

## 冷却排水地下還流に関する調査報告 3

— 東京都城北地区保土谷化学工業 K. K. における試験報告 —

岸 和 男\*

## Preliminary Report on the Artificial Ground-Water Recharge No. 3

by

Kazuo Kishi

## Abstract

As one manner of the hydrogeological study for the conservation of ground-water, the writer tried the artificial recharge through two newly bored injecting wells in order to restrain the lowering of the water-level of confined ground-water in the Tokyo Factory of Hodogaya Chemical Co., Ltd. in 1961.

One of the injecting wells is 100 m and the other 220 m in depth. The injecting water is the cooling waste water of 30~40 cubic meters per hour in average.

Three existing deep wells in the factory are available to observe the effect through the injection of the waste water.

After the hydrological test for the injecting wells, the injecting test was began in the early part of April, 1962.

The writer gives an account of the outline of the injecting test on this paper.

## 要 旨

(1) 東京都城北から埼玉県南地区にかけての浦和水脈の被圧地下水の水位は近年急激な低下をきたし、地表下 70m 以上に達する地区もある。当地域では水位の低下による地盤沈下が促進され、また上部の帯水層ではすでに地下水が枯渇してきた。このような地域の地下水を人工的に強化保全する一方法として、地下還流試験が試みられた。還流試験井は浦和水脈の中心部に位置する保土谷化学工業 K. K. 東京工場第 2 製造所構内に設置され、注入水は同工場の冷却排水を利用した。

(2) 地下還流井は 2 本設けられ、それぞれの深度は 220m, 100m であり、220m 井 (還 1 号井) は 140~200m の帯水層に、100m 井 (還 2 号井) は 60~80m の帯水層にのみ注入する構造とした。

(3) 揚水試験の結果、60~80m の帯水層の透水量係数・貯留係数・影響圏・限界揚水量はそれぞれ  $0.78\text{m}^3/\text{m}/\text{min}$ ,  $0.000314$ ,  $2,800\text{m}$ ,  $2,000\sim 2,200\text{m}^3/\text{day}$  である。60~80m の帯水層では同じく、 $0.209\text{m}^3/\text{m}/\text{min}$ ,  $0.0013$ ,  $940\text{m}$ ,  $1,000\sim 1,300\text{m}^3/\text{day}$  となっている。

(4) 注入試験の結果、還 1 号井に約  $33\text{m}^3/\text{h}$  を注入した場合、約 85m 離れた毎時  $63\text{m}^3/\text{h}$  を揚水している工場 4 号井の水位が約 15cm 上昇した。同じく  $51\text{m}^3/\text{h}$  の注入では約 50cm の水位上昇が認められた。また還 2 号井に約  $51\text{m}^3/\text{h}$  の注入を行なった場合、19m 離れた工場 3 号井 (休止井) に約 52cm, 60m 離れた工場 2 号井に約 7cm の水位上昇がそれぞれ認められた。

(5) 還 2 号井に合計約  $55,000\text{m}^3$  注入された頃より注入量に対する還 2 号井の注入水位の上昇が大きくなり、井戸周辺帯水層の目ずまりを生じてきた。その後注入総量が  $63,000\text{m}^3$  に達した頃には毎分 400l の注入で水位は井戸管頭にまで上昇するようになった。目ずまり

\* 地質部

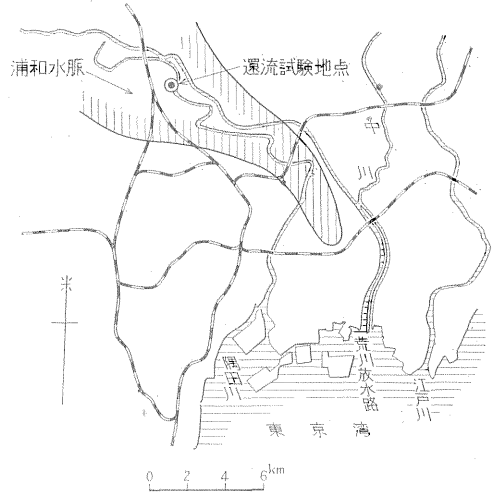
除去のための揚水の結果、合計揚水量約 800 m<sup>3</sup> で目ずまりが除去された。

(6) 注入水の水質は地下水源水とほとんど変わらないが、酸素量は過飽和状態になっている。水温は源水より 6~10°C 高い 22~26°C であるが、約 80,000 m<sup>3</sup> の注入では付近揚水井の水温には全然影響は認められない。

(7) 目ずまりの対策、ストレーナの形態、注入水の水質、注入方法、地域的な相違、および数理的な解明などが多く残されており、今後試験井を増すとともに充実させ、問題点を明らかにしていくことが重要である。

1. ま え が き

東京都城北地区一埼玉県南地区にかけて、浦和水脈と呼ばれる透水帯が確認されている。この浦和水脈上には化学工業、製紙工業を始めとする各種の用水型工場が多数操業し、深度 240m までの帯水層から被圧地下水を大量に揚水している。もともと浦和水脈の帯水機能は有力であり、用水型工場のまだ少なかった昭和 14~15



第1図 保土谷化学工業遷流試験地点位置図

年頃までは北区神谷町付近では自噴によって被圧地下水が得られていたという。しかしその後用水型工場の進

第1表 城北地区における工場の冷却・冷房排水量

工場名	排水量			水温許容 限度 (°C)	遷流試験 の適否	備考
	冷房排水 (m <sup>3</sup> /h)	冷却排水 (m <sup>3</sup> /h)	油脂塗料などの混 入している冷却排 水およびその他の 排水 (m <sup>3</sup> /h)			
山ノ内製薬 K.K. 蓮根工場		92	63	22	否	井戸を掘る敷地がない。冷却排水の大部分は洗浄その他に再使用され、実際に遷流ができる量は少ない。
第1プラスチック K.K. 板橋工場		20	2	20	やや適	排水量が少量。排水口が地表下 1.5m にあり取水が困難。
大日本インキ製造 K.K. 東京工場	100	50	100	18	//	冷房排水は夏期だけ、冷却排水が各所から分散排出のため補集に困難。
第一硝子 K.K.	2	18	5	20	適	排水が少量。
中外製薬 K.K. 浮間工場	50	50	400	19	//	
理研化学 K.K.		40	30	18	//	
大日本セルロイド K.K. 東京工場	4	50	34	19	やや適	冷却排水の大部分は再使用されている。
オリエンタル酵母工業 K.K.		56	37	17	適	
雪印乳業 K.K. 東京工場		160	230	20	やや否	冷却排水全量が洗浄その他に再使用されている。
日本化薬 K.K. 新田工場		40		20	否	ほとんどが洗浄用に再使用される。
日本金属 K.K. 板橋工場		50		15	適	敷地困難。
日本フェルト K.K. 王子工場		20		20	//	排水が少量。
宝酒造 K.K. 王子工場		73	40	20~40	//	
山ノ内製薬 K.K. 小豆沢工場		70		24	//	補集できるのは約 40 m <sup>3</sup> /h
麒麟麦酒 K.K. 東京工場		150	110	20	//	
日本油脂 K.K. 王子工場		10	105	30	否	
日産化学工業 K.K. 王子工場			1,100		//	
保土谷化学工業 K.K.		50		24		

出により揚力量が増加し、年々地下水位は低下の一途をたどってきた。とくに戦後 29 年頃よりの高度の経済成長に伴う工場の新設、増設による揚水量の激増は、水位低下を一層促進させ、王子付近で地表下 50~60 m、そこより下流の地区では 70m 以上にもなり、現在の形のポンプでの揚程能力ぎりぎりまで低下してきた。このような極端な地下水位の低下は地盤沈下の原因ともなり、それにもまして現在の状況がそのまま続けば帯水層の枯渇する日も遠からずくるおそれがある。このように水位低下の一途をたどる浦和水脈を人工的に強化保全する 1 方法として地下還流が考えられ、浦和水脈の帯水層機能、地下還流の可否を明らかにする目的で昭和 36 年度に冷却排水の地下還流試験を行なった。

