

人工地下水

めぬまの試験地

上野を出た高崎線は1時間足らずで熊谷駅につく。ここから 東武鉄道熊谷線に乗換えて北へ15分 妻沼駅に着く「めぬま」と読む。読みにくい名前である。この熊谷線は 戦争中には群馬県太田市にあった旧中島飛行機の工場への工具輸送のため 利根川を渡るべく橋脚まで作ったところで終戦になり それもそのままになり妻沼で行き止りになったこの鉄道は バスに押されて わずかに通勤の足として命脈を保っているにすぎない。そして国鉄からも 一級国道17号線からもわずかに外れたこの町は 周辺を熊谷市 行田市 羽生市 深谷市 太田市に取り囲まれながら むかしながらの農村地帯の名残りを留めている。それ故大きな工場もないし また上水道も引かれておらず 昭和41年ごろ私たちが人工地下水の研究を行なおうとする時点においてはまさに恰好の土地であった。

人工地下水の研究地には いくつかの条件がある。水を注入する側としては 地下水位は低いほど井戸側管内での水圧がとれるので望ましく 同時に水位が低いと

小西 泰次郎

ころは工場などで地下水を多量に揚水している地帯であるから 水を注入しようとする帯水層と同じ帯水層から水を汲みあげている工場が付近にたくさんあるので 注入効果の観測などには便利である。しかし一方では 付近に揚水井がたくさんあると その影響を受けるので 効果を解析しにくい点もあり また上水道の水源井など

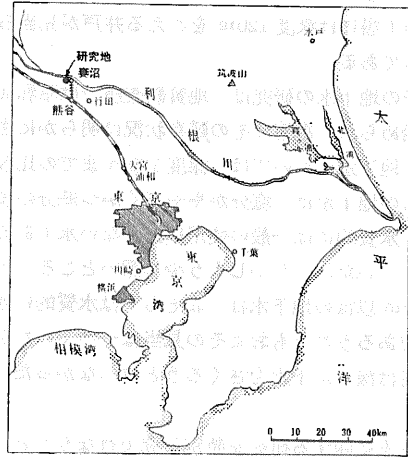
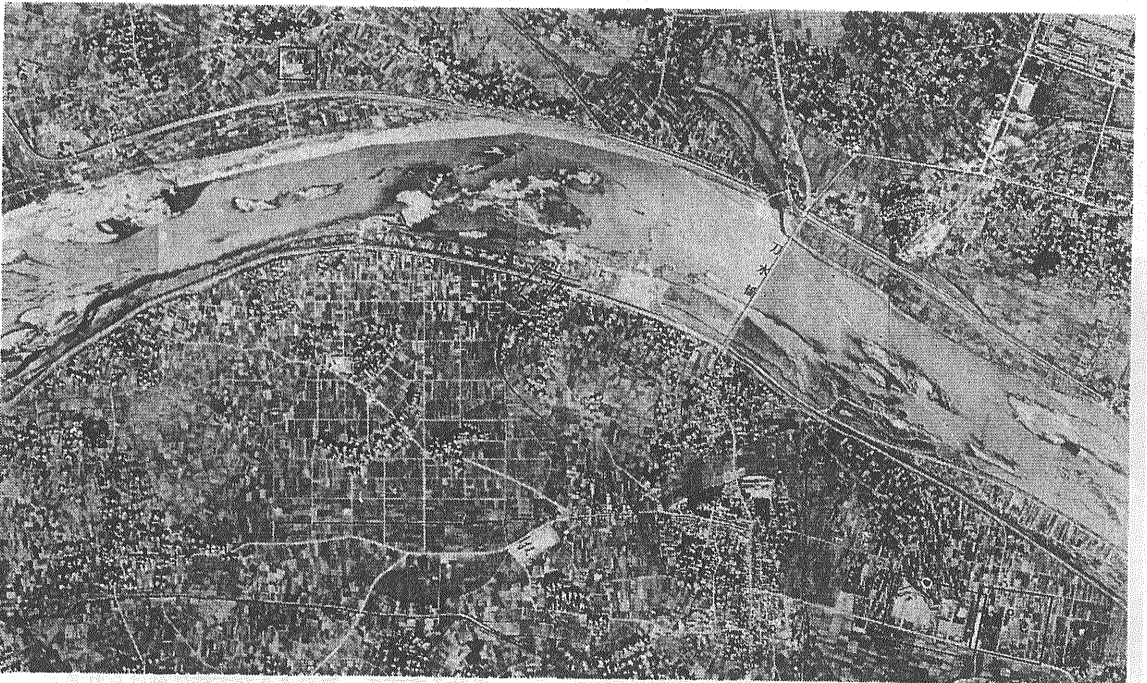


図1 位置図



① めぬまの人工地下水試験地

が近くにあると 衛生面で十分な配慮をする必要も生じてくるし そのような工場地帯では試験地を借りるにもいろいろと制約を受けるので この両者のどのあたりで妥協するかはなかなかむずかしいところである。

熊谷市の南東に吹上げという町がある。以前この地には文字通りに勢いよく吹上げる自噴の井戸がたくさんあったところで 今ではほとんど自噴も止ってしまったが 埼玉県の平地部は被圧地下水の水位の高いところである。妻沼を試験地に選ぶに当って 最も心配したのは深さ200mの被圧地下水の水位がどのへんにくるであろうか ということであった。それというのは 当時この付近の工場には深度120mをこえる井戸が見当らなかつたからである。

関東平野の地下水の研究は 地質調査所では昭和30年ごろから始められ 次第にその賦存状況は明らかにされ 妻沼付近の地下水については 深度100mまでの比較的浅いところの地下水は 塩分がやや高かつ鉄分の多い地下水で 水質的には一般の使用に耐えない水であることが分かっていった。しかしもう少し深いところ 少なくとも150m以深の地下水は おそらくは水質的に難点のない水であろうこともおよその見当はついていたが なぜか工場は深い地下水をさぐろうとはしなかつた。

人工地下水に関する研究を特別研究で行なうことになり その試験地をどこにするかを定めるための準備を始め だいたい妻沼付近がよかろうと見当をつけたちようどその頃のことであった。妻沼町が上水道をひくことになり その相談に来所されたのは 筆者が以前青森市の上水道拡張にあたって知りあつた青森市水道部の旧職員であった。そして妻沼町で上水道をひくことになり 工場の井戸水を調べてみると 鉄分が多く除鉄装置を持

たねばならぬが どうしたものでしょうという相談であつた。そこで筆者は少なくとも深度150m以深 200m前後かそれより深い地下水をとれば必ず水質は保証される旨を告げ 深度250mの井戸を掘り 掘さくにあたっては隔層採水により150m以深の帯水層についてその水質試験を行なつた後に スクリーンの位置を決めて採水するようにすすめた。そしてそれはそのとおり実施に移され妻沼町は昭和43年度から全町への給水が始まつた。

