

# 井戸法による長期地下水人工涵養例

馬場千児・沢田好幸

## USE OF THE WELL METHOD FOR LONG TERM RECHARGING OF GROUND WATER

Kanji BABA and Yoshiyuki SAWADA

### Abstract

Although research on practical methods of artificially recharging ground water from wells is making progress in Japan and elsewhere, there are still many cases where lack of a means for prevention of clogging of the well has resulted in an inability to obtain long continuing inflow of water.

This paper presents a report on an experiment in which the well method was used to recharge a Pleistocene sand layer with a low permeability value. In this experiment, adequate measures to prevent clogging of the well from floating material made it possible to effect an inflow of approximately 150,000m<sup>3</sup> of water over a 9 month period. The essential elements of the method that was used to prevent clogging in this experiment are as follows:

- \* Excavation of the well was carried out by percussion boring. Instead of Bentonite, Restor (complex polysaccharid + textile) was used for mud water to prevent clogging.
- \* A high well effect screen was used. In order to increase washing effect of the screen by pumping filling thickness of filter gravel was made 10cm, thicker than is usual in wells.
- \* There were replaceable filter devices on ground level as well as within the injection pipe.
- \* Recharging water was supplied from the drainage from an excavation site. This water came from the aquifer to be recharged.
- \* The water pumped in was not pressurized. Rather, static pressure at a fixed water head was used. During the period when water was being pumped into the aquifer, washing of the well by pumping was carried out for 1 day every 10 days, and the filtering systems were changed every month.

This experiment shows that by using an effective method of preventing clogging by suspended material, it is possible to effect long term groundwater recharging not only in aquifers with good permeability such as gravel, but in such aquifers as sand layers, with permeability coefficients of around  $5 \times 10^{-3}$ cm/sec.

### 1 まえがき

地下水の人工涵養は、地下水貯留量の増大、利水のための水質の改良、海水浸入の防止等を目的とし、諸外国で実施されている。

特にアメリカ、北ヨーロッパおよびイスラエルでは、大規模でシステム化された地下水人工涵養が実用化されている。

地下水涵養の方法は、溜池や水路を利用した拡水浸透法と、注入井を用いた井戸法があり、我国や諸外国の例

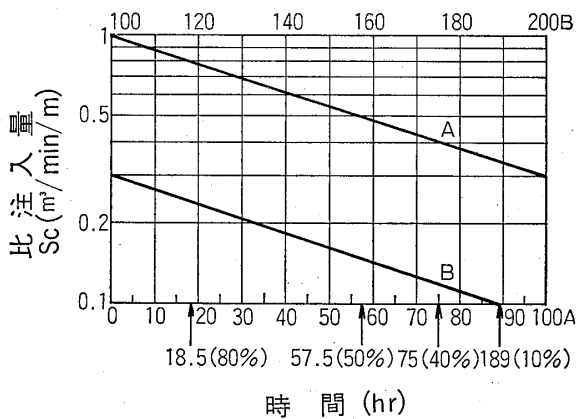
をみると、現状では井戸法が一番多い。

我国で井戸法が採用されている理由としては、一度汲上げた水を再度地中に注入する還流方法がとられていることと、地面に水をはって浸透させる拡水法を行うほどの土地の余裕がないことによる。但し、我国の地下水涵養には、水田が拡水法としての役割を果しており、その涵養量は非常に大きいものと推定される。

井戸法による地下水涵養は、我国でも実験段階を含めかなりの実施例があるが、地下水涵養の最大の問題であ

る目づまり防止に対する解決がむずかしいこともあって、長期間の連続注入を行ったという事例は少ない。

本稿は、市街地の地下掘削に伴う周辺地下水の水位低下の防止対策として、井戸法による地下水人工涵養を実施した例を報告したものであるが、特に、懸濁物の前処理を主体とした目づまり防止対策を十分に行うことにより、長期間にわたる涵養が可能となったことについて述べたものである。



図一 1 注入継続時間と比注入量 Sc との関係  
図は、注入時間が長くなるに従って注入量が低下する状態を示したものである。図中の比注入量とは、井戸水位を1m上昇させた時の注入量である。

## 2 井戸法による地下水人工涵養の問題点

井戸法による地下水涵養の最大の問題点は、注入の長期間の継続に伴って発生する井壁の目づまりを防止して、初期の注入効率をいかに長時間継続させるかである。

一般に井戸法による注入は、時間の経過とともに注入効果が低下することが避けられない。例として、図一1に神奈川県平塚市の実験成果を示した。この実験は、口径φ300mm、深度80mの井戸で砂礫層を対象として実施したものである。使用したスクリーナーは、NSTスクリーンである。