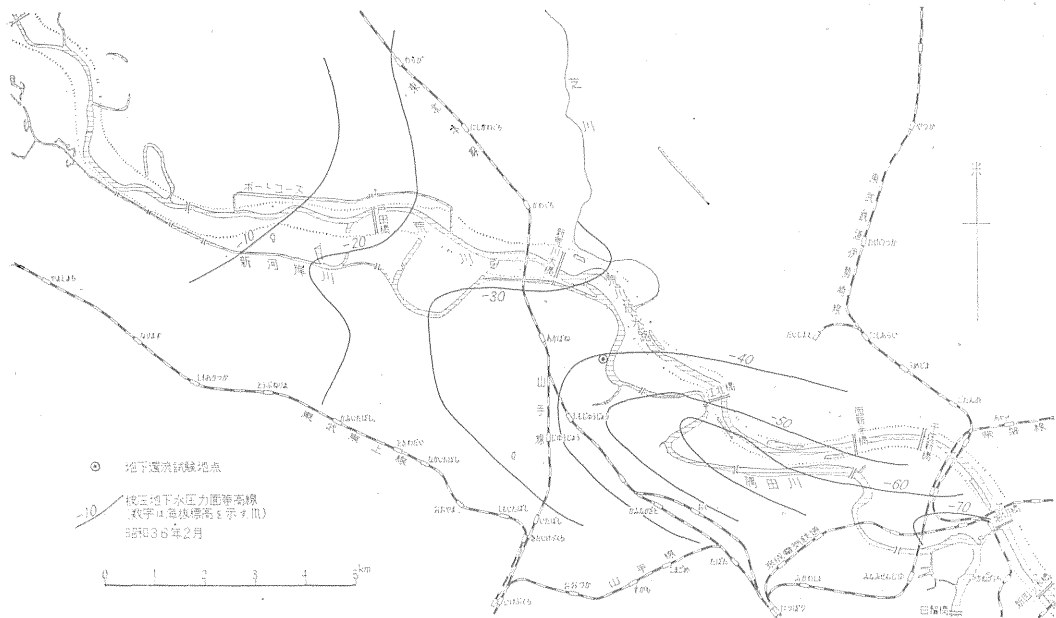
地下に注入する水は河川水、上水道水、冷却・冷房排水

その他の廃水などが考えられるが、比較的まとまった水量が、容易に得られるという点で工場の汚染されていない冷却・冷房排水を使用することにした。試験地点決定に先立って、城北地区一帯の冷却・冷房排水が得られそうな工場約 20 ヲ所について排水量・還流井が掘さくできる敷地、既存工場揚水井との関係などを实地に調査した。その調査結果は第 1 表に示してあるが、この中から最も良い条件の工場を数工場選び出し、さらに浦和水脈圧力面の谷部に位置し、また水理的にも最も良い位置にある保土谷化学工業 K. K. 東京工場第 2 製造所(東京都北区神谷町)において地下還流試験を行なうこととした。本試験を行なうにあたって保土谷化学工業 K. K. および試験地周辺の各工場より絶大な協力をたまわった。ここに厚く謝意を表する。

第 2 表 城北地区における井戸調査本数と揚水量

区 分	調査井戸本数	揚 水 量 (m <sup>3</sup> /day)	井戸 1 本当りの 平均揚水量 (m <sup>3</sup> /day)	備 考
練馬区	4	8,500	2,100	製紙紡績各 1 工場のみ
板橋区	112	84,200	750	
北区	72	88,600	1,200	
足立区	47	49,000	1,050	
文京区	10	10,900	1,100	化学工場 1 工場のみ
埼玉県南部	31	19,500	650	
計	276	260,700	946	

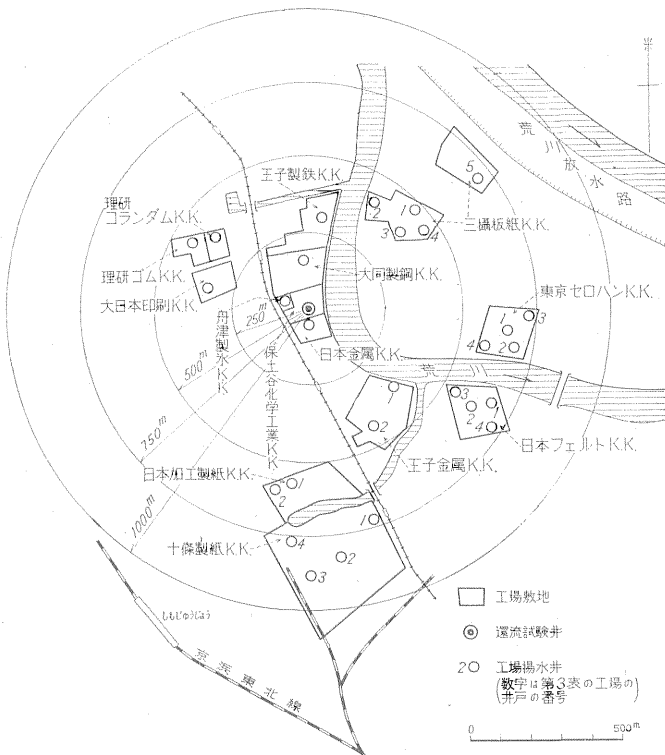
調査井戸本数は、城北地区総井戸本数の約 3/5 である。



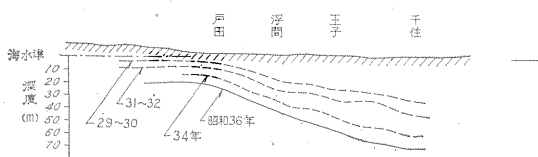
第 2 図 城北地区における被圧地下水の圧力面の形態

2. 城北地区 (一部埼玉県南地区を含む) の揚水量と地下水位

城北地区の(一部埼玉県南地区を含む)地下水調査は、昭和31年から32、33、35、36年と計5回行なわれており、36年を除いてそれぞれ地質調査所月報に報告されているので、城北地区全般の地下水理については、それらを参照されたい。36年2月の調査ではおもに揚水水位を正確に把握することを目的として工場井戸約300本について開取調査を行なっている。区ごとの揚水量および井戸本数は第2表に示してあるが、今回の調査では当地区工場全体の3/5程度しか調査していないので、工場数、井戸本数ともかなり少なめになっている。調査もれの揚水量を加えると当地区の揚水量は総計約35万m<sup>3</sup>/dayにのぼるであろう。また井戸1本当りの揚水量は約950m<sup>3</sup>/dayで前回調査の揚水量より若干減少している。取水深度は50~240mであるが、新設された井戸のほとんどは200m以上の深度である。



第5図 保土谷化学工業還流試験井を中心とした1,000mの範囲にある工場と揚水井

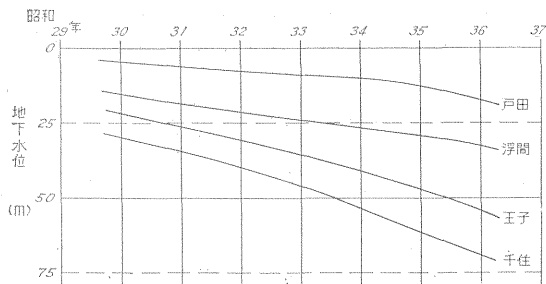


第8図 浦和水脈縦断方向における地下水位断面

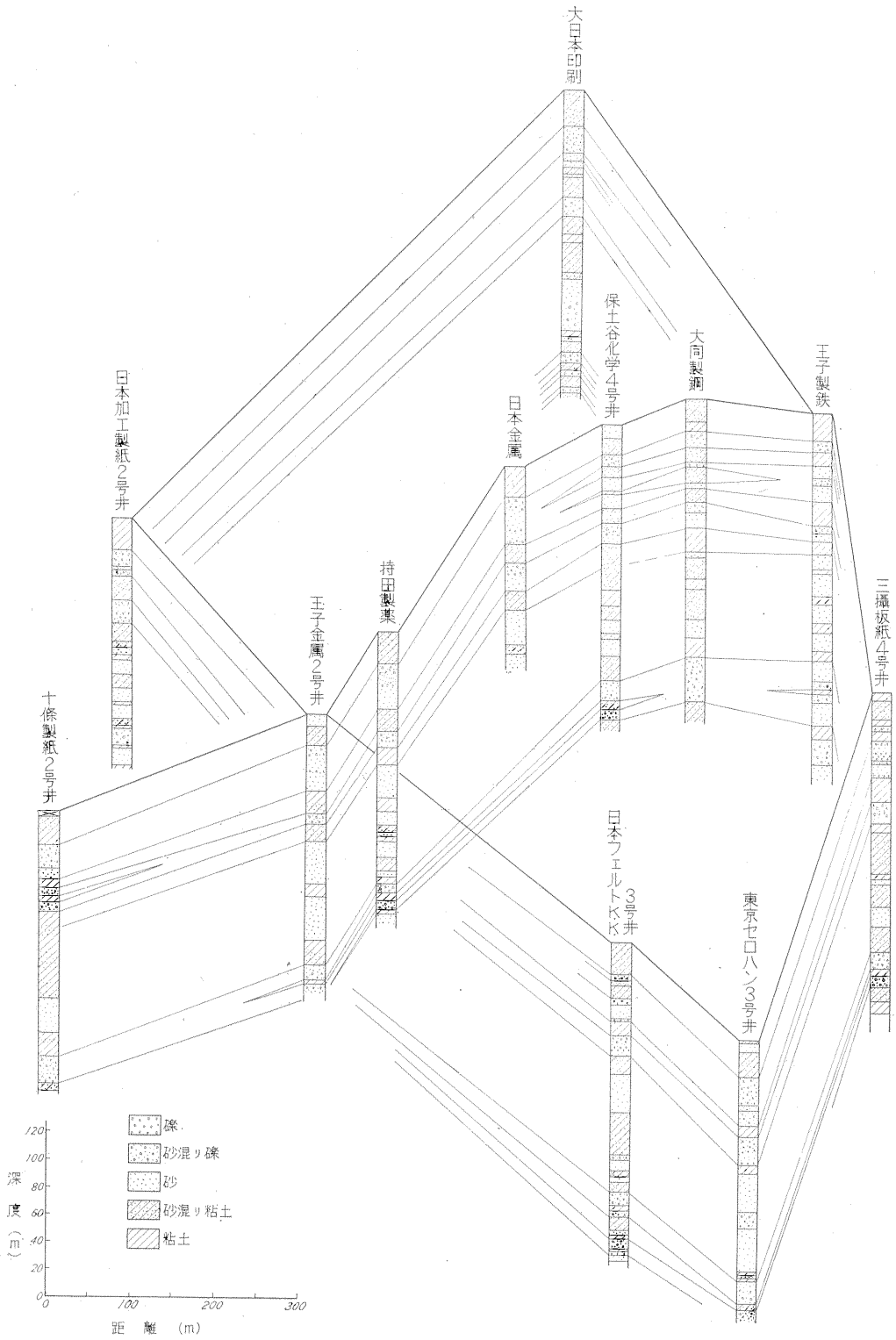
揚水水位は荒川区の東南部付近で70m以上、北区王子から北区浮間にかけての地域では地表下45~55m、戸田町付近で約25mとなっている。揚水水位を海水準よりの圧力面の高さに換算し等高線として表わしたのが第2図である。それによると、全体の形は浦和水脈の流線に沿って谷部を有し、上流戸田町に向かって漸次浅く