いっぽう町当局の人工地下水に対する理解も深まり 試験地は妻沼町に正式に決定され 昭和42年度から特別研究「人工地下水に関する研究」は始まつた。

人工地下水とは

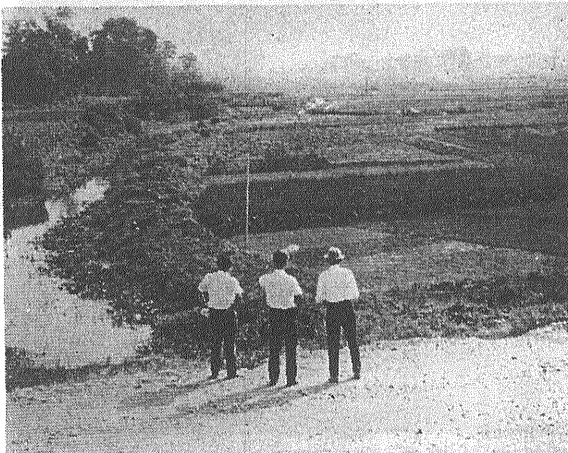
水資源のひっばくは日本全土におよび しかも慢性化しつつあることは周知の事実であるが これを救ういくつかの方法のうちの一つと考えられるものに人工地下水がある。人工地下水は要するに人工的な方法によって地下水を補給強化しようということである。もとより地下水の涵養源は降水の地下浸透によるものであるが 地下水のうち浅層のいわゆる自由地下水は 雨が降ってからいくらかもたたずにその影響が現われてくるが 深層の被圧地下水となると涵養源から遠いので 貯溜されている地下水を使つてしまうと すぐにはなかなかその補給はつきにくいものである。

そこで何とかそこに手を加えようとの試みがなされるわけである。その方法としては 一つは涵養地において水の供給を行なうと共に その浸透を促進して地下水を補給する方法と いま一つは地下の帯水層の中に 直接水を供給する方法とがある。人工地下水を厳密な方々をすれば 人工による地下水の涵養または補給というべきであるが 日本では 今では一般に「人工地下水」で通つているようである。

いっぽう外国では 早くから文献も出ていて 1900年にストックホルムで出版された文献において Richert, J. G. は“Artificial Underground Water”と書き 1946年の Economic Geology において Brashers, M. L. Jr. は“Artificial Recharge of Ground Water” また Meinzer, O. E. は“Artificial Ground Water Recharge” というように いい方も一定していないようである。

人工地下水を行なう方法は 大きく分ければ前述のとおりであるが これをさらに分ければ次のようになる。

- 1 分散浸透法 (拡水法) : 地表から水を地下に浸透させる方式で 次のような方法に分けられる。



② 妻沼町役場の人と研究地の選定をする

- 1) 洪水法
 - 2) 溜池法
 - 3) 溝濠法
 - 4) 自然流水法
- 2) **ピット・堅坑法**：特殊な地帯での水の補給方法で、ピットと堅坑の組み合わせにより注水する。
 - 3) **井戸法**：井戸を掘り、地下の帯水層に直接水を送りこむ方法で、妻沼の研究はこの方法により行なわれた。

人工地下水の目的

人工地下水の目的は次のいくつかに分けてあげられるが、要は地下水量の補給増強にある。

- 1 地下水の水量の補給増強
- 2 地下水の汲みすぎによりおこる災害の防除
 - a 地盤沈下の防止
 - b 臨海地区における地下水への海水侵入の防除（塩水化防止）
- 3 高温の水を注入して水温を低下させて他の井戸から揚水する（地下還流）
- 4 排水 雨水などの貯溜を兼ねた地下水盆の貯水池化
- 5 温泉源の開発と保全

1：人工地下水の窮極の目的はこれである。

2a：地盤沈下が進行している地帯では、あまり効果は期待できない。地盤沈下は地下水位の低下による地層の圧密によるもので、その防止にはまず地下水位を低下させないことである。地下水位が低下した地帯で地下水位が上昇した場合にはたして沈下した地盤がもとどおりに回復するかといえ、いくぶんは回復するもののその程度は僅少である。太平洋戦争末期に工場地帯が破壊されて工場の揚水が停止した時、すなわち昭和17年頃から、東京、大阪の地盤沈下地帯の地下水位は上昇し、昭和21年頃はかなりの高さまで回復したが、地盤高は現状維持か、もしくはわずかな上昇をみせたにすぎない(図2)。しかし人工地下水により地下水位の低下を防止することにより地盤沈下を防止することは可能である。

2b：海水が地下水へ侵入してくるものの防止は、アメリカ合衆国ですでに一部では実施に移されて

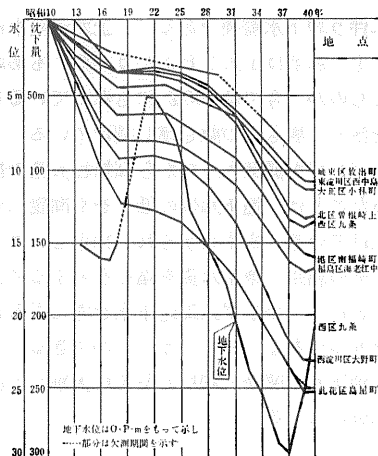


図2 大阪における地盤沈下および地下水位の経年変化

いるが、日本では近年臨海地帯の一部において塩水の侵入がみられ、しだいに各地でその徴候が現われはじめたので、その対策が望まれている。その防止法とくにすでに塩水化した地帯で塩水を追い出す手段としては、地下水の揚水量を減らすのみでは効果がなく、人工地下水によってその防除を行なう以外に方法はない。

3：工場から排出される温度の高い水を一方から地下へ注入して、他方から常温の地下水として揚水する方法は、工場で地下水の補給を兼ねてしばしば行なわれている方法である。この人工地下水の方法は、地質調査所においては、昭和33年から37年度まで“地下還流試験研究”として行なってきたものである。

4：余剰水の地下貯溜ということは決してできないことではないが、最も多くの困難を伴う仕事である。これがまた、さらに洪水の調節にも一役荷うようにでもなれば、水資源の有効利用という面から画期的なことであるが、まだまだその道は遠いようである。

5：日本のように温泉の多いところでは、泉源の保全と開発には、将来どうしてもこの方法に頼らざるをえないであろう。

人工地下水の背景

水のありあまった時代から水不足の時代を迎えて、地下水の補給を自然状態からばかりに頼るのをやめよう、そして人間の力でその補給をしようというのが人工地下水で、その背景をなすものは時代の移り変わり、とく

に工業の発展に伴う地下水需要である。上水道の水に例をとってみても 以前は1人1日あたり100ℓもあれば十分であったものが 今では400ℓにもなっているし また大量に水を使う工場もその数を増し続けている。

とくに近年水中ポンプが開発されてから高揚程大量の揚水が可能になったことは 地下水位の低下をも問題にせず に水を汲み上げていき ますますそれに拍車をかけている。そしてその結果 地下水量を増そうとするには好むと好まざるにかかわらず人工地下水を考えざるを得ない時代になりつつある ともいうことができる。

