324,270	85,437,850	31,346,200	31,425,405
69	22,025,560	19,548,305	18,434,690	15,717,995	13,146,935	15,311,750
70	14,224,780	16,157,090	15,709,600	12,385,910	12,140,630	14,401,805
71	7,564,625	7,819,030	7,997,515	7,735,080	7,954,080	8,457,085
79	29,610,625	30,495,750	27,105,630	26,259,560	25,824,845	25,670,815
80	31,404,235	26,980,070	22,207,695	18,291,610	16,268,050	17,137,480
81	24,847,010	22,989,160	18,567,550	15,208,090	14,798,560	14,574,085
82	13,349,145	11,506,625	11,573,785	11,134,325	11,162,065	11,157,320
83	8,004,085	8,976,810	9,590,375	10,009,760	10,560,545	10,999,640
92	16,785,255	11,319,380	4,946,480	4,615,060	4,115,375	3,132,795
93	14,673,730	9,042,145	9,365,170	9,626,875	9,407,145	9,226,105
94	7,283,940	8,082,195	8,650,500	9,005,645	9,455,325	9,858,285
95	6,837,910	7,262,405	7,744,205	8,084,385	8,436,610	8,694,300
101	11,024,925	7,312,410	3,983,610	3,332,450	2,801,740	2,669,975
102	5,349,075	3,183,165	3,274,780	3,364,205	3,272,225	3,193,020

ブロック番号は第11図に対応

第4表 ブロック別沈下体積

(単位 m³/year)

年度 ブロック	40	41	42	43	44	45
38		862,875		1,374,750	1,007,500	1,777,750
45		983,125	1,768,000	1,755,000	1,389,375	2,655,250
46	510,250	962,000	1,122,875	1,530,750	1,330,875	2,136,875
47			404,625	1,421,875	1,083,875	1,919,125
48	575,250	741,000	1,231,750	1,766,375	1,018,875	1,631,500
49				901,875	312,000	651,625
56	1,698,125	1,709,500	3,108,625	2,357,875	1,514,500	2,739,760
57	1,810,250	2,231,125	2,523,625	2,357,875	1,881,750	2,591,875
58	1,056,250	1,080,625	1,537,250	2,187,250	1,863,875	2,539,875
59	1,551,875	1,144,000	1,927,250	2,089,750	1,503,125	2,398,500
60				1,248,000	887,250	1,174,875
67	1,784,250	1,979,250	1,909,375	2,138,500	1,686,750	2,668,375
68	1,790,750	1,711,125	1,498,250	1,456,000	1,194,375	1,688,375
69	2,228,000	1,350,375	1,568,125	1,551,875	887,250	1,473,875
70	2,179,125	1,664,000	1,841,125	2,180,750	1,805,375	2,370,875
71			952,250	1,054,625	624,000	979,875
79			593,125	910,000		1,005,875
80			216,125	651,625	34,125	648,375
81	1,408,875	1,010,750	1,088,750	1,595,750	880,750	1,347,125
82	277,875	219,375	432,250	919,750	393,250	736,125
83					1,054,625	1,196,000
92	1,589,250	1,113,125	1,425,125	2,156,375	1,135,875	1,257,750
93	1,380,875	1,321,125	1,095,250	1,924,000	1,391,000	1,664,000
94	1,264,375	1,343,875	1,768,000	3,006,250	2,799,875	3,097,250
95				1,774,500	2,518,750	2,487,875
101	2,478,125	2,725,125	2,895,750	3,545,750	2,414,750	2,598,375
102	1,563,250	2,910,375	2,808,000	3,271,125	3,636,750	3,157,375

ブロック番号は図11に反応

外に地盤の揚水に対する。応答の速さにかかわる要因が含まれているものと解される。一定年度の沈下体積と当年、1年前、2年前、3年前……の揚水量との間の相関度からこの配分率を推定することも考えられるが、つぎのような方法も可能である。まず実績値にもとづいて年度一沈下体積のグラフを画く。沈下の初期の段階では、前からの沈下の残留量をほとんど無視しうるものとして、Q/S 値と揚水量から求めた計算上の沈下体積と実際の沈下体積の差をとると、これが次年度以降に繰り越される残留沈下になる。次に第2年度の沈下体積から上記の結果により推定されるその年の揚水による沈下体積分^{注7)}を差し引く。残余は前年度の残留沈下とみなすことができる。つまりこれによつて第1年度から第2年度へ如何ほど沈下が残留するかがわかる。