なり、山の手台地および江戸川沿岸に向かって急に浅くなっている。この形態は従来までのとあまり変化していないが深さそのものは著しく低下している。浦和水脈を縦に切った方向の地下水位断面を第3図に、地区ごとの経年変化を第4図に示してある。それによると昭和30~31年の水位との差は戸田町で13m、浮間で17m、王子で33m、千住で40mとなっており、千住から王子にかけて水位低下が激しく、全般に加速度的な低下を示している。還流試験井は第2図に示したように圧力面の谷部に相当する位置に設けられた。

還流試験井を中心とした約1,000m以内における工場の揚水井は約30本あり、総揚水量は38,000m<sup>3</sup>/dayである。揚水している井戸の分布は第5図に示してあるが、還流井の北西側は概して少なく東南側に多い。揚水量も北西側は約5,000m<sup>3</sup>/dayで井戸1本当たり700m<sup>3</sup>/dayであるのに対し、東南側は約33,000m<sup>3</sup>/dayで井戸1本当たり1,600m<sup>3</sup>/dayの揚水を行なっている。したがって地下水位も還流井地点付近から東南側に向かって急に深くなる傾向を示している。この区域の井戸の取水深度は50~220mであり、大別して100m以浅の井戸と100m以深の井戸に分けられるが、静止水位が50m以上にも低下したために100m以浅の井戸では揚水量が



第4図 城北地区地下水位経年変化



第 6 図 保土谷化学工業試験地点付近のさく井層図

極端に減少し、また揚水不能になり休井となった井戸が多い。

本試験ではそれらの休井のうち保土谷化学工業 K. K. 内にある1本を地下還流試験の観測井としている。

試験地点を中心とした1,000m 以内のさく井地層図はほとんどの井戸について収集されている。そのうち代表的なものを第6図に示した。これによるとこの地域では砂・砂礫・粘土・粘土混り礫・粘土混り砂などの地層が堆積し個々の地理的連続性はかなり求めにくい。しかし、30m 付近、60~80m 付近および 180~200m 付近の砂礫層はかなり連続してみられる。このうち、30m 付近の砂礫層は粗粒であるが、すでに地下水は枯渇しており、工場揚水井は 60~80m、180~200m の砂礫層から取水しているものが多い。粘土層は、100m 付近のものが比較的よく連続し、100m 以深の地下水と 100m 以浅の地下水とを一応隔絶している。したがって当地域における還流試験は、100m 以浅と 100m 以深に分けて行なうのが最も効果があり、また還流効果を確実に確かめられるものと考えられる。

保土谷化学工業 K. K. 東京工場第2製造所の構内の第7図に示した地点に還流井を掘さくした。還流井地点は第7図で明らかなように、工場のほぼ中央部にあたり、工場既設揚水井4本(うち2本休井)および隣接工場揚水井2本が 20~80m をへだてて四周に分布し、観測井として利用できる。また注入水を得る冷却排水の出口3

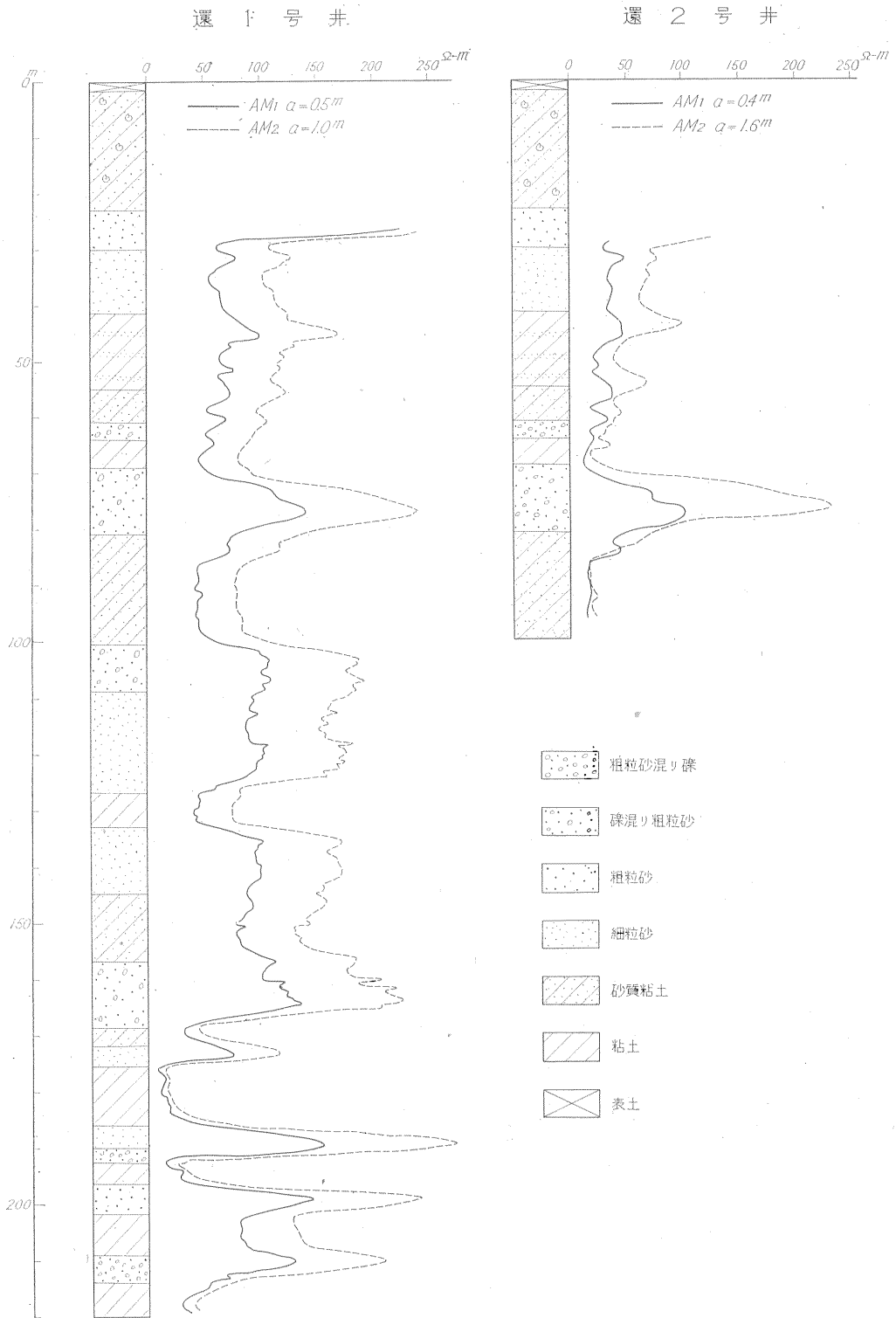
カ所のほぼ中央部にもあたり、注入水確保の点からも好条件の地点に設けた。

注入水は、冷凍機、コンプレッサ、熱交換機からの冷却排水であり、水質的には揚水した地下水とほとんど変わらず排水温は 22~36°C である。排水量は工場の操業状態によって多少変化し 40~60 m<sup>3</sup>/h であり一年を通じ 1日 13~24 時間連続して排水される。冷却排水は、3カ所の出口のうち2カ所からはポンプにより加圧送水され、1カ所からは自然流下で送水され還流井に導びかれる。既設揚水井の位置は第7図に、構造は第3表に示してある。そのうち保土谷 1,3 号井は休井であり、3号井には自記水位計を装着し、還流効果を連続的に計測できるようにした。なお3号井においては還流試験井掘さくに先立って地下還流の予備的な試験を行ない、新設試験井の構造を定める基礎的な資料が得られた。