日本における地下水の開発と利用の段階は大別して次の4期の段階に分けられる。

第1期：湧泉および手掘りの浅井戸 深井戸により地下水を利用していた時期

第2期：さく井機による井戸の掘さくにより地下水の開発利用が盛んに行なわれた時期

第3期：地下水の揚水が地盤沈下の原因とみなされて地下水の採取が規制された時期

第4期：地下水の適正利用による保全揚水と人工地下水の時期

第1期は地下水を可能な手段によって 自由に使っていた時代である。地下水が使われた初めは 岩の間や地面からわき出る湧泉をそのまま使ったが やがて手掘の井戸を掘って地下水を求めようになり ついで上総掘の名で代表されるように 日本の多くの場所に自生する竹などの道具を使った手掘の深井戸なども加わって地下水を思いのままに利用してきた時期である。

第2期は大正2年に輸入のさく井機を使った井戸が 東京の新宿下落合に掘られてから始まり さく井機により掘さくされた井戸による地下水利用の全盛期である。この初期における地下水の取得は 今日我々が全く想像もできないほど容易で さく井業は 水を出すのにたいした苦労もなくもうかる仕事の一つであったらしい。その後井戸の掘さく深度はしだいに深くなり 揚水水位も低下していったが やがて終戦を迎え そして戦後の工業復興期を迎えることになる。戦後昭和22年頃から地下水の需要は主として工場の用水として伸びはじめ それは年ごとに増大していったのである。いま手元に日本橋のあるビルの大正年代からのさく井資料がある。それによれば 大正14年には井戸深度97m 静水位6.66m 揚水水位10.06mで 昭和10年には井戸深度200m 静水位21.41m 揚水水位35.15mであるが 昭和

31年には井戸深度200m 静水位37.0m 揚水水位45.45mに達し 翌32年には 静水位は46.34mに 揚水水位は57.97mに と急激に低下している。また大阪市内の揚水量をみれば 計画水量として昭和22年には 331,578 m³/日 25年には450,038m³/日 28年には719,079m³/日 31年には 1,010,339m³/日という増加を示している。

そしてそれにつれて図2でわかるように地盤沈下が進行していき また東京でも工場の揚水によって下町地区で地盤沈下が激しくなってきた。そこで地盤沈下防止のため特定の地域に対して工業用水の揚水を規制する措置として工業用水法が施行されることになった。昭和31年6月11日のことである。

かくて第3期の地下水規制の時期を迎えたのである。最初の指定地域として地盤沈下の最もはなはだしい尼ヶ崎市 川崎市 四日市市が指定され その後しだいにその指定範囲は広げられ 東京 大阪 名古屋およびその周辺の主要地帯は相次いで地下水規制区域となり 昭和41年には指定地域の合計は12地域にまでなった。そして主要工業地帯の工場の用水は 地下水にかわって工業用水道がその主たる供給源となるように工業用水道事業法が施行され 大量の工業用水には工業用水道があたることになった。しかしいっぽうでは地下水の利点であるところの低温かつその温度差の少ないこと 工業用水道に比べて1m³あたりの単価が安く 水質も安定かつ良質なこと および自家用水であるため便利なことなどから 工場としては地下水をすてきれぬものがあり できれば地下水を使いたいという願いはあとをたたない。現に工業用水法施行地域内においてさえ その規制された以外の地層から吐出口径などのきびしい制限の範囲に合う井戸をつくり取水している工場も増えてきている。

昭和41年までの12地域におよぶ指定地域の規制により地下水規制の態勢はいちおう整ったものと考えられ それ以降現在におよぶ時期が第4期である。通産省工業用水課所管で 地下水利用適正化調査が進められているが 今後の課題としては利用の適正化によって 地下水の開発は 地下水全般の保全を考慮しながら開発利用を進めていく“保全揚水方式”をとらねばならぬと考えると同時に“人工地下水”により地下水の補給を考えなければならない段階に達したものと思われ その意味において人工地下水の研究は時宜をえたものであるということがいえる。人工衛星をはじめとする人工による自然への挑戦は 水に関しては人工降雨 海水を原料とした人工淡水とともに 人工地下水は明日の地下水をになうものである。

日本における人工地下水の沿革

日本において人工地下水が正式にとり上げられたのは戦後の昭和26年(1951年)に当時の G. H. Q. の地下水顧問であった Mr. M. L. Brashears のすすめにより尼ヶ崎市¹が武庫川の河床に深度70m 口径500mmの井戸をつくり 武庫川の表流水を注入したのが初めてであったが適当な水処理施設を持たずに注入を行なったため おそらくは目づまりがその原因であったであろうが 失敗に終わっている。しかしアメリカやヨーロッパの国々では早くも19世紀の末には実施された例もある。アメリカ合衆国で最初に地下水補給の目的で分散浸透による人工地下水を行なったのは コロラド州デンバーのある水道会社で 1889年のことであるという。

ヨーロッパにおいては 1897年に Mr. Richert がゴダ河の水をやはり分散浸透させて水道水源に利用している。その後の1900年代には アメリカやヨーロッパの各地で 人工地下水はしばしば行なわれるようになった。

日本のように平地を求めて水田をつくり 水田は山合いの谷間の傾斜地にもおよび いたるところに水田の発達しているところでは 意識することなしに自然の分散浸透法を行なっているようなもので また川の上流部から素掘りのかんがい用水路を延々とひいているのは 溝濠法による分散浸透の一つであって 水田のかんがい期と非かんがい期とでは 下流の地下水の水位が全く違ってくることから その効果のほどがはっきりしており その意味では 日本は昔から意識することなしに上流地帯で分散浸透法によって地下水を養ってきたともいえる。尼ヶ崎における失敗のあと 日本でもようやく人工地下水の気運が出て 工場が自工場の地下水確保の手段として人工地下水を行なった事例は数多いが その中で昭和29年から現在に至るまで キャリア排水の地下注入を継続している琵琶湖畔の工場の例は特筆に価するものでその他のこれを実施した多くの工場では いろいろな事情で長続きしたものは少ないが しかし その方法と管理のいかんによっては そのおかれた環境条件にもよるであろうが 前述の例からおして 決してできないことではない。

地質調査所における人工地下水

地質調査所における人工地下水についての研究は 昭和33年度の工業技術院特別研究費の一部を以て 東京都品川にある三共製薬(株)本社工場敷地内²において 地下還流試験研究として発足したのがそのはじまりである。それまで地質調査所では間接には人工地下水の指導を行ってきたが、そのうちである程度の成功をおさめた例

は さきに述べた琵琶湖畔の工場の例 また短期間ではあったが一応その目的を達した東京赤坂のラジオ局などの例があげられるが ここに初めて直接手を下して工場の冷却排水を対象とした近接二井間における地下還流試験研究を行なうことになったものである。工場用水として地下水の利用が増大して ようやくそれも限度に来て それに伴ういろいろの障害や問題も出はじめてきたので それらの対策の一つとして工場での排水を直接井戸に注入して地下水の補給とその強化を計ることを研究の目的としたものであった。

最初に行なった三共製薬(株)における研究は その工場敷地内に深度75mの掘さくを行ない 深度23mまでは直径300mm それ以下60mまでは 直径150mmのケーシングをそう入し 上部および下部にスリット型のストレーナを配し 密閉圧入井に仕上げた上 昭和34年1月から注水を行なった。しかし注水開始後15分位で水は地上にあふれ出したので ふたにより密閉して圧入状態に保ち注水を行なうと 1~1.5時間の圧入はできたが そのうち圧入井から8m位はなれた地面から湧水がみとめられるようになり その後は圧入水の大半が地面に湧出するようになりこの試験は中止したが 結局は失敗に終わったこの最初の試験によって 次に行なわれる調査研究のための数々の教訓をえた。昭和34年度には 名古屋市にある日清紡績(株)名古屋工場の敷地内に還流井を掘さくしたが 伊勢湾台風による被害のため試験は中止された。