図一1は、連続注入試験結果の比注入量の時間的変化を示したものである。いま、初期の比注入量を1とすると、その値が0.5になる時間は57.5時間、さらに、0.1に

表一 1 涵養効率を高めるための方法

項 目	涵養効率を高める方法
場 所 及 び 対 象 層	① 注入箇所は一般に揚水地域からあまり遠くなく、地下水面及び地下水圧が低下している箇所 ② 注入対象層は、水の貯留に耐えられる良好な帯水層が存在し、透水層の層厚が厚く連続性を有すること
注 入 水 源	① 注入対象層の地下水と類似した水質が望ましく、鉄、マンガンを沈澱し易い物質を多量に含まない ② 注入水温が対象層の地下水温と大差がない ③ 地下水を汚染するような有害物質を含まない
井 戸 の 掘 進 方 法	① 井戸の掘進は仕上り状態の良いパーカッションボーリングとし、掘削後泥壁の処理を十分に行う ② 充填砂利幅（フィルターゾーン）は75mm～100mmが妥当である
注 入 施 設	① スクリーンは開口率の高いもので、巻線スクリーン、水平連続Vスロット等を使用 ② 目づまりが生じた際の逆洗浄用の揚水装置が必要 ③ 静水圧注入では専用の注水管が必要
注 入 方 法	① 圧力を加えない静水圧注入法は、透水性があまり高くない帯水層に適し、加圧注水法は割目が多く透水性の高い帯水層に適する ② 一連の注入と揚水洗浄のサイクルで涵養する

まで減少する時間は189時間となっており、注入後200時間以内で注入効果は10%以下に低下している。

このような注入時間の経過に伴う比注入量の低下は、井戸法による注入の一般的な現象であり、この比注入量の低下速度は、井壁や帯水層の目づまりの状態、帯水層の水力常数、井戸の注入性能に支配される。井戸法による地下水人工涵養については、比注入量の低下速度をいかに遅らせるかが注入技術の最大の問題点といえる。

目づまりの原因としては、注入水中の微粒子（コロイド分）、溶存ガスによる気泡の発生、帯水層内での涵養水と地下水の化学反応、井戸または帯水層での微生物（特に鉄バクテリア）の増加、帯水層に水が流入するときにおこる土粒子配列の変化が考えられている。このような注入井の目づまりを防止し、注入効率を高める方法