地下還流井は約3m の距離をへだてて2本設けることとし掘さくは湘南ドリリング K. K. に委託した。井戸の構造は還1号井は深度 220m、掘孔径は 375mm、ケーシングは肉厚 6mm、径 250mm の鋼管を用いた。還2号井は深度 100m、掘孔径は 325mm、ケーシングの厚さ、径、材質は還1号井と同じである。掘さく結果による地層図および電気検層結果を第8図に示した。ストレーナの位置は電気検層の結果によって決定し還1号井は 154~165m、184.5~210.5m、還2号井は 68.7~85.2m



第7図 保土谷化学工業還流試験井と付近揚水井との位置および送水配管図



第 8 図 保土谷化学工業環流試験井の電気検層図および地質柱状図

第3表 保土谷化学工業 K. K. 遷流試験地点を中心とした 1,000m 以内の井戸構造

範 囲	工場名および井戸番号	深 度 (m)	ス ト レ ー ナ 位 置 (m)	井 戸 (mm)	装着してある ポンプの		揚 水 量	揚 水 状 況
					大 小	種 類		
遷流井を中心とする 250m 以内	保土谷化学工業 K. K. 1号	53	24~30 43~49	250				休 井
	" 2号	107	37.5~48.5 70~76 97.5~103	250		S P		
	" 3号	80	22~30 43~49 60~64 72~77	300				休 井
	" 4号	221	72~81 152~165 183~188 192~196 202~208	350		S P		
	日 本 金 属 K. K. 2号	142	68~84 102~107 130~140	250	25 HP	S P		1日10時間断続揚水 約50%
	船 津 製 氷 K. K. 1号	91.2			20 HP	B P		
大 同 製 鋼 K. K. 1号	230	158.5~169.5 189.0~219.0	300	26 kW	S P	600	断続揚水約40%	
250~500m	王 子 金 属 K. K. 1号	91	24~30 40.5~43.5 73~79	250	25 HP	B P	900	1日ごと交互に揚水
	" 2号	200	70~78 143~161 182~188 190.5~196	250	26 kW	S P	900	1日20時間断続揚水
	大 日 本 印 刷 K. K. 1号	181	57.5~61.0 79.0~87 136~142 154~167	375	30 kW	S P	2,100	11時間連続揚水
	理 研 コ ラ ン ダ ム K. K. 1号	89	59.6~62.7 79~84 86~88.5	150	15 HP	B P		夜間だけ断続
	" 2号	220	134~142 158~172 187~194 199~204 210~215	250	15 kW	S P		昼間だけ連続
	日 本 理 研 ゴ ム K. K. 1号	120		250	35 HP	B P	600	1日10時間断続運転
	" 2号	83.5	54~60 77~81	250	20 HP	B P		"
	王 子 製 鉄 K. K. 1号	261	191~196 200~206 210~222 232~245	300	30 kW	S P	600	24時間断続揚水
	三 摂 板 紙 K. K. 1号	212	59~67 139~146 160~174 195~198 202~204	400	60 HP	S P		24時間連続揚水
	" 2号	212	48~53 63~73 87~92 126~132 169~180 188~198 203~208	400	60 HP	S P	12,000 ~14,000	
	" 3号	243	62~68 78~84 88~96 108~119 163~168 187~198 203~211 229~235	400	60 HP	S P		
" 4号	243	65~90 110~160 190~200 205~220 230~	400	60 HP	S P			



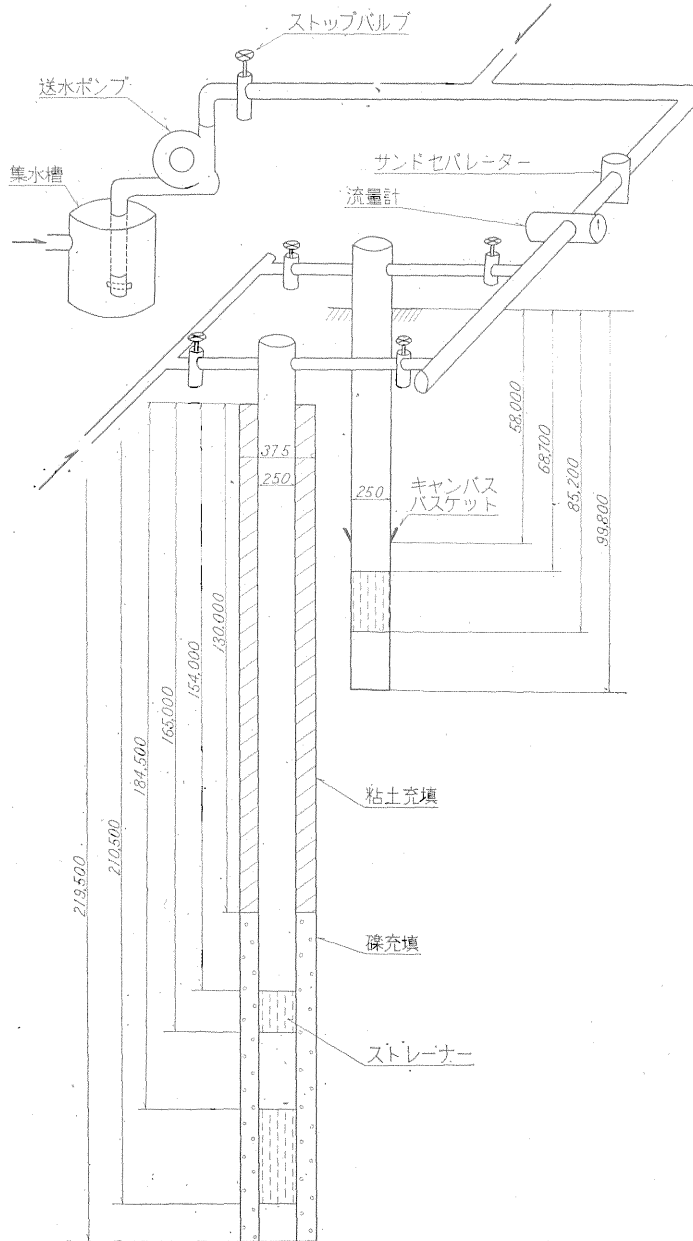
500~750m	三 撰 板 紙 K.K. 5号										
	東京セロハン K.K. 1号	200	133~139 197~199	161~166	181~193	300	30 KW	S P	3,700 ~4,500	24時間連続揚水	
	// 2号	90	66.7~81.8			300	30 HP	S P		//	
	// 3号	227	97~112 187.6~192	125.5~134.5 195~200	209~224	300	30 KW	S P		//	
	// 4号	470	125~135 194~200	153~165 205~214	180~189 215~231	360	60 HP	S P		//	
	日本フェルト K.K. 1号	200	124~129 192~195	165~171	183~189	200	20 HP	B P	1,800	昼間だけ連続揚水	
	// 2号	198	123~129	177~186	189~195	300	50 HP	S P			
	// 3号	199	184~192	194~199		300	50 HP	S P			
	// 4号		178~189 284~289	194~200	211~235	350	100 HP	S P			
	日本加工製紙 K.K. 2号	182	150~174			250	30 HP	B P	1,800	24時間連続揚水	
// 3号	120	37.5~42 100~109	58.5~61.5	66~73.5	350	40	B P	//			
十 条 製 紙 K.K. 1号	210	33~194	の間8カ所		200	50	S P	8,520			
700~1,000m	// 2号	210	28~76.5	188~203	225	50	S P		24時間連続揚水		
	// 3号										
	// 4号	250	100~110 175~188 220~238	123~130 192~198	145~150 202~208						

に装着した。ストレーナの構造はまど明型とし管周を16等分に配列するよう酸素熔断によって開孔した。そのほか選1号井は掘孔壁とケーシングの間に深度125m以深には9~11mmの洗小砂利を、125m以浅には粘土を充填した。選2号井は深度66mにキャンパスバスケットを装着した。ケーシング挿入完了後選1号井は約400時間、選2号井は約460時間にわたってエアーリフトにより揚水を行ない、井戸孔内の洗浄を実施した。選流井の構造および配 Wass 設備は第9図に示してある。

また工事の経過は第4表に示したとおりである。

2.1 揚水試験

井戸洗浄完了後37年1月8日~12日にかけて、帯水層の常数を求める揚水試験を行なった。試験は工場3、4号井を観測井として利用し、隣接工場揚水井の断続運転の影響をできるだけさけるため夜半から未明にかけて行なわれた。選1号井を揚水しての試験では、付近揚水井の影響を大きく受け、充分な資料が得られなかったので、37年5月の連休日にあらためて行なった。5月の試験