昭和35年には徳島市にある東邦レーヨン(株)徳島工場³において 地下水塩水化防止のための地下還流試験を実施した。還流井は深度46m 掘さく口径450mm ケーシング口径350mm ストレーナはスリット型とし 深度30m~46mの間に開孔し 周囲には砂利充てんをほどこし その上部はセメントグラウトを施工した。その井戸施工図は図3である。注入水は還流井の近くを流れている今切川の表流水を用いて圧入を開始したが まもなくケーシングの外を固めているセメント部の外周に沿って水が湧出してきたので 一時試験を中止して 地表から7~8mの深さまで分布している砂層の部分に井戸を中心にして7本の孔を掘り セメントグラウトを施工した。そして試験を再開して圧入量の最大を90m³/時に上昇させたところ注入圧力は1.4kg/cm²にまで上昇した。その後の試験により 圧入水量を60m³/時を限度として圧入を行なったが 再び地上への湧水現象があらわれはじめたため圧入を中止した。

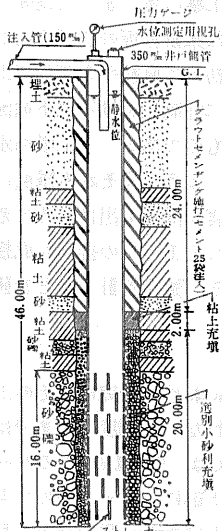
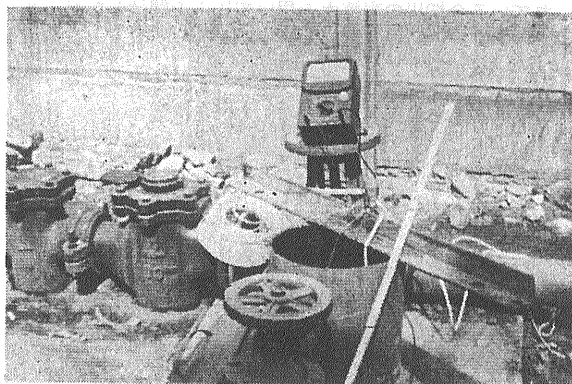


図3 東邦レーヨン(株)構内の圧入井施工図(高橋綱:地質調査所月報 第13巻 第2号)

この試験の結果圧入井と140m はなれた工場2号井のCl含有量が150ppmから40ppmへ減少したという変化が観測された。この年の圧入試験の結果は 圧入井の構造の問題が指摘され また注入水に 今切川の表流水を何ら処理することなしに注入原水として使用していたところに問題があり 注入水中には浮遊物も含まれていたこともみとめられ これが目まりの主要原因ではないかとも考えられ 原水の水質を選ぶ必要が痛感された。

アメリカ合衆国においても かんがい用水などを注入水に使用する場合には 必ずろ過槽を設けて水の処理を行なった後に注入を行なっているようである。注入にあたって その注入水をどの程度までどう処理するかは 人工地下水を行なり場合のコストに直接影響してくるので その許容限度が問題になり 同時にそれに付随しておくる水温とか溶存酸素などの問題をも含めて注入原水の性質というものが 将来とも大きな問題であることが明らかとなった。

昭和36年度には東京都城北区の保土谷化学工業(株) 東京第二製造所構内³に 地下還流井が二井設けられて 同工場の冷却排水を注入水として試験が行なわれた。この付近は近年にわかに工場の数が増加したところで それにつれて地下水の水位は急激に低下してきた地帯で当時すでに静水位は50m以下にまで低下していた。還流



④ 保土谷化学工業(株) 還1号井

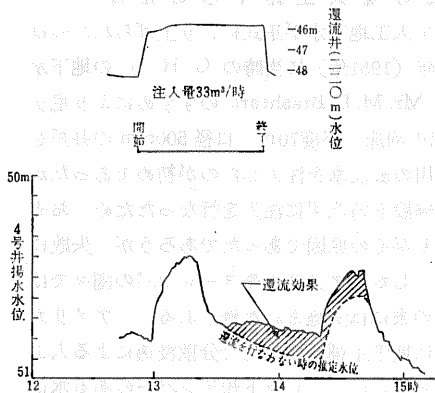


図4 保土谷化学工業 還1号に注入した場合の工場4号井の水位上昇 (岸和男:地質調査所月報 第14巻 第6号)

井は2本設けられ 深度は220m(還1号)および 100m(還2号)で ストレーナの位置はそれぞれ140~220m および60~80mの帯水層にのみ設けられた。注入水は工場の冷却排水を用いることとしたので 水質的には揚水した地下水とほとんど変わらないが 水温は22~36℃あり この地下水の平均水温16.5℃に比べるとやや高く また水中の溶存酸素が多くなっている。注入は37年3月に開始され 同年8月までに総量約 60,000m³を注入したが しだいに目づまり現象をおこし 同年8月下旬には 400l/分の注入によって水位は井戸管頭に達するようになった。還流井に注水した場合の工場内の井戸における水位上昇による還流効果として 還1号井とこれから約85mはなれた工場4号井における水位上昇は図4である。この注入試験において提起された問題は やはり目づまりであった。その原因と考えられるものはいくつかあげられる。

まず注入水の水温である。この地下水の水温は16.5℃であるが 注入水として揚水した地下水を使った冷却排水を使用したので その操業状態により22~36℃に変化し一定していない。次に冷却装置を通る間にごく少量の固形物が混入してくることもさげられない。また注入水における溶存酸素の問題であるが この試験においては 注入井に水を落下させて注水したので溶存酸素量は表1のように相当多量の増加をみせており これが還元状態にある地下水に反応して鉄の沈殿などができて目づまりの一つの原因になるのではないかと考えられる。このことは アメリカにおいても問題となっており 1953年から開始された Arkansas 州の Grand Prairie Region における人工地下水の試験においても指摘されたところである。しかし いっぽう新潟ガス田における帯水層への水圧入実験を行なった石和田・牧野²によれば 溶存酸素はこの実験期間中にたいした障害にはならなかったと報告されており 今後の課題となる事

表1 注入水の溶存酸素測定結果(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 ーガルポンプ) 後の 直水	注入井に著 した直後の 水
23.0~24.0	6.77	7.28	8.03	9.11