としては、一般に表-1のような対応策が考えられている。しかしながら、現在までの施工事例では、注入井は通常の揚水井と同じ構造の井戸に注入装置と逆洗浄用の

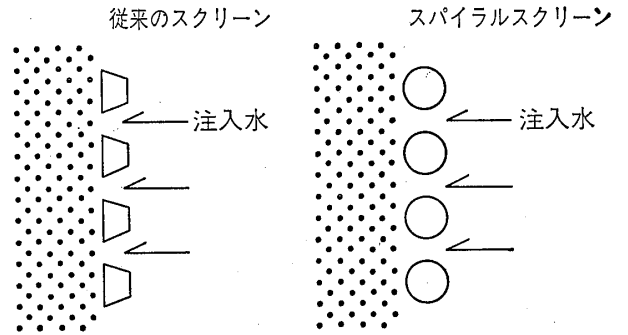


図-2 ストレーナー管断面図

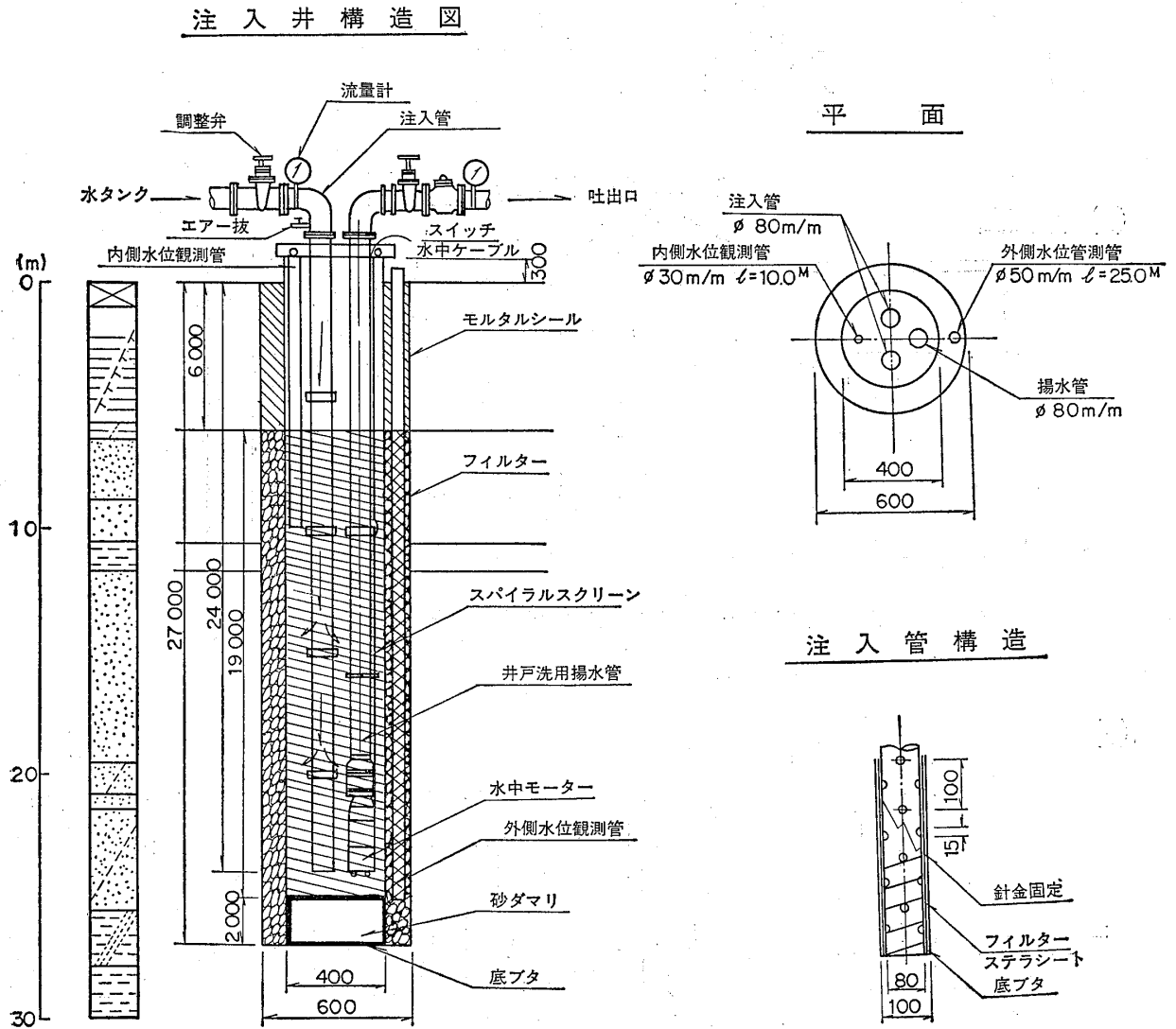
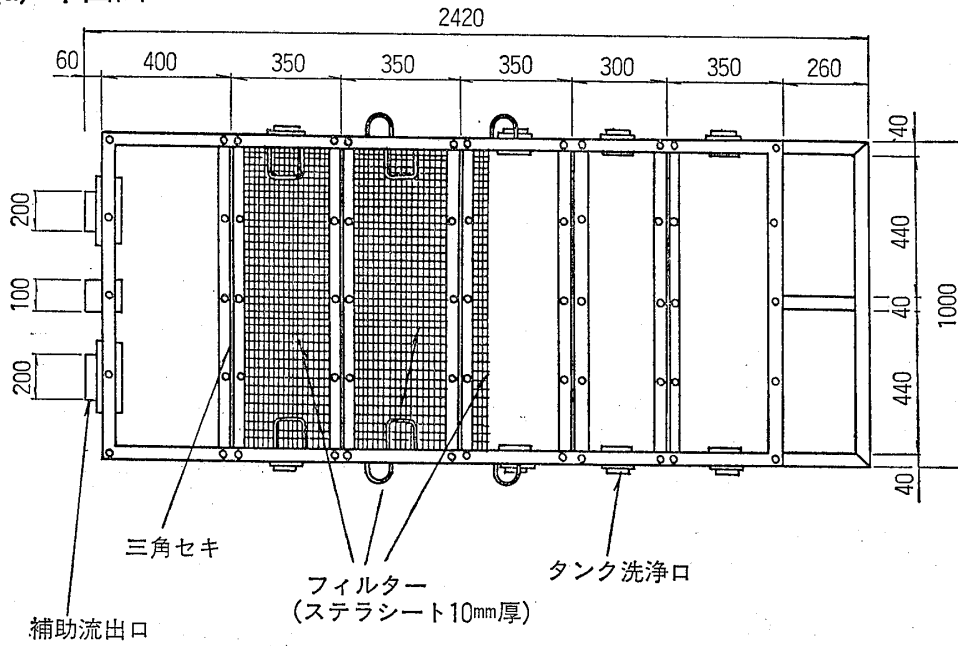
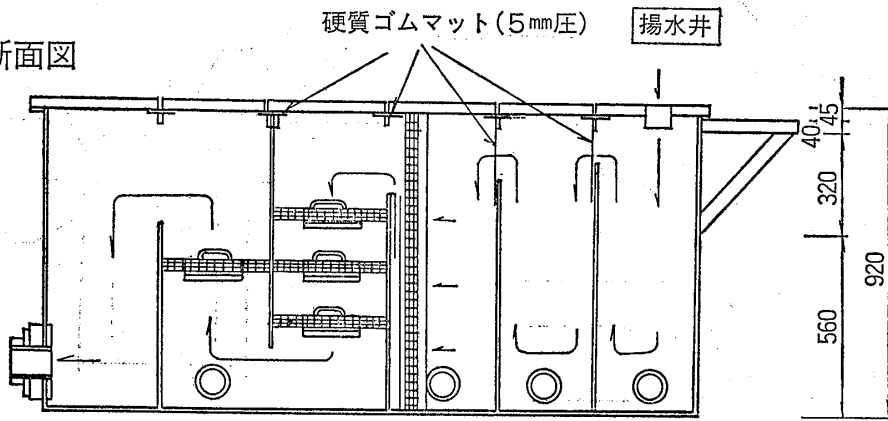