第9図 保土谷化学工業選流試験井の構造と送水設備

第 4 表 保土谷化学工業 K.K. における地下還流試験経過

期 間	作 業 の 内 容
昭和 36 年 3 月 10 日～3 月 20 日	城北地区における工場冷房・冷却排水調査
6 月 12 日～6 月 21 日	試験地点付近各工場の井戸状況調査
月 日～8 月 9 日	送水管の配管工事
7 月 20 日～11 月 10 日	工場 2 号井を利用した地下還流予備試験
8 月 9 日～10 月 8 日	還 1 号井の掘さく工事
10 月 10 日～10 月 21 日	還 1 号井, 井戸洗浄のための揚水
10 月 24 日～11 月 18 日	還 2 号井の掘さく工事
11 月 22 日～12 月 28 日	還 2 号井, 井戸洗浄のための揚水
37 年 1 月 8 日～1 月 12 日	帯水層の常数を求めるための揚水試験
1 月 13 日～3 月 25 日	工場 3 号, 4 号井の水位測定
3 月 26 日～4 月 10 日	冷却排水の地下還流開始, おもに還 2 号井に注入
4 月 11 日～4 月 12 日	還 1 号, 2 号井注入予備試験
4 月 13 日～4 月 30 日	おもに還 2 号井に注入
5 月 1 日～5 月 2 日	還 1 号, 2 号井注入試験
5 月 3 日～8 月 30 日	還 2 号井に注入
9 月 1 日～9 月 2 日	還 2 号井井戸さらえのための揚水
9 月 3 日～9 月 13 日	還 2 号井揚水試験
9 月 14 日 以後	還 1 号井注入継続

では工場 4 号井を揚水井とし還 1 号井を観測井とした。試験井と観測井との距離は, 還 1 号井と 4 号井が 85 m, 還 2 号井と 3 号井が 19 m である。常数の測定は, 水位降下法により, その解析方法は Cooper and Jacob (1946) にしたがった。すなわち

$$T = \frac{0.183Q}{\Delta s}$$

$$S = \frac{2.25Tt_0}{r^2}$$

$T$ : 透水量係数

$Q$ : 揚水量

$\Delta s$ :  $t-s$  曲線における log cycle の水位降下

$S$ : 貯留係数

$t_0$ :  $t-s$  曲線において直線が  $s=0$  の軸と交わる点の時間

$r$ : 揚水井と観測井との距離

工場 4 号井では  $Q \cdots 1.6 \text{ m}^3/\text{min}$

$\Delta s \cdots 0.375 \text{ m}$  (第 10 図参照)

$t_0 \cdots 1.3 \text{ min}$

$r \cdots 85 \text{ m}$

したがって前述の式から計算される透水量係数は  $0.78 \text{ m}^3/\text{m}/\text{min}$ , 貯留係数は  $0.000314$  となる。

還 2 号井では  $Q \cdots 0.8 \text{ m}^3/\text{min}$

$\Delta s \cdots 0.7 \text{ m}$  (第 11 図参照)

$t_0 \cdots 10 \text{ min}$

$r \cdots 19 \text{ m}$

したがって透水量係数は  $0.209 \text{ m}^3/\text{m}/\text{min}$ , 貯留係数は  $0.0013$  である。

このほか還流井掘さくに先立って工場 2 号井を使用して帯水層試験を行なっている。

測定日  $\cdots 36$  年 7 月 23 日

揚水井  $\cdots$  工場 2 号井

観測井  $\cdots$  工場 3 号井

このときの透水量係数は  $0.32 \text{ m}^3/\text{m}/\text{min}$ , 貯留係数は  $0.00321$  と算定された。

透水量係数と貯留係数を使用して次式によって 24 時間揚水後の影響圏が算定できる。

$$r_0 = \sqrt{\frac{2.25 T t}{S}}$$

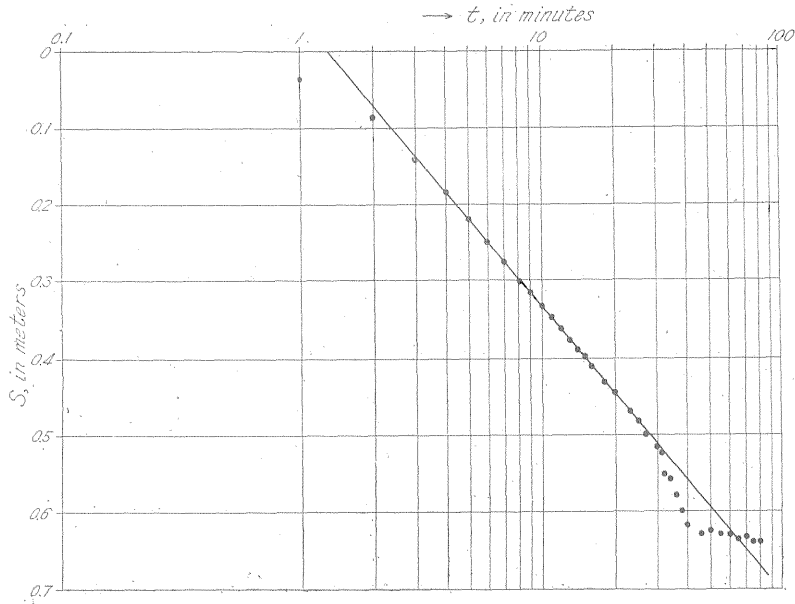
$r_0 \cdots$  影響圏

$t \cdots$  1 日とする

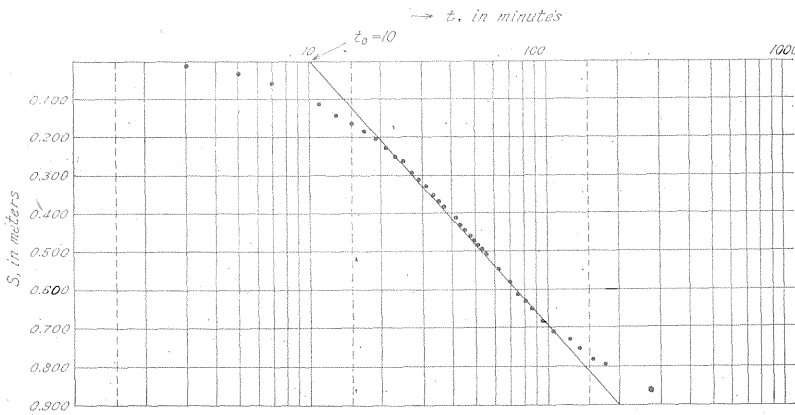
上記の式より, 還 2 号井, 工場 4 号井, 工場 2 号井の 24 時間揚水後の影響圏はそれぞれ, 約 940 m, 2,800 m, 570 m となる。

揚水井の限界揚水量を算定するための段階試験を還 1 号井, 還 2 号井について行なった。この結果は第 12 図と第 13 図に示してあるが, 限界揚水量は還 2 号井が  $1,000 \sim 1,300 \text{ m}^3/\text{day}$  と推定される。

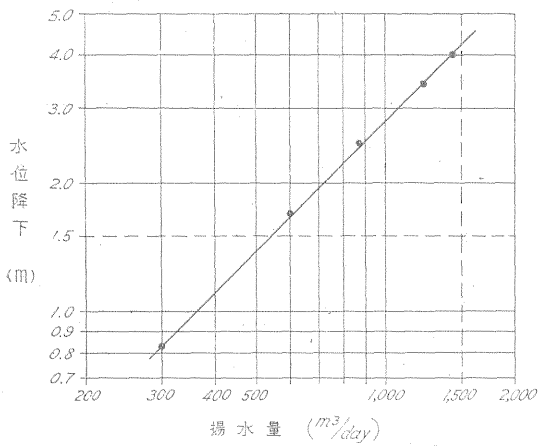
還 1 号井についてはポンプの揚水能力が小さかったので求められなかったが, 付近工場の深度  $200 \sim 220 \text{ m}$  の揚水井における段階試験の結果では  $2,000 \sim 22,000 \text{ m}^3/\text{day}$  となっている。また  $140 \text{ m}$  以浅の井戸では約  $1,100 \text{ m}^3/$