岸和男：地質調査所月報 第14巻 第6号

項の一つである。

この圧入実験は 新潟ガス田における地盤沈下がその主たる原因が 水溶性ガス採取に伴う地下水の急激な大量揚水によるものであるとの報告を背景に 昭和35年度から37年度まで新潟県内野において行なわれたもので 帯水層の水圧の低下を防止し さらに 低下した水位を回復させるための水圧入技術の確立を目的とした帯水層への水圧入実験を行なった。 この実験は帝国石油㈱との共同研究で 圧入井総数25 累計圧入水量44,650,510 kL 平均圧入日量43,977kL という大規模なものであった。 注入原水は信濃川支流の水を取水し 硫酸アルミニウムおよび炭酸ナトリウム溶液を加えて後急速ろ過を行ない また生物の繁殖防止のための塩素添加を季節によって行なっている。 問題点としてあげられたもののなかに圧入原水のコストがあり 1kL あたり7円前後となっており 高すぎることがあげられているが 地下水を補給増強する際 その経済効果を測定するにあたって 原水のコストは最も問題になるものの一つであるから 極力これをおさえるようにすることは重要な課題の一つである。 また地盤沈下と地下水圧との関係については 地下水圧の上昇は水の圧入によって可能であろうが 地下水圧と地盤沈下との関係については予測は困難であると述べている。

還流試験は その後昭和37年に北区にある中外製薬㈱構内および新潟県直江津市にある日本ステンレス㈱直江津工場敷地内に還流井が掘られ 直江津においては 含有鉄分の多い水質に対する地下還流の試験研究がいまなお継続実施されている。

人工地下水に関する研究

人工地下水に関する研究は 昭和42年度から工業技術院の特別研究として埼玉県大里郡妻沼町地内において実施されることになった。 この研究は さきに地質調査所において昭和33年度から37年度まで地下還流試験研究として何カ所かにおいて試験を行なった結果 ある程度の成果をえてはいるが その後の地下水事情は前述のように地下水開発利用の第4期に入り 将来はどうしても人工地下水を取り入れざるをえない時期に入ったと判断

され また地下還流は工場敷地内にとどまったこと 工場廃水を注入原水としていたのでは その操業状態に左右されてどうしても思うような実験ができなかったこと またそこで行なった基礎研究の上に立って ほんとうの意味の人工地下水を地下水盆地において実施し 研究しようとの試みに立って行なわれたものである。 そこで研究地の選定についても まず第一に地質調査所の位置からあまり遠くない場所にある地下水盆地 すなわち関東平野一円がその対象候補地にあげられた。 何となれば 遠隔の地ではどうしてもその往復に手間取り したがって物品の輸送 取り付けにもまた観測にも不利であるからで また東京都内は 地下注入に適した帯水層の分布地域は地下水の開発が進んでいて 地下水位が低下しているところが多く そのようなところは工場 上水道水源なども多く さらに注入水および試験地の取得が困難であるので これらのことを勘案した末 一応埼玉県下利根川右岸地区という試験地の見当をつけて予察的検討を行なった結果 その位置は決定された。

人工地下水を実施するにあたって まずはじめに知らなければならぬことは 帯水層を含めた地質である。 さきに述べたように この付近の地質の概略についてはその周辺からおして推定されるものの 計画当時は妻沼町には深さ120mをこえる井戸は1本もなく それ以深については地質も帯水層も水質もまったくわかっていなかった。 帯水層に直接水を注入する場合 その地質構造を把握することはまず第一に行なわなければならないことで 地下水盆地全体の構造 地層および帯水層の連続 不連続およびその性質は 地下注水における微妙な作用に関係するところが多く 地下における浸透流動およびその目づまりの挙動は 水質における変化 反応と相まって 人工地下水の成否の鍵を握るものであるから



④ 妻沼町人工地下水1号井の開坑式

表2 妻沼町における42年度調査・深井戸および浅井戸の水質分析表

	pH	CaCO ₃	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	SiO ₂	CaCO ₃	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	全Fe	Mn ²⁺	Hg ²⁺	有機リン	過マンガン酸カリウム消費量	蒸発残留物
A地区深井戸	7.0	114.0	20.7	0.4	35	96.0	21.6	10.2	2.8	14.2	0	0	0	0.09	0	0	0	12.5	227
妻沼町深井戸	7.3	—	10.3	2.4	50.2	—	23.0	5.4	1.9	13.7	—	—	—	2.81	0.11	—	—	—	—
A地区浅井戸	6.9	148.0	20.3	1.8	45	165	39.2	16.3	3.6	21.8	0.78	tr.	0	3.36	1.20	0	0	10.3	245
B地区浅井戸	6.6	90.0	29.4	7.3	40	194	48.8	17.5	4.2	40.2	0.03	tr.	0	0.66	0.70	0	tr.	6.4	269
C地区浅井戸	6.6	105.0	23.5	10.5	45	154	35.2	16.0	3.7	40.2	tr.	tr.	0.01	0.26	1.20	0	+	8.3	245

(水質分析・豊田水質研究所)

この計画の初年度にあたっては まずこの地の地質および水質についての調査に重点を置くことにした。また注入する水については 地下深部の帯水層と全く関係のない浅層の自由地下水を汲み上げて用いることとしその水量 水質についての調査を行なう方針にした。

調査はA B Cの三地区について行なわれた。A地区においては深度200mの地質調査井および注入水水源用の深さ15mの浅井戸を B地区は利根川が現在の流路とは違ったところをとっていたため その後の河川改修の結果妻沼町の飛地になっている利根川左岸地区に水源用の深さ15mの浅井戸を またC地区にも水源用の深さ15mの浅井戸をそれぞれ掘さくした。それらの位置は写真1に示してある。これらの浅井戸の地層図は図5に 水質は表2に示した。A地区における200m井による地質調査の結果は ほぼ推定に近い地層と地下水の水質を示し とくに水質については ストレーナーの位置は150~164mおよび173~198mに開孔してあるが同じく妻沼町にある井戸でストレーナーを50~90mに切ったものとの水質を比較するため表2にあげた。層序および堆積環境を明らかにするために コア中に含まれ

る化石珪藻類について宇都宮大学阿久津純教授の同定したところによれば 全体としては深度50m以下の地層には珪藻類の含有が少なく 一部には汽水ないし海水域の堆積環境にあると考えられるものもあるが 淡水の堆積環境のものが多く ほとんど陸水域での堆積層と考えられる。コアサンプル採取位置とナンバーを図6に示した。No.1の深度46~48mは珪藻含有率は高く25属63種を含みほとんど 淡水種よりなっており 個体数は少ないが *Cyclotella styrolum*, *Diploneis interrupta*, *Cleva var. clanata* などの汽-海水種を含み 一部海域との連絡が考えられる。

No.2の深度58~63mも珪藻殻片を豊富に含み15属44種にのぼり ほとんど淡水種よりなり 湿地性の酸性水域の堆積環境と考えられる。これら淡水種のうち 全層を通じてとくに多数の個体数を検鏡したものは次のようなものである。

- Amphora ovalis* Kütz.
- Cocconeis Placentula* (Ehr.) var. *euglypta* (Ehr.) Cleve
- Cymbella ventricosa* Kütz.
- Cymbella affinis* Kütz.
- Diploneis ovalis* (Hilse) Cleve
- Eunotia pectinalis* (Kütz.) Rabenhorst var. *minor* (Kütz.) Rabenhorst
- Gomphonema acuminatum* Ehr.var. *coronata* (Ehr.) W. Smith
- Gomphonema angustatum* (Kütz.) Rabh.
- Hantzschia amphioxys* (Ehr.) Grun.
- Navicula dicephala* (Ehr.) W. Smith
- Navicula mutica* Kütz.
- Synedra ulna* (Nitzsch) Ehr.