3) 更に次の年度の沈下体積からその年の揚水による沈下体積と、上に求めた第1年度と第2年度の残留沈下率から計算した第2年度の沈下が第3年度に繰り越される残留分を共に差し引けば、残りは第1年

第5表 ブロック別平均沈下量と平均揚水量

ブロック	平均沈下量 m ³ /y	平均揚水量 m ³ /y	比 率	
37	1,534,000			
38	1,255,719	2,667,663	2.1	
45	1,710,150	13,906,682	8.1	
46	1,265,604	17,895,402	14.1	
47	1,207,375	12,890,218	10.7	比率の大なるところ
48	1,160,792	5,339,828	4.6	
49	621,833	2,418,733	3.9	
56	2,188,063	15,666,834	7.2	
57	2,232,750	28,426,625	12.7	
58	1,710,854	18,720,600	10.9	
59	1,769,083	8,690,103	4.9	
60	1,103,375	3,814,189	3.5	
67	2,026,917	16,017,720	7.9	
68	1,556,474	37,199,522	23.9	
69	1,476,583	17,364,205	11.8	比率の小なるところ
70	2,006,875	14,169,969	7.1	
71	902,688	7,921,352	8.8	
79	836,333	27,494,537	32.9	
80	387,563	22,048,190	56.88	
81	1,222,000	18,497,409	15.1	
82	496,438	11,647,210	23.5	
83	1,125,313	9,690,203	8.6	
91	196,625			
92	1,446,250	7,485,724	5.2	
93	1,454,375	10,223,528	7.0	
94	2,213,250	8,722,648	3.9	
95	2,260,375	7,843,303	3.5	
100	112,521			
101	2,776,313	5,187,502	1.9	
102	2,891,146	3,606,078	1.2	

ブロック番号は第11図に対応

度から第3年度に繰り越された残留沈下量とみることができる。なお初年度の沈下率は、のちに試行的計算を繰り返した上で固定される。

第15図に以上の手続きを図示する。

(4) 実 例

第16図は川口市と大宮市について、上述の方法で沈下量を求めたものである。(計画揚水量は第2表にもとづいている)。まず Q/S 値については第5表から川口市では8~10、大宮市では12~14と推定されるので、これを採用した。次に残留沈下の配分率は何回かの試行計算の結果、上記の比率によつて求めた沈下体積を1とした場合、両市とも当年が0.5、1年後が0.3、2年後が0.15、3年後が0.05が適当であると判断された。第16図には水準点の記録も併示してあるが、比較的よく現状を近似しているものと思われる。な

第12図 Q-Q/S の関係

第13図 Q/S の年変化

第14図 沈下体積に対する揚水量の関係

お大官市の例で水準点の変化記録は測定開始時を力点にとつていので計算値と見掛上ずれている。この場合は曲線を平行移動し、それがほぼ一致することに注目していただきたい。いうまでもなく、ここに述べた方法にはいろいろ問題もある。理論的な根拠も全くない。しかしすべてのデータがそろわなければ計

第15図 残留沈下の配分法

1. まず a_1 を求める.
2. 2年度の総沈下体積から b_1 を引く. 残余 a_2 は第1年度から第2年度に繰り越された残留沈下量である.
3. 3年度の総沈下体積から c_1 と a_1, a_2 の関係から求めた b_2 を引く. 残余 a_3 は第1年度から第3年度へ繰り越された残留沈下である.
4. 以下同様の手続きによつて残留沈下の配分率 $a_1, a_2, a_3, \dots$ を求める.

第16図 沈下量の推定

第17図 R・C 回路網

算ができないというも困る。現状は早急な解答を要求している(多少精度が悪くても)。ここに述べたものは揚水量と沈下体積という、いわば自然を相手にした巨大な実験結果を利用した一つのブラックボックス的手法とでもいえよう。

IV. 電気アナログモデルによる解析

(1) 電気アナログモデルの効用

この方法の利点は、①複雑な境界条件下でも面倒な数学的手続きを要しない。②刺激に対する応答の速度が早いので結果をみながら、その場で揚水量、井戸間隔などの各種の条件を修正し、あるいは設定することができる。③製作に要する費用が少ない。また R・C 素子(抵抗コンデンサー)を自由にとりかえられるようにしておけば、一つの装置がいろいろな地域の問題に適用することができる。今回の調査では先にのべたデジタル計算に用いた帯水層定数の検討と、地下水位監視井の配置の検討にこのアナログモデルを利用した。あわせて井戸群の相互干渉の予測なども行なった。