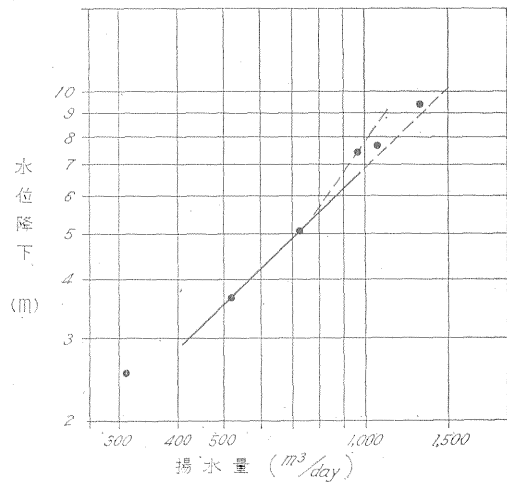
第 10 図 保土谷化学工業工場 4 号井揚水試験における水位降下曲線



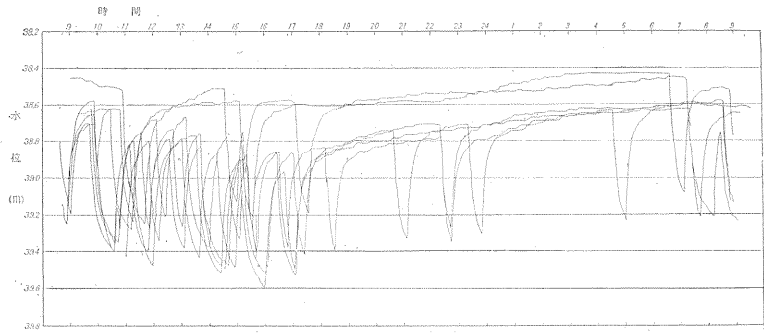
第 11 図 保土谷化学工業地下逕流 2 号井揚水試験における水位降下曲線



第 12 図 保土谷化工逕流試験 1 号井における段階揚水試験結果



第 13 図 保土谷化工逕流試験 2 号井における段階揚水試験結果



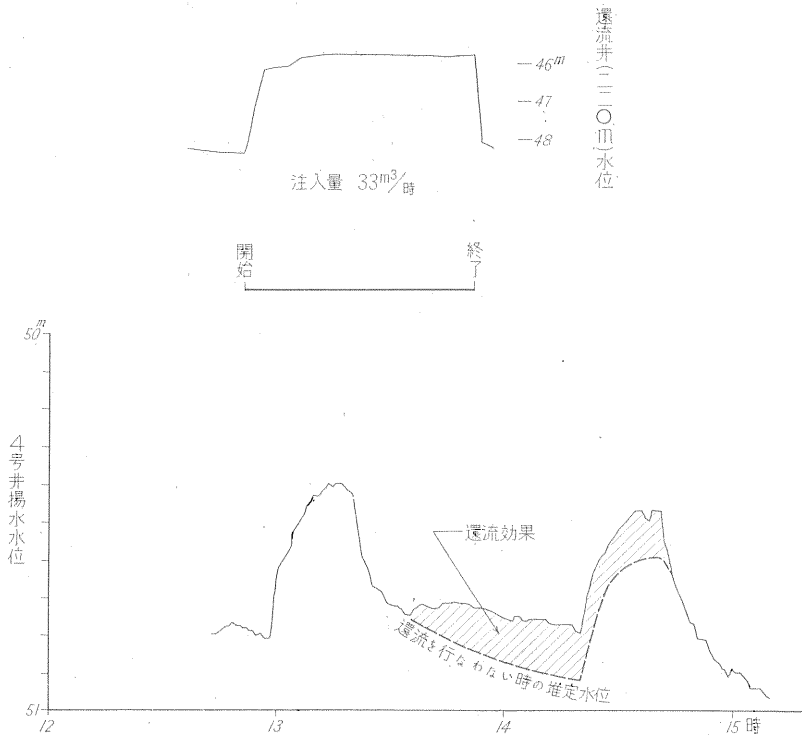
第 14 図 保土谷化学工業工場 1 号井における水位の日変動

day が限界揚水量となっている。

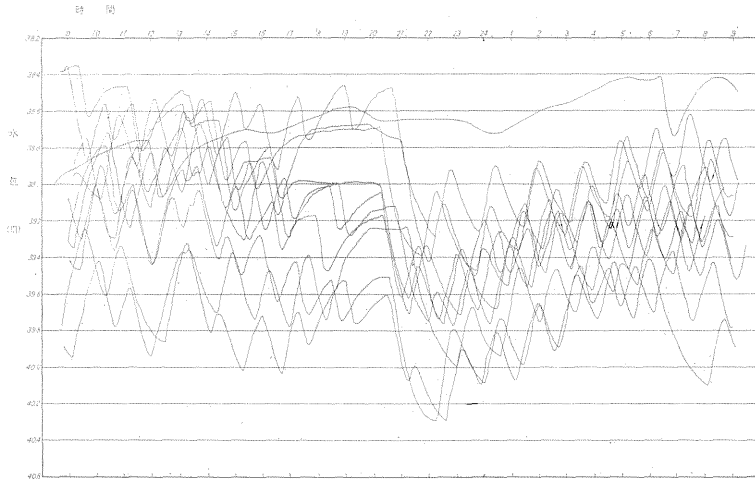
### 2.2 還流試験

揚水試験終了後、直ちに還 1・2 号井に注入を試みた。注入水量は工場の操業の関係から約  $35 \text{ m}^3/\text{h}$  に抑えられたが、注入による水位の上昇は還 2 号井 (70~80m の帯水層) で約 8 m、還 1 号井 (140~200 m の帯水層) で約 6 m であった。水位の上昇は短時間のうちに停止し、還 2 号井で約 40 分後、還 1 号井で約 25 分後には安定した状態で連続注入が行なえた。これによって、還流井、1 号、2 号とも注入状況が良好であることが確かめられたので注入を 3 月 25 日まで停止し、工場 3・4・1 号井の還流井に注入していない時の水位を連続測定した。

そのうち、工場 1 号井における水位変動を第 14 図に示してある。それによるとこの付近の水位の変動は 8 時頃より夕方に向かって不規則な上下動を繰り返しつつ一般的に低下して行き 17 時頃最も最低になる。その後翌日 8 時頃までやはり不規則な上下動を繰り返しつつ上昇し、前日の 8 時の水位より若干低い水位となる。このような現象は付近工場の揚水井が 24 時間連続揚水するとともに、断続揚水も行ない、また昼間だけ揚水し夜間は休止することなどによって生ずるものと考えられる。このような水位の変動を示す地域では、注入による水位の上昇 (注入効果) が断続揚水による水位の不規則な上下動により相殺され、その効果を測定することがか



第 15 図 保土谷化学工業工場 1 号井に注入した場合の工場 4 号井の水位上昇



第16図 保土谷化学工業選2号井に400~600m<sup>3</sup>/13時間注入しているときの工場3号井の水位日変動

なり困難である。4月11日~12日に注入効果を確認するため選1号井、選2号井にそれぞれ注入しているときの工場2号井、4号井の水位を測定した。その結果、選1号井に約33m<sup>3</sup>/hの注入を行なった場合、約63m<sup>3</sup>/hを連続揚水している工場4号井の水位が、第15図に示してあるように不規則な上下動を繰り返しつつも15cm程度は上昇していることが推定される。選2号井については、このときは十分な資料は得られなかった。

このように、試験工場および付近の工場が操業しているときは、注入効果が明確でなく、また冷却排水(注入水)も長時間一定に、しかも多量に得ることがむずかしい。そういう点から注入効果を実に把握するためには、試験工場および付近の工場が長時間揚水を停止した時か、または長時間一定に揚水している時に行なわなければ充分な結果が得られない。そこで5月初めの試験工場の休業日および付近工場の大部分が休業するときまで、おもに選2号井に400~600m<sup>3</sup>(8時~18時)の注入を継続した。この間の工場3号井の水位日変動を第16図に示してある。これによると朝8時より夕方にかけての水位の低下は第14図に比較してかなり少なくなっている(第14図では工場2号井が昼間のみ断続揚水し、夜間はほとんど揚水していない。第16図では、24時間断続揚水し夜間は注入を行っていない。)

5月1日・2日の工場連休日に注入効果を確実に確かめるために段階注入を試みた。その結果は第17図と第18図に示してある。

今回の注入試験にあたっては試験工場は4月30日12時より5月4日6時まで休業しており、付近工場の大部分もほぼ同じ操業状態である。したがってこの付近の水位は4月30日夕方より5月1日にかけて上昇しつつあ