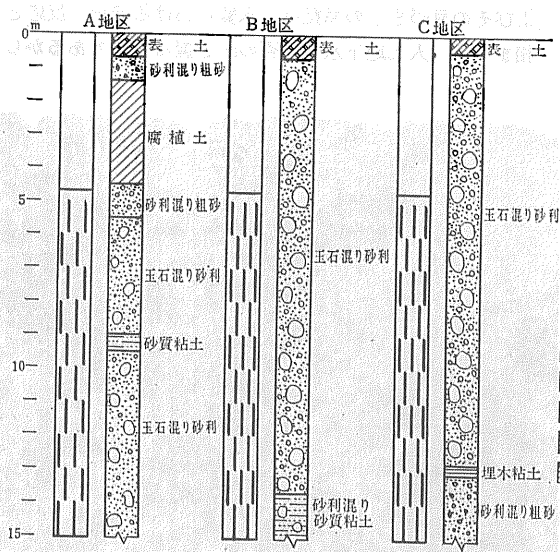


図5 42年度人工地下水・水源井用浅井戸地層図

No.3の深度90~94.5mは珪藻の含有個体数は少なくほとんど淡水種よりなるが汽水種の *Achnanthes brevipes* Ag. var. *intermedia* が1個体検出され 好アルカリ性の流-止水種よりなる環境である。No.4およびNo.5の深度90~104mは珪藻は少なく またほとんど淡水種である。No.6は珪藻を含まず

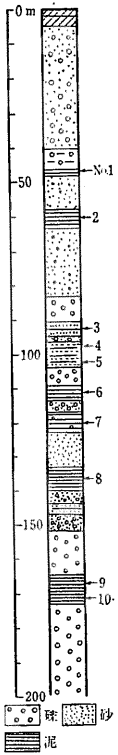


図6 珪藻類のコアサンブル採取位置とナンバー

No. 7 の深度117~123mは個体数は少なくその多くは淡水種であるが海棲種もみとめられた。No. 8 は深度133~139m 個体数は少ないが淡水種とともに海-汽水種の *Nitzschia cocoeiformis*, *N. granulata* を含み海水の一部流入しえたような環境を推定しうる。No. 9 の深度164m以下の地層には珪藻はほとんど検出されず珪藻による堆積環境の推定は不可能である。

このようにして昭和42年度の調査は終ったが43年度に研究を行なう場所としては注入水の水質からすればC地区がよくB地区がそれに次ぎA地区の鉄イオン含有量は3.36ppmにも達して水質に問題があったのであるが用地および排水等の都合上試験地をA地区と定めて43年度の研究にあたることになった。

人工地下水にはいろいろの解決しなければならない当面の問題点が多いが研究の対象として考えられるものには次のような事項があげられる。

- 1 水の注入と地質との関係 とくにその地質的微構造と注入水との関連
- 2 地下水の揚水能力と水注入能力との関係
- 3 水注入による帯水層の変化とその受け入れ特性

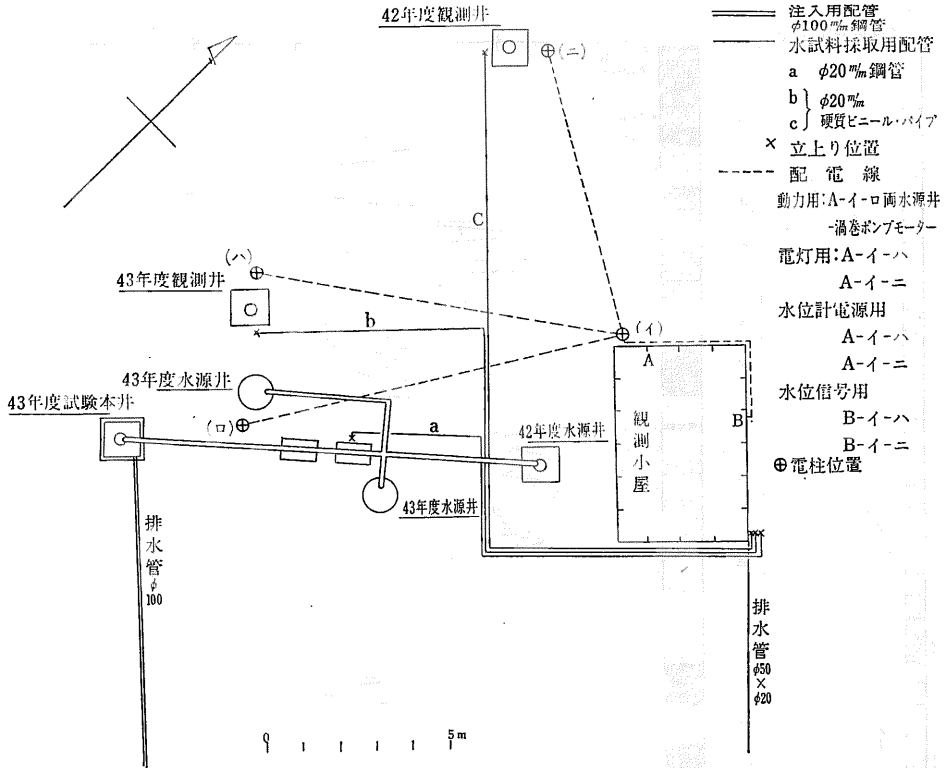
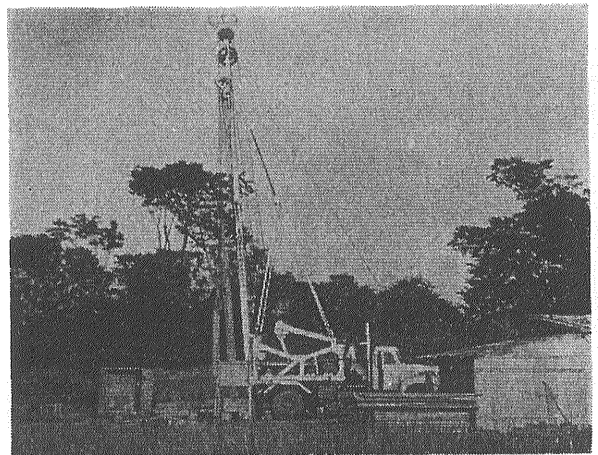


図7 43年度人工地下水さく井 観測小屋および配管等配置図

- 4 水注入による地下水圧の変化および地下水におよぼす影響
- 5 水注入による地下水の水質の変化
- 6 水注入によりおこる地下の拒絶反応のあらわれ方とその除去法
- 7 水注入に関する技術 とくに連続時間およびその回復法
- 8 注入井の構造に関する技術的検討
- 9 注入水の処理に関する技術的検討
- 10 注入コストに関する技術的検討