図-3 注入井の構造と注入管

(a) 平面図



(b) 断面図



(本タンクは上記構造のものを下図のように直列に2台配置する)

(c)

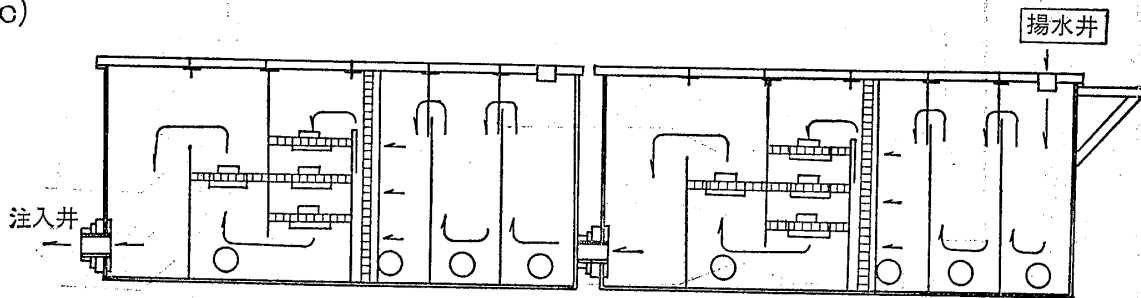


図-4 注水用タンク構造図

揚水装置を施工した比較的簡易な構造の井戸が多く、目づまり防止対策を十分に考慮した例は、あまり見当たらない。

### 3 目づまり防止対策と実用化までの予備調査

今回の地下水注入は、浅層帯水層を対象とし、溶存物質として鉄分の非常に多い地下水が注入水源である。さらに一年間の長期にわたって人工涵養が必要となるといった、必ずしも注入にとって有利とは言えない条件のもとで、極力目づまりの進行速度を鈍化させ、初期注入効果を長時間持続させるための対策が必要であった。このため、従来の研究成果を踏まえて、基本条件として、目づまりのしない井戸を作成することが、最も重要であり、この点に重点をおいて注入設備を制作した。

#### 1) 目づまり防止対策

① 注入井の掘削は、口径  $\phi 600\text{mm}$  のパーカッションボーリングで行い、ストレーナー管径は、直径  $\phi 400\text{mm}$

とした。この結果10cm幅のフィルターゾーンを設けることにより、帯水層自体の目づまりを防止した。また、フィルター設置直後の井戸の洗浄を十分に行った。

② ストレーナー管は、井戸効率の良い捲線型のスパイラルスクリーンを使用した。図-2で示すように、注入水の流出に対し目づまりし難い構造となっているのが、選定の理由である。

③ 注入管は、注入水が乱流状態となるのを防ぐため管底を閉塞し、注入管全長にわたってストレーナーを加工した。また、懸濁物の除去のため、化学繊維のフィルター材(1cm厚)を注入管の外周に巻き付けた。