(2) 電気アナログモデルの原理

第17図に示した R・C 回路網においてはキルヒホッフの法則から (1) 式が成り立つ。

$$\frac{V_1 - V_0}{R_1} + \frac{V_2 - V_0}{R_2} + \frac{V_3 - V_0}{R_3} + \frac{V_4 - V_0}{R_4} = C \frac{\partial V_0}{\partial t} \dots\dots (1)$$

ここに

$R_1 \sim R_4$; 抵抗

C; 電気容量

$V_1 \sim V_4$; 周辺ノットの電位

V_0 ; 対象ノットの電位

抵抗値が等しければ

$$\frac{1}{R} \sum_{i=1}^4 (V_i - 4V_0) = C \frac{\partial V_0}{\partial t} \dots\dots (2)$$

(2) 式は JACOB (1950) が示した二次元非定常流の式を差分近似した式

$$T \cdot \sum_{i=1}^4 (h_i - 4h_0) = a^2 S \frac{\partial h_0}{\partial t} \dots\dots (3)$$

ここで h_i ; 周辺ノットの水位

h_0 ; 対象ノットの水位

a ; グリッドの一辺の長さ

S ; 貯留係数

T ; 透水量係数

と対応し、アナロジーが成立する。ここで両者の関係を一対一に対応させるためには、次のスケールとファクターを決める必要がある。

$$\left. \begin{aligned} K_1 &= \frac{q}{D} \\ K_2 &= \frac{h}{V} \\ K_3 &= \frac{Q}{I} \\ K_4 &= \frac{t_d}{t_s} \end{aligned} \right\} \dots\dots (4)$$

q ; 電荷量	クーロン
D ; 水量	m^3
h ; 水位	m
V ; 電位	ボルト
Q ; 流量	m^3/day
I ; 電流	アンペア
t_d ; 揚水時間	
t_s ; パルス幅	

一方モデルに用いる抵抗値は

$$R = \frac{K_3}{K_2 T} \text{ (オーム)} \dots\dots\dots (5)$$

コンデンサーの値は

$$C = a^2 S \frac{K_2}{K_1} \text{ (ファラッド)} \dots\dots\dots (6)$$

から求められる。

揚水率はパルス発生器とモデルの間に既知の抵抗を挿入し、そのときの電位降下量を計り、オームの法則から

$$Q = K_3 \frac{V}{R} \dots\dots\dots (7)$$

によって求める。

(3) スケールファクターの決定

この調査で用いたスケールファクターを参考までに示せばつぎのようである。

1) $K_2 = 1$ 電位 1 ボルト 水位 1 m

2) $K_3 = 2 \times 10^7$

抵抗	透水量係数
10 k Ω	2,000 m ² /day
20 k Ω	1,000 m ² /day
40 k Ω	500 "
⋮	⋮
200 "	100 "

3) $K_4 = 3.65 \times 10^7$

パルス幅	揚水日数
10 μ sec	365 日

4) $K_1 = K_3 \times K_4 = 7.3 \times 10^{14}$

一辺 2,000 m として

$$C = 0.55 \times S \times 10^{-8}$$

電気容量	貯留係数
1500 pf	0.27
1000 "	0.18
500 "	0.09

なお装置の写真を末尾に示しておく。

(4) 解析例

a. 地下水位変動の監視

調査地域には現在、第18図に示した位置に地盤沈下観測井が設置されており、水位の継続観測が行なわれている。

地下水の十分なモニタリングを行なうのに必要な観測井の本数と分布を知るためには、地下水汲み上げによる水位変動の状況を現在の観測井でどれ位キャッチ出来るかを検討しなければならない。第18図には、現状の揚水量に加えて、一方眼当り ($4 \times 10^6 \text{ m}^3$) 1 日 5,000 m³ の揚水が新たに追加されたとした場合、この影響を上記の観測井群が年間水位低下量 10 cm, 以上の精度でキャッチ出来る範囲が示されている。図でわかるように、埼玉県北部、中央部、西部、千葉県北部、東京都西部では地下水位の現況を把握できないことがわかる。第19図に日量 3,000 m³ の場合であるが、監視可能な範囲は更にせまくなっていることが示されている。

第18図 1日5,000 m³揚水による影響を年間水位低下10 cm以上の精度でキャッチしうる範囲

b. 地下水利用の相互干渉

地下水利用による水位低下が、どの範囲にどの程度の大きさで及ぶが、また同時に他地域での揚水の影響とどの様に干渉し合うか、さらにその干渉の大きさをある限度以下にとどめるためには、揚水量を如何にコントロールすればよいか、などの問題は、地下水汲みあげをゼロに近づけてゆく過程での段階的な措置として必要と考えられる。このような問題では、揚水量の削減量とその地区別の組み合わせ^{注9)}が多岐にわたるため、競合の度合いを下げるための揚水量の分配は試行的に検討された上で決定されることとなる。