⑤ 42年度妻沼1号井の搭載機による掘さく

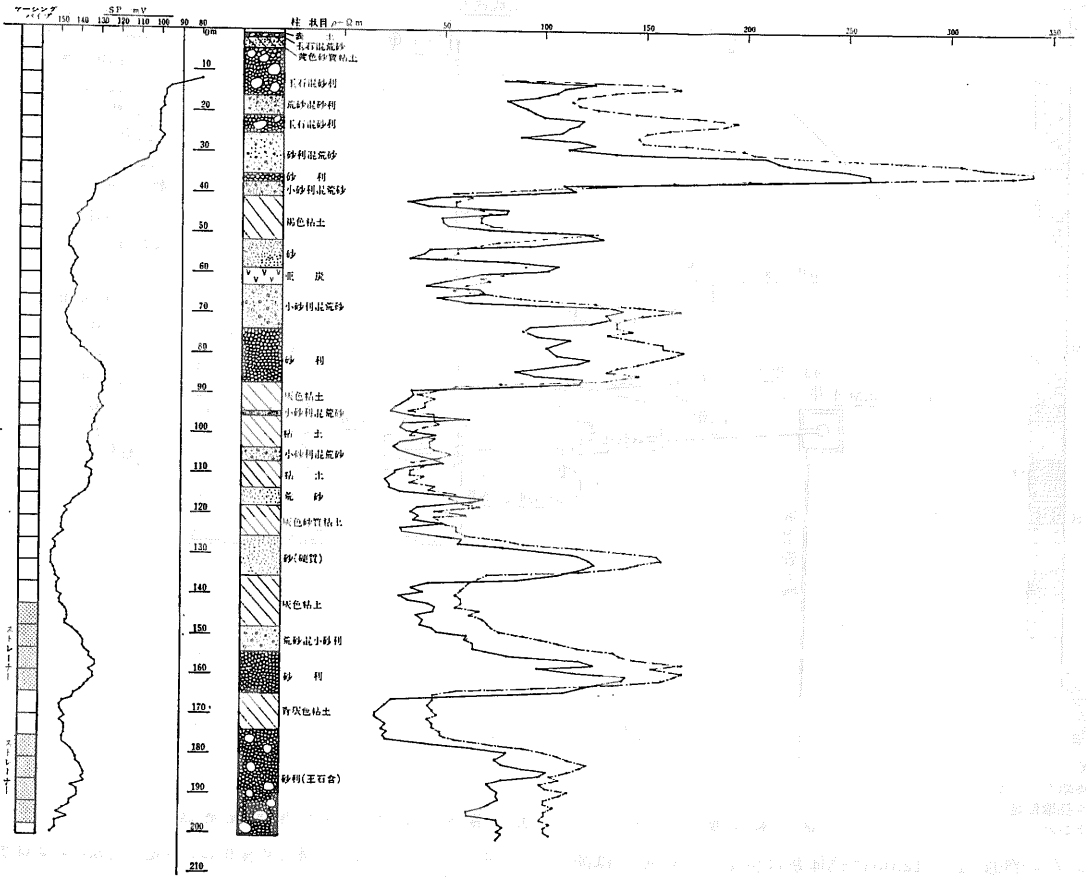


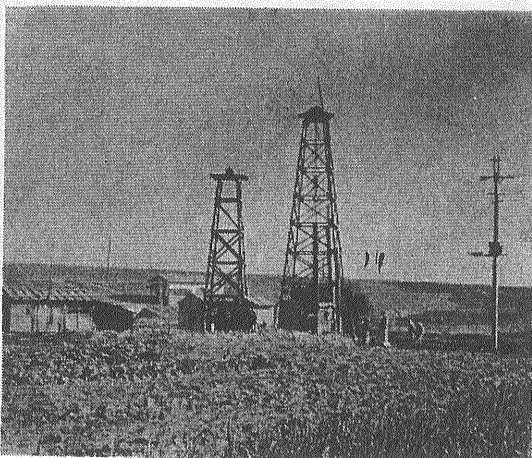
図8 43年度人工地下水試験本井の地質柱状・電気検層・自然電位検層図

これらの研究事項をもって 昭和43年度から本格的に水注入を行ない調査研究を行なうべく 試験地に試験本井 観測井 水源井およびそれに付属した観測小屋などの諸設備を行なった。

試験本井として深度200m ケーシング口径 300mm

ストレーナの位置は148.5~165mおよび176.0~198mとし、また本井から5mはなして、深度およびストレーナの位置は本井と同じでケーシング口径が上部30mを200mm 以下を100mmの観測井をしあげた。ストレーナの上にはセメントミルクを注入し 側噴きしない構造とした。試験本井 観測井等の配置図は図7 試験本井のさく井地質柱状図 電気検層および自然電位検層図は図8で 井戸構造図は図9 ストレーナ加工図は図10である。本井と観測井との間隔は5m また本井と42年度に掘さくした井戸は観測井として用いるように本井から15mの距離にとり これらを一直線上に配列した。

注入水の水源井は 深さ15m井の水質が悪いため 深さ6mの浅井戸を掘ったが水質はさらに悪く 溶存成分は塩素24.11mg/l 総硬度178.0mg/l 鉄4.90mg/lあり また揚水可能量も少なく、水源井として適当でないことが明らかになった。そこで水源井としては 42年度の深さ15m井を用いることとした。このように水源井の水質は鉄を多く含んでいるので今回の調査においては



⑨ 43年度人工地下水試験本井および観測井の掘さく

浅井戸の水をできるかぎり空気にふれさせないようにすなわち鉄の酸化によって沈澱物を生成せしめないようにとの配慮から 揚水および注水用のパイプを静水位以下3mまでそう入して直送して 浅井戸の水を深井戸に送りこむという方式をとり 溶存酸素および鉄の酸化の問題に対処した。

また 観測の記録は極力自記記録計を用いて自記観測

を行なう方針とし 観測小屋を配し その中に記録計を集中し 同時に水質分析用の水も直接小屋内の分析所に送水する方式をとり 長期観測にそなえた。なお43年度の研究については 現地において調査研究が進められているので 工事の概略を記するに止め 注入の成果については後日報告するつもりである。