④ 注入管は2本1組とし、化学繊維フィルターへの懸濁物の付着が著しくなった段階で、後述するような他の注入管に取換えが可能な構造とし、注入を続行しながら汚れた注入管を引抜き、フィルター材の交換が出来るようにした。また、注入井中には、逆洗浄用の揚水設備を設置し、定期的な井戸の揚水洗浄ができる設備とした。これらの装置の構造を図-3に示した。

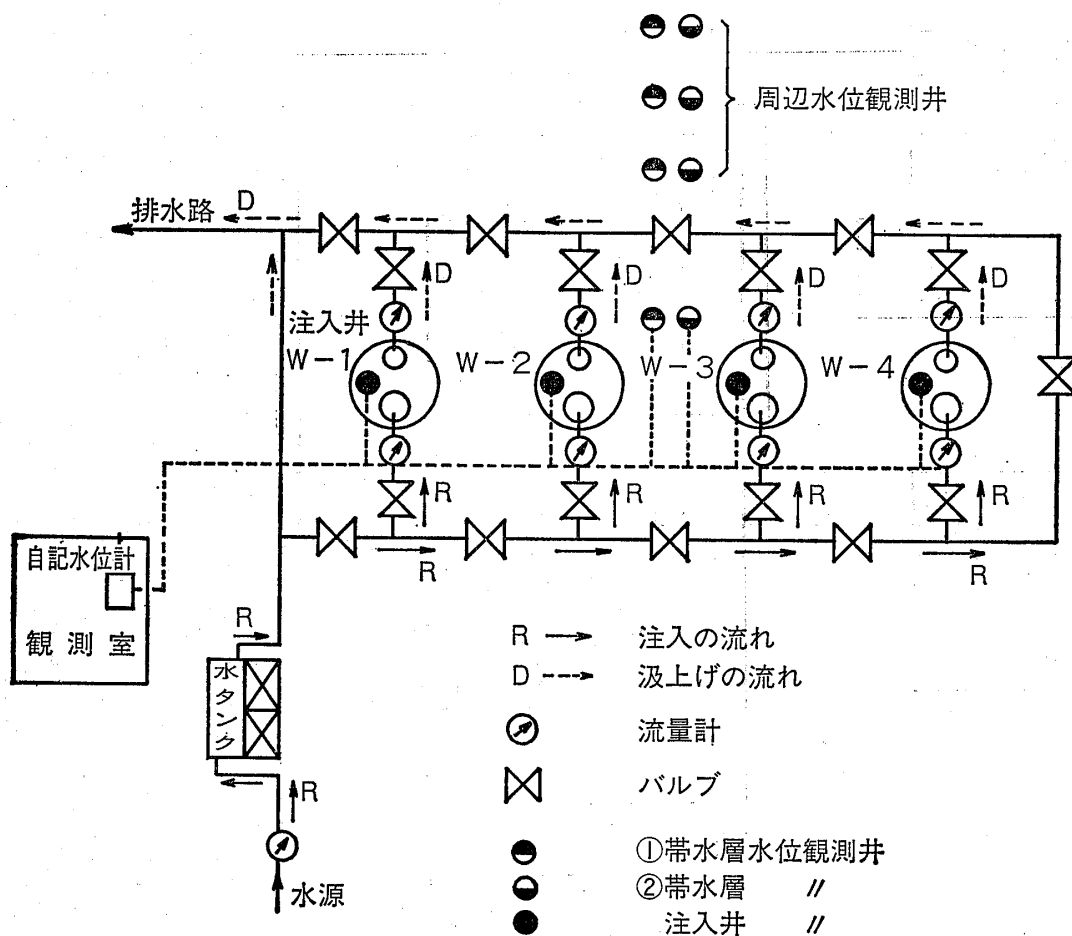


図-5 地下水人工涵養設備の全体系

⑤ 水タンクは、懸濁物の沈殿促進をはかるため、仕切板により流路長を長くとり、水タンク内には、多段式の化学繊維フィルター（1cm厚）のろ過装置を取付け、可能な限り懸濁物の少ない注入水の確保につとめた。化学繊維フィルターは、汚れた段階で取換えが可能な構造とした。この注入タンクの構造は図-4に示した。注入実施にあたっては、図のタンクを図-4Cのように直列に2台配置して懸濁物のろ過を行った。

⑥ 注入方法は、対象層が砂層であることを考慮して、粒子の移動が生じないように層流状態で対象層に浸透させるために、圧力をかけずに静水圧注入を行った。また、連続注入時に、注入井内の水位が著しく上昇して孔口からオーバーフローすることを防止するため、各井には、注入自動停止装置を設置した。