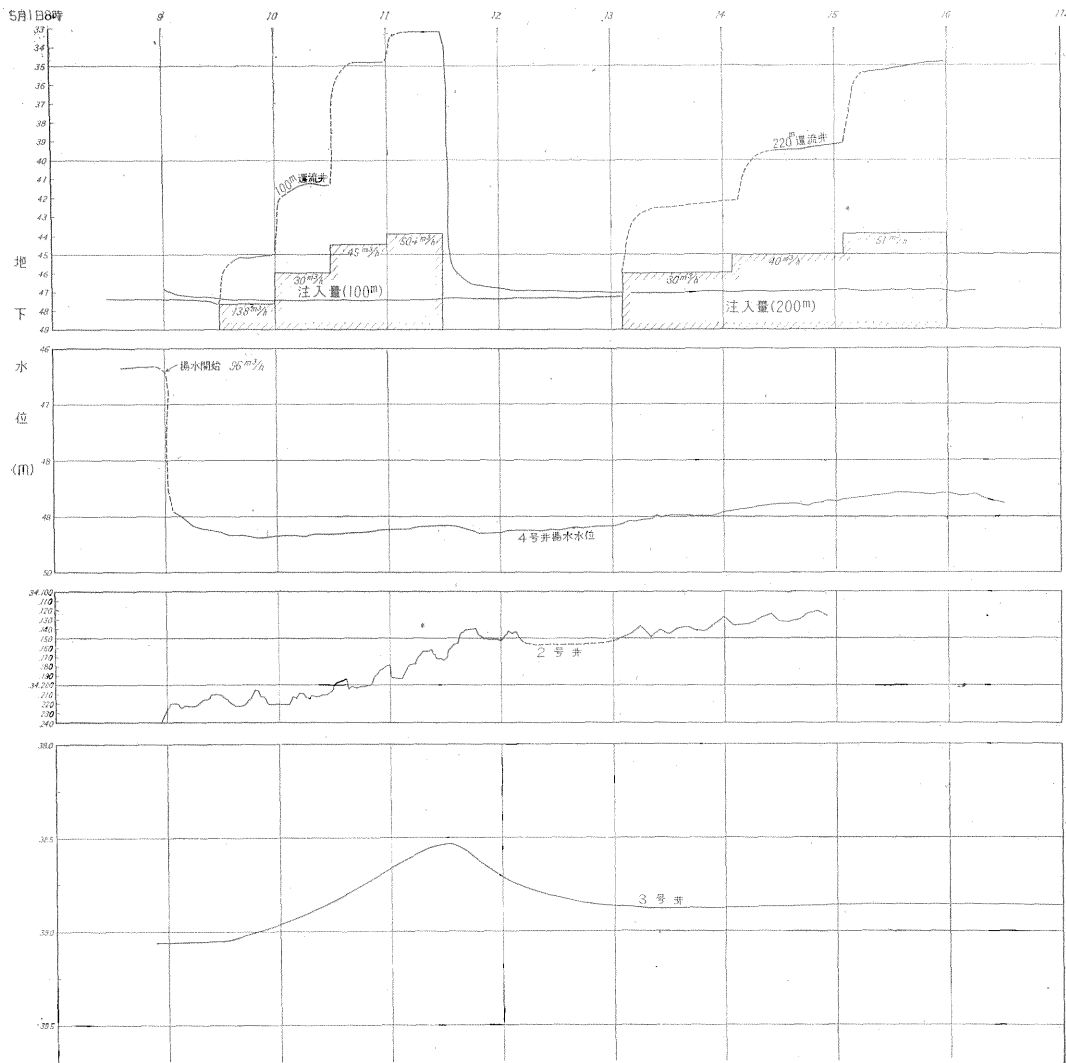
った。試験はまず工場4号井(深度220m)を5月1日9時に揚水開始し(注入水を得るためには工場のどれかの井戸を揚水しなければならない)、その揚水水位がほぼ安定した9時30分に選2号井に注入を開始した。注入は約30分ごとに段階的に行ない、それぞれ13.8、30.0、45.0、50.4m<sup>3</sup>/hと増加した。その結果工場3号井については、13.8m<sup>3</sup>/hの注入で約9cm、30m<sup>3</sup>/hで約20cm、45m<sup>3</sup>/hで約38cm、50.4m<sup>3</sup>/hで52cmの水位上昇が認められた。工場2号井では、30m<sup>3</sup>/h注入の頃より水位が上昇し始め、約7cm上昇した。工場4号井についても70~80mの帯水層にもストレーナを設けているため若干の水位上昇が認められた。選2号井の注入は12時30分に停止したが、工場3号井の水位は急激に低下し、13時には注入前より18cm高い水位で安定した。続いて13時10分より選1号井(220m)に1時間ごとに30m<sup>3</sup>/h、40m<sup>3</sup>/h、51m<sup>3</sup>/hと段階的に注入を行なった。その結果工場3号井には影響なく、2号井に若干、4号井に約50cmの水位上昇が認められた。注入は16時に停止されたが、4号井水位は注入停止直後から低下し約30分で15cm低下した。

5月2日には前日と同様な注入を選2号井について行なった。注入は9時10分より行ない2時間ごとに約30m<sup>3</sup>/h、約40m<sup>3</sup>/h、約51.6m<sup>3</sup>/hと3段階に行なった。その結果3号井では30m<sup>3</sup>/hの注入で約25cm、40m<sup>3</sup>/hで35cm、51.6m<sup>3</sup>/hで52cmの水位上昇が認められ、2号井では40m<sup>3</sup>/h注入の頃より上昇を始め約7cm上昇した。

数理的な解析は今後行なうが2日にわたる注入試験の結果少なくとも次のことについて指摘できる。

この地域では60~80mの帯水層よりも140~200m

冷却排水地下環境に関する調査報告 3 (岸 和男)



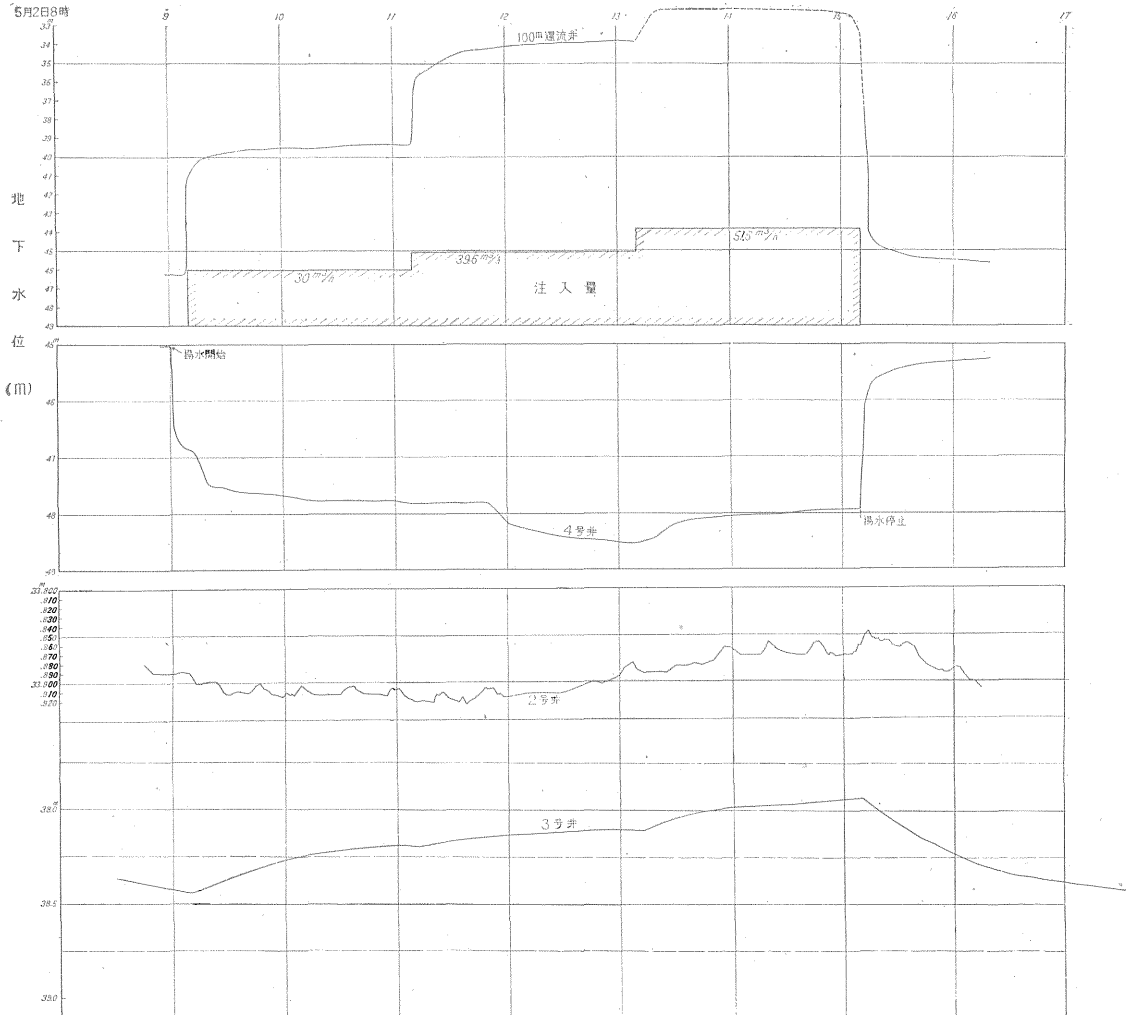
第 17 図 保土谷化学工業還流井における段階注入試験結果

の帯水層の方が注入量が多い。また注入効果（注入の影響圏）も 140~200m の帯水層が広い範囲に及ぶ。還流井における注入量に対する水位の上昇は 140~200m の帯水層の方が少ない。なおこれらのことは揚水試験による透水量係数・影響圏・限界揚水量の結果と相関関係にあることを示しているものと考えられる。