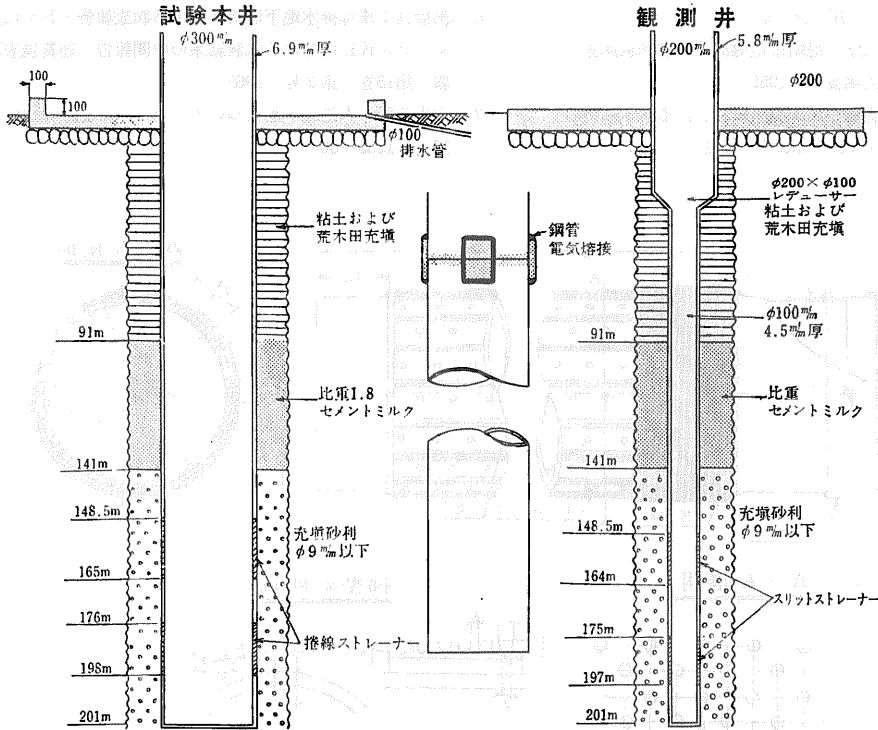
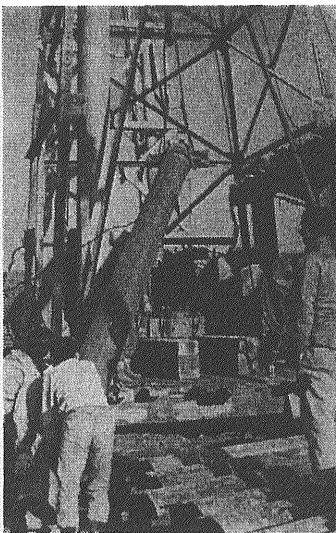
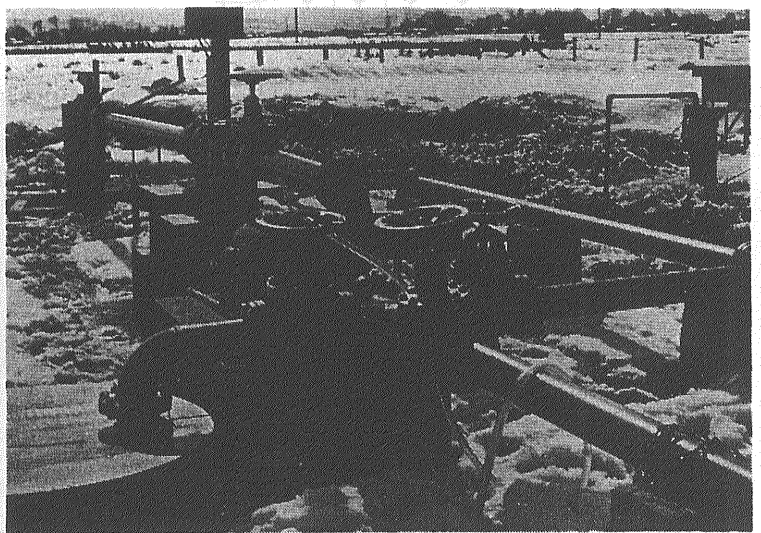


図9 井戸構造図



① ケーシングパイプの装着



② 観測井の配管

3月の初め 関東地方は大雪にみまわれた。妻沼の試験地も赤城おろしが吹いて白一色にぬりこめられたが注入試験は雪の中でも継続された。ポンプも異常なく注水を続け水位は少しずつ上っているようである。観測小屋の中での作業も順調に進行している。人工地下水の問題点の解明と取り組みながら。

(筆者は 応用地質部水資源課長)

引用文献

- 1 尼崎市河港課・京都大学：尼崎市地盤沈下抑制試験調査について 大阪港湾技術調査会 1955
- 2 石和田靖章・牧野登喜男：新潟ガス田における帯水層への水圧入実験 天然ガス vol.6 no.7 1963
- 3 岸和男：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KKにおける試験報告—地質調査所月報 第14巻 第6号 1963
- 4 小西泰次郎：人工による地下水の補給 水利科学 no. 57 1967
- 5 蔵田延男・岸和男・小林竹雄：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KKにおける予備試験の結果について 地質調査所月報 第11巻 第7号 1960
- 6 高橋綱：冷却排水地下還流に関する調査報告—おもに東邦レーヨンKKにおける試験結果の中間報告 地質調査所月報 第13巻 第2号 1962
- 7 山本荘毅：人工地下水について 水 no.14. no.15. no. 16. 1959~60

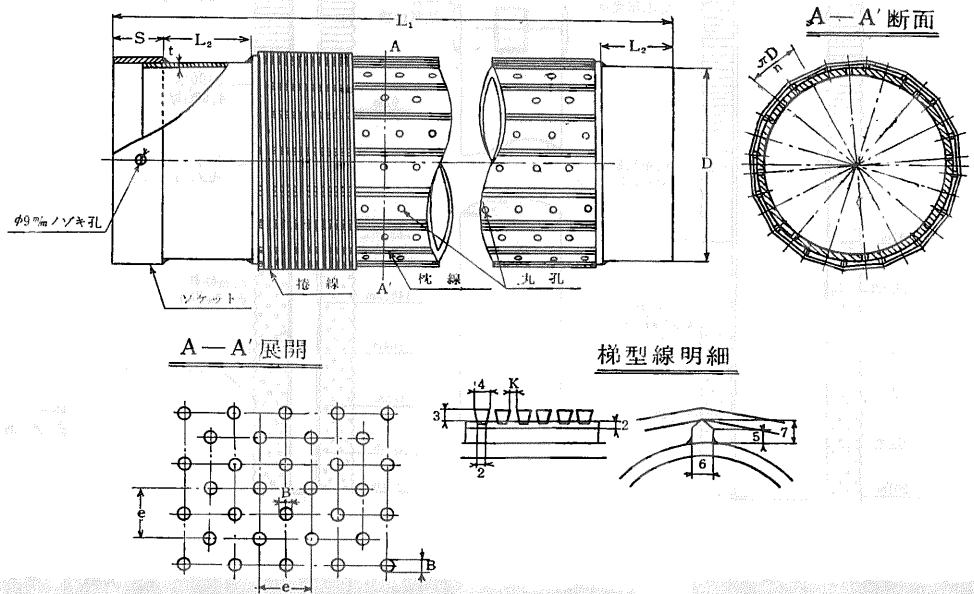
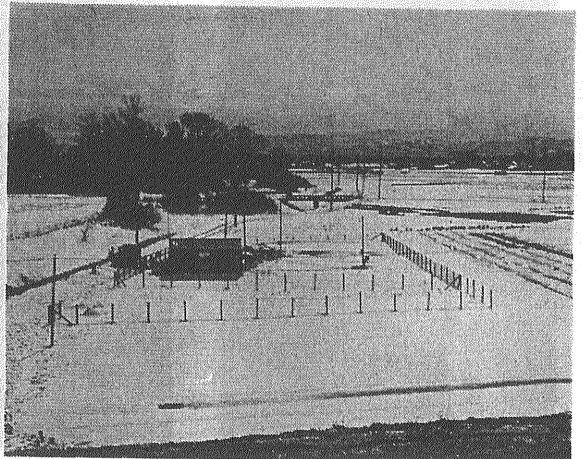


図 10 43年度人工地下水試験本井スクリーン加工図



㊤ 試験本井の水位測定と観測小屋



㊦ 雪の日の研究地