注入管は2本1組とし、注入を続行しながら懸濁物の付着した段階で取換え可能な構造とした。この注入システムの全体系を図-5に示した。

2) 長期注入実施のための予備調査

本格的な長期注入工事に先だって予備試験を行い、実用上の問題点と改良の工法、注入効率等について検討した。実用化にいたるまでの経過は、図-6の流れ図に示したが、予備調査の段階では、注入対象層の水理常数を揚水試験によって把握することを主目的とした。試験注入工事では、適正注入量や連続注入時間、井戸洗い頻度等の作業サイクルを検討するとともに、注入水の各帯水層に与える影響や、地下掘削工事現場から揚水された注入水の原料である地下水の揚水後の水質変化の状況を把握した。また、ろ過装置の効果や問題点の検討も実施した。予備調査開始より実用化工事にいたるまでの検討期間は、約3ヵ年である。

4 地下水人工涵養の結果

予備調査の結果に基づいて、実施箇所の地質や地下水の条件に合うように注入井の改良や注入方法の検討を行

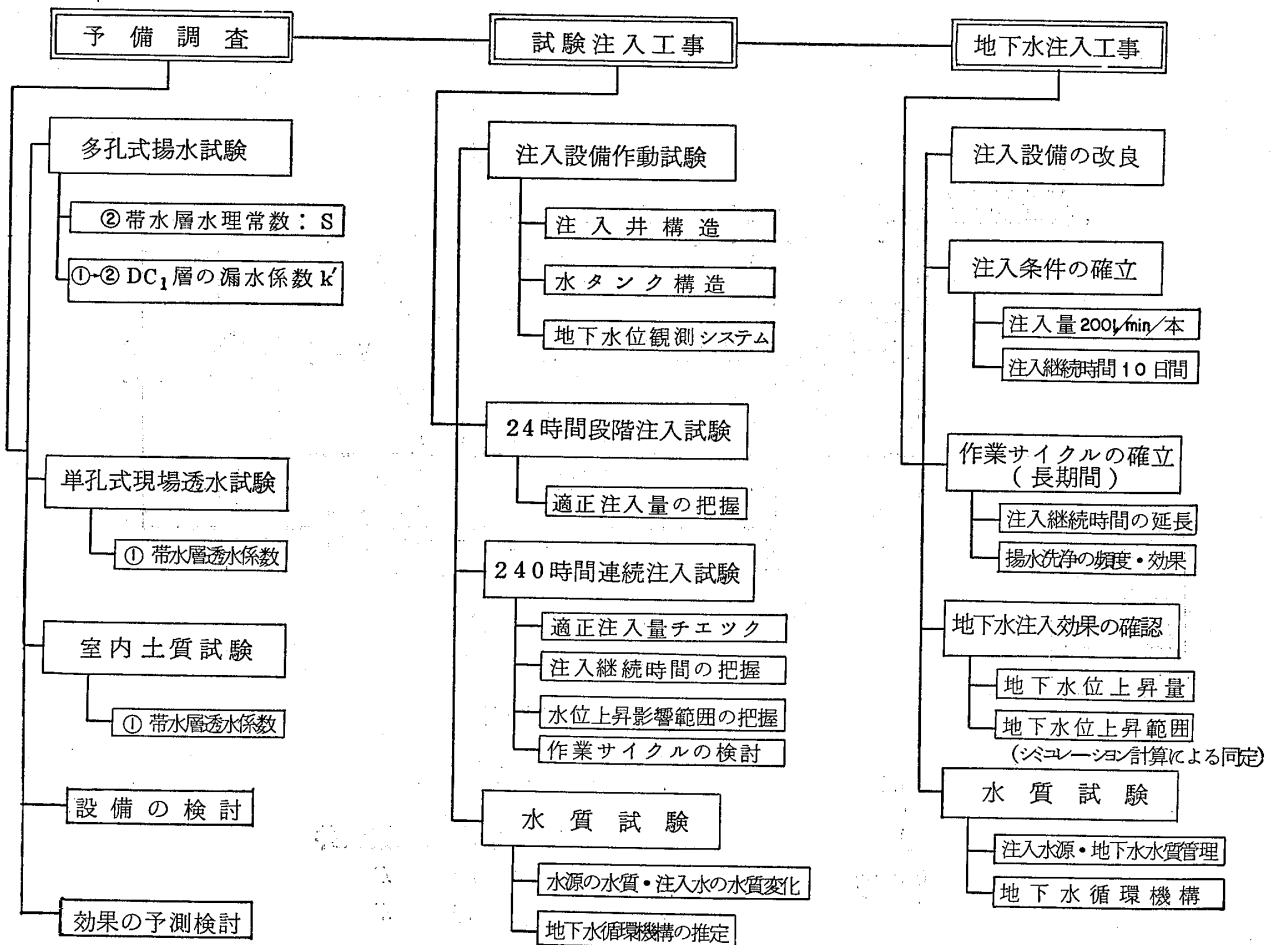
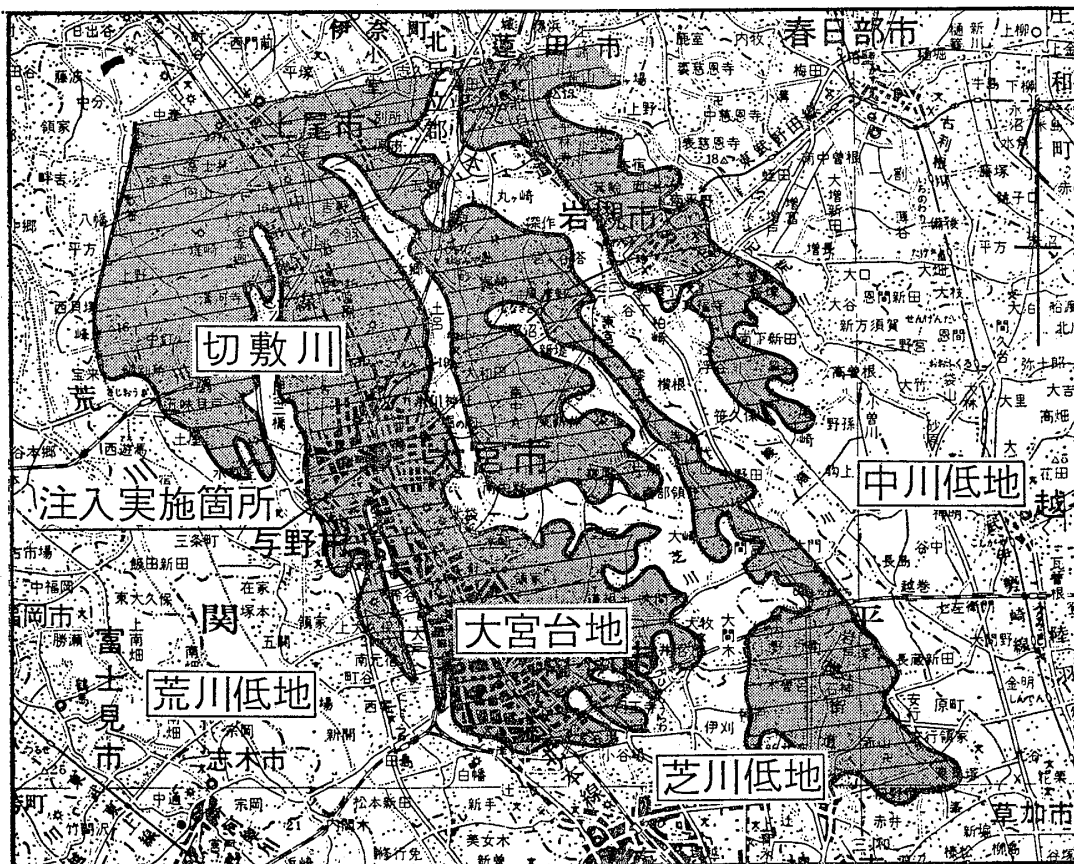


図-6 地下水注入工事の全体の流れ図



図一七 地下水人工涵養実施箇所周辺の地形区分図

い、その結果をもとに、実際の地下掘削工事現場において、周辺地下水位低下防止のための、注入井による地下水人工涵養を行った。

注入は、改良した注入井による試験注入工事と、その結果をもとに本格的な地下水位低下防止工事として実施した地下水注入工事の2段階にわけられる。

1) 注入場所の水利条件

注入実施箇所は、図一七に示すように埼玉県中央部に位置する大宮台地のほぼ中央部に当る。地質は、図一八の地質断面図に示したように地表部に関東ローム層が層厚5mで分布し、その下には、洪積世の厚さ5m~15mの砂層と粘土層が互層状に分布している。

注入対象層は、図一九で示したようにDS<sub>1</sub>砂層(第1帯水層)およびDS<sub>2</sub>砂層(第2帯水層)であり、両帯水層は、標高3m付近に存在する層厚1m~2mの粘性土層によって区分されている。第1帯水層と第2帯水層の粒度分布曲線を図一十に示したが、第1帯水層に比較して第2帯水層の方が粒径が均等であり、粘土含有量も少ない。透水性と関係が大きいといわれる20%粒径の平均