結果の精度を上げるためには、デジタル計算によらねばならないが、たくさんの事例を早く処理し、さらにその結果をみて計画を修正してゆくというような場合には、アナログモデルの方が有効である。

第19図 1日3,000 m³揚水による影響を年間水位低下10 cm以上の精度でキャッチしうる範囲

第20図に一例を示す。これは昭和45年時の地下水汲み上げの影響が年間1 mの水位低下としてあらわれる範囲を示したものである。

なお、揚水量は次のような地区別に分けたものを入力データとした注9)。これから地域間の干渉の様子がわかる。図中斜線で示した地域がこれにあたる。

埼玉県南部地区(1) 大宮、川口、浦和、蕨、戸田

埼玉県西部地区 川越、富士見、福岡、三芳、大井、志木、朝霞、和光、新座

埼玉県北部地区 北本、桶川、上尾、蓮田、伊奈、久喜、杉戸、宮代

埼玉県東部地区 庄和、春日部、岩槻、越ヶ谷、吉川

埼玉県南部地区(2)及び東京都北部(1) 草加、八潮、三郷、鳩ヶ谷、足立、北

東京都北部(2) 板橋、練馬、豊島

第20図 揚水による水位低下が年1m以上に達する地域(図中の数字は1日当りの揚水量)

このような図をもとに干渉地域の減少に必要な揚水量の低減策が講じられることになる。

第21図はその一例で、図中に示したように揚水量を削減した場合に予想される干渉域の縮小の様子が画かれている。

V. おわりに

最後に地盤沈下に関連して二三雑感をのべてみたい。最近東京の江東地区をはじめ、川崎市の臨海部などで地下水位が急速に回復し、ちょっとした話題となっている。しかしこれは別に驚くべき現象ではない。本文の中でもふれたように、地下水は全体として静水圧分布の上で平衡を維持しようとしているので、ある層準の地下水が揚水され、その部分の水位が低下しても、揚水の停止とともに、上下あるいはそのまわりから地下水が補給されるからである。

さて、地盤沈下問題はよく古くて新しい問題だと云われる。古いというのはこれがはじめて注目されたのが昭和の初期にまでさかのぼり、すでにその原因もかなり明確におさえられていたということであり、

新しいというのは、それにもかかわらず、いまだにその現象が連綿として進行し、かつ拡大しているということである。このような原因を作った最大の犯人は「地下に自然の流れがあるから地下水は使つても補給される」というあやまつた考え方である。ごく表層部の地下水と一部の特殊なケースをのぞいて一般の地下水は、一方で揚水されないかぎり流動しないと考えるべきである。

地盤沈下に関連した問題で科学的に説明されなければならないといったようなものは、ほとんどなく、あるとすれば地下水の行政という人間の側にある問題だけであるというのが筆者の見解である。

アナログモデル

(中央部が大宮、浦和；南部が杉並、世田谷)

パネルの拡大図

(R・C素子をターミナルに差し込むだけで回路が形成されるようになっている)

地下水位低下

(縦軸が地下水位、横軸が時間)

抵抗、コンデンサー

(これらが自由にとりかえられるようにしてある)