工場連休日における注入試験後還 2 号井に日量 400~600 m<sup>3</sup> の注入を 8 月下旬まで継続して行なったが、7 月頃より注入総量の増加とともに注入量に対する水位の上昇が大きくなり、8 月初旬（総注入量約 55,000 m<sup>3</sup>）には毎分 600 l の注入で水位は、井戸管頭にまで達した。その後注入量を毎分 400 l に下げて注入を継続したが、8 月の下旬に水位は井戸管頭に達するようになった。こ

れは注入総量の増加とともに還流井周辺の帯水層が目ずまりを生じたものとみられるので、9 月 30 日に還 2 号井に水中ポンプを装着し 13 日間にわたって揚水を行なった。このときの揚水水位と揚水量は第 19 図に、揚水量と水位降下の関係は第 20 図に示してある。これによると 400 l/min 揚水したときの水位は第 1 日には約 61m であったが、揚水時間の増加とともに上昇し、7 日目以後は 54~56m になった。また揚水水位を約 65m に下げた場合、第 1 日には 500 l/min しか揚水できなかったが 8~11 日目には 900 l/min の揚水が可能となった。水位降下 5m と 9m のときの揚水量変化を第 5 表に示してある。

今回の揚水を行なうまでに還 2 号井に注入した水量は



第18図 保土谷化学工業還流井における段階注入試験結果

第5表 保土谷化学工業 K.K.における揚水量の変化

水位降下	揚 水 量 (m³/day)						
	9月3日	4日	7日	8日	10日	11日	12日
5 m	520	550	690	730	700	730	* 760
9 m	740		970	1,040	1,040	1,120	1,120

約 63,000 m<sup>3</sup> (3月26日～8月2日) に達するが、目づまりが除去されたとき (第7日) までの合計揚水量は 815 m<sup>3</sup> である。

還2号井が目づまりの状態を示し始めた7月下旬から 日量 100～300 m<sup>3</sup>、また還2号井が揚水開始してからは 日量 400～600 m<sup>3</sup> を連続して還1号井に注入した。10月10日までの還1号井の総注入量は約20,000 m<sup>3</sup> であ

るが今後も注入を継続し、長期間の効果を確認することになっている。

### 2.3 水温・水質について

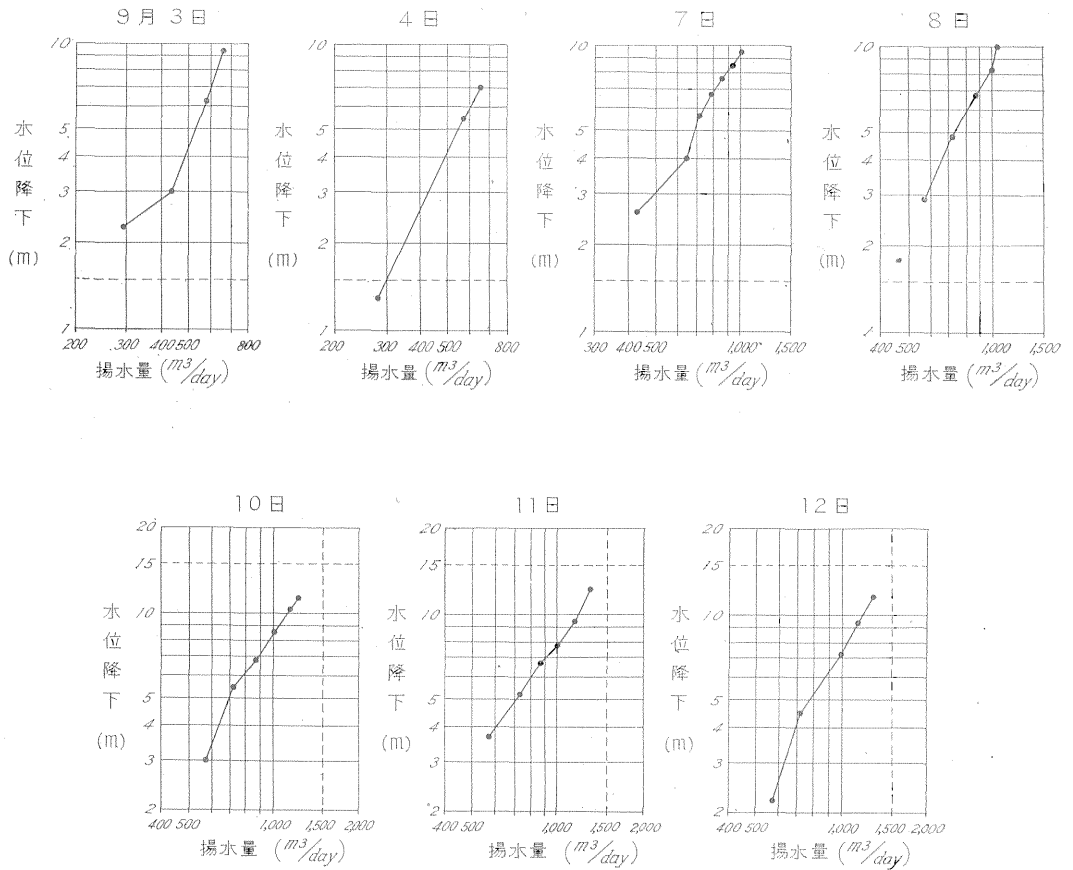
工場揚水井および注入水の水質は第6表に示してあるが、工場2号井 (おもに70～80mの帯水層の地下水) より4号井 (おもに140～220mの帯水層の地下水) の水質が若干良質である。地下水温は2号井が16°C、4号井が



冷却排水地下環流に関する調査報告 3 (岸 和男)



第 19 図 保土谷化学工業池 2 号井における目ずまり除去のための揚水試験結果



第 20 図 保土谷化学工業池 2 号井における目ずまり除去のための段階揚水試験結果

第6表 保土谷化学工業 K.K. 東京第二工場揚水井の水質分析結果

井戸番	水温 (°C)	pH	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (ppm)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)	Cl <sup>-</sup> (ppm)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (ppm)	K <sup>+</sup> (ppm)	Na <sup>+</sup> (ppm)	Ca <sup>2+</sup> (ppm)	Mg <sup>2+</sup> (ppm)	硬度 (ドイツ)	KMnO <sub>4</sub> cons. (ppm)
2号井	16.5	7.4	—	183.0	26.3	55	5.2	14.0	84.2	12.8	9.7	5.5
4号井	16.5	8.4	3.84	67.8	4.3	10	3.8	11.3	13.4	1.8	2.3	6.4

注入水の溶存酸素量測定結果 (単位: cc/l)

水温 (°C)	冷却機出口の水	冷却水受水槽中の水	圧送ポンプ(ヒューガルポンプ)直後の水	注入井に落した直後の水
23.0~24.0	6.77	7.28	8.03	9.11

16.5~17°C である。注入水は4号井3, 2号井1の割合で混合した地下水で水温は操業状態により22~26°Cに変化する。また冷却装置を通る間にごく少量の固形物が含まれてくる。注入水の酸素量は、冷却装置・送水ポンプなどにより過飽和状態に達している。この酸素量が多く、水温の高い注入水が帯水層中の酸素量が少ない水温の低い地下水と混合した場合、なんらかの化学的変化を生じ目ずまりの原因となる恐れは充分にあり、今後の研究課題として残されている。

### 3. むすび

今回の試験によって地下注入が可能であることが確実となり、またその効果もかなり得られた。しかし当地域のように揚水量が注入量に比較し、きわめて大きく、かつ水位の変動が激しい地域では、注入効果を確かめることがはなはだ困難であり、還流井に付随した還流観測井がぜひとも必要である。また広い範囲の効果を得るには工場の冷却排水の注入量では少なく、ある地区内についてその地区の揚水量の25%程度の注入を行わなければ明確な効果は得られないものと考えられる。

還流井掘さくの技術的な点には現在一応問題はないが、ストレーナの形態、注入水の水質、注入方法などについて研究の余地が多分に残されている。注入による還流井周辺帯水層の目ずまりは注入水の水質、注入方法が改良されればかなり防げると考えられるが、注入量に対し

わずかな揚水量で回復するので、還流井は、注入できると同時に揚水も行なえるような構造にすることがのぞましい。また城北地区のように水位が50mにも達するところでは圧入井の必要はない。むしろ過剰注入によって還流井周辺の帯水層が破壊されないような注入水量に押えることが必要であろう。

(昭和36年3月~37年10月調査)

### 文 献

- 1) 工業用水グループ：東京都江東および都北工業用水源地域調査報告，関東西部地域調査第1報，地質調査所月報，Vol. 8, No. 10, 1957
- 2) 木野義人外2名：荒川水系（埼玉県および一部東京都）工業用水源地域調査報告，関東西部地域調査第9報，地質調査所月報，Vol. 10, No. 5, 1959
- 3) 蔵田延男外2名：冷却排水地下還流に関する調査報告1，実施の事例調査と三共 K.K. における予備試験の結果について，地質調査所月報，Vol. 11, No. 7, 1960
- 4) 高橋 綱：東京都江東および都北地区における工業用地下水補足調査報告，地質調査所月報，Vol. 12, No. 11, 1961