パネルの裏面

注および参考文献

- 注 1) 年間揚水量の算出にあたっては上水道、専用水道、雑用水の各水源井は365日、工業用井戸は300日稼働するものとし、農業用井戸は巻末に掲げた資料23)によった。
- 注 2) 例えば和達(1940)によるもの、LOHMAN (1961)によるもの、または三木(1969)によるものなどある。しかし実際にはこのことはほとんど不可能に近い。厳密な値を要せず、大略の地盤沈下の傾向を把握しようとする場合は、地下水位という変数を介さずに揚水量と沈下量の実績値をベースとして求めた方が手取り早い。これはつぎの2つの手続きをもととして行なわれる。すなわち一つは沈下体積と揚水量の関係であり、他はその時間的配分である。
- 注 3) 以下沈下体積をS、揚水量をQ、両者の比を Q/S と略号をもつて記述することにする。
- 注 4) 資料の粗密の問題もあり、絶対値より年度間の相対的な関係に意味を有するものと解すべきである。
- 注 5) この場合は沈下体積ではなく、年間収縮量を用いている。
- 注 6) 一回決めておけば、その比率はほとんど変更しなくても良い。
- 注 7) 1年次から2年次以降に繰り越される沈下の割合が上述によつて求められているのでこれを利用して推定する。
- 注 8) たとえば競合地域での揚水量をおさえて、これを他の非干渉地域にふり分けることなどである。
- 注 9) この例では埼玉県中央部に焦点をおいて検討している。
- 1) 南関東地方地盤沈下調査会(1971)：南関東地域広域地盤沈下調査報告書。
 - 2) 南関東地方地盤沈下調査会(1972)：南関東地域井戸資料台帳。
 - 3) 南関東地方地盤沈下調査会(1973)：南関東地域広域地盤沈下調査報告書(Ⅲ)。
 - 4) 南関東地方地盤沈下調査会(1973)：南関東地域の地盤沈下—現況と対策—。
 - 5) 南関東地方地盤沈下調査会(1974)：南関東地域地盤沈下調査総合報告書。
 - 6) 南関東地方地盤沈下調査会(1974)：南関東地域地盤沈下調査対策誌。
 - 7) 東京都(1969)：江戸川における地下水解析調査報告書。
 - 8) 東京都(1970)：東京都地下水利用実態調査報告書(昭和45年度)。
 - 9) 東京都(1971)：東京都地下水利用実態調査報告書(昭和46年度)。
 - 10) 東京都(1972)：東京都地下水利用実態調査報告書(昭和47年度)。
 - 11) 東京都(1973)：東京都地下水利用実態調査報告書(昭和48年度)。
 - 12) 東京都(1974)：東京都地下水利用実態調査報告書(昭和49年度)。
 - 13) 東京都(1975)：東京都地下水利用実態調査報告書(昭和50年度)。
 - 14) 千葉県(1967)：葛南地域地盤沈下観測井調査報告書。
 - 15) 千葉県(1967~1969)：地下水位観測資料。
 - 16) 千葉県(1972)：千葉県の地盤沈下。
 - 17) 千葉県(1972)：千葉県公害研究所研究報告 Vol. 1
 - 18) 千葉県(1973)：千葉県の地盤沈下。
 - 19) 千葉県(1973)：深層地盤沈下のメカニズム研究(船橋ガス田について)。
 - 20) 埼玉県(1970)：埼玉県の地下水利用実態調査報告書(昭和45年度)の付図。
 - 21) 埼玉県(1969)：埼玉県南東部地域地盤沈下調査報告書。
 - 22) 埼玉県(1970)：埼玉県の地下水利用実態調査報告書(昭和45年度)。
 - 23) 関東農政局(1972)：農業用地下水調査特殊地区取水施設台帳。千葉県、埼玉県、茨城県。
 - 24) 経済企画庁・国土調査課(1963)：全国地下水(深井戸)資料台帳—関東編—。
 - 25) 経済企画庁・国土調査課(1972)：全国地下水(深井戸)資料台帳—関東編—。
 - 26) 関東地区地盤沈下調査測量協議会(1965~1970)：地盤沈下等量線図。
 - 27) 一都三県地盤沈下対策連絡協議会(1968)：一都三県の地盤沈下。
 - 28) 東京都土木技術研究所(1971)：東京における地盤沈下調査概要—地質と地下水—。
 - 29) 新藤静夫(1971)：南関東の被圧地下水。日本学術会議地質研連水文地質小委員会。日本地下水学会、シンポジウム論文集。
 - 30) 新藤静夫(1972)：南関東の地下水。土質工学会誌, 20, No. 5。
 - 31) 新藤静夫, 柴崎達雄, 鎌田 烈(1972)：関東平野における地下水の涸渇。日本地質学会第79年学術大会シンポジウム論文集。
 - 32) 森川六郎(1969)：埼玉県南東部の地盤沈下。応用地質, 10, No. 3。

- 33) 森川六郎(1970)：埼玉県東部の地質と地下水，文部省科研費研究報告。
- 34) 宮地直己(1967)：土層の局部的収縮の研究—東京の地盤沈下に関連して—，東京都土木技術研究所報告，No. 44.
- 35) 尾崎 登，稲葉 佳(1968)：最近の江東地区地盤沈下と今後の見通し，東京都土木技術研究所報告，No. 45.
- 36) 遠藤 毅，山田信幸(1970)：下町低地帯における洪積層表面の変動．—東京における地盤沈下の研究(1)—，東京都土木技術研究所報告，No. 46.
- 37) 遠藤 毅，行徳智好(1970)：深層部の層間収縮について—東京における地盤沈下の研究(2)—，東京都土木技術研究所報告，No. 46.
- 38) 東京都：地盤沈下観測成果.
- 39) 千葉県：地盤沈下観測成果.
- 40) 埼玉県：地盤沈下観測成果.

(1975年11月21日受理)