値は、第1、第2帯水層とも等しく、第1帯水層の方が試料による粒径の分布の幅が広い。これらの点を考えると、第1、第2帯水層とも、透水係数にはあまり大きな違いがないといえる。

第1帯水層の地下水は不圧地下水であり、第2帯水層の地下水は被圧地下水である。揚水試験結果から得られた両帯水層の水利常数は、次の通りである。なお、下記の透水係数は Theiss と Hantush の式によって求めたものである。

第1帯水層	透水係数	$k = 7 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$
第2帯水層	透水係数	$k = 9 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$
	貯留係数	$S = 4 \times 10^{-4}$
DC <sub>1</sub> 粘性土	漏水係数*	$k' = 1 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$

2) 地下水注入井の配置

本試験地における地下水注入用の水は、周辺で行われ

\* 半透水性地層に関する鉛直方向の漏水能力の尺度で、その半透水性地層の上・下面に加わる単位の水頭差によって、単位面積当りを水が通過する割合と定義される。

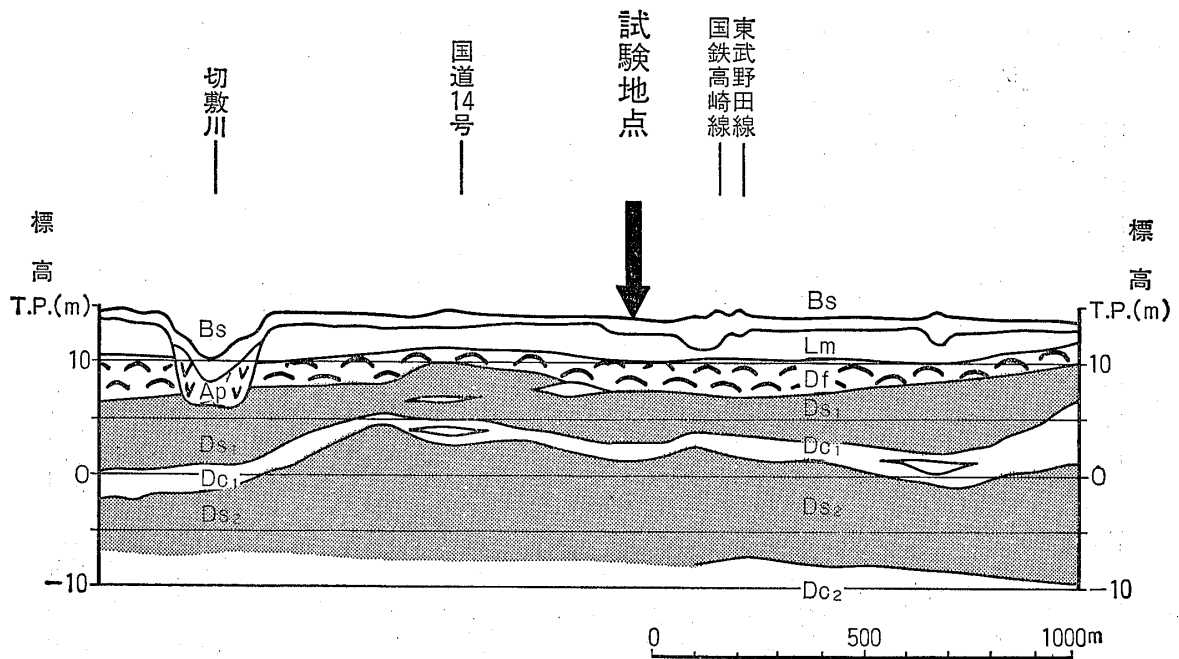


図-8 試験地の地質断面図

Bs: 表土・盛土, Ap: 腐食土, Lm: ローム, Df: 凝灰質粘土, Ds<sub>1</sub>: 砂質土 (第1帯水層), Dc<sub>1</sub>: 粘性土, Ds<sub>2</sub>: 砂質土 (第2帯水層), Dc<sub>2</sub>: 粘性土

深度 (m)	柱状	地質名	水理常数	粒度組成 (%)				注入区間
				20	40	60	80	
0		ローム						
		凝灰質粘土						
10		中粒砂 (第1帯水層)	$k = 7 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$					注入区間 $h = 20 \text{m}$
		粘土	$k' = 1 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$					
20		中粒砂 (第2帯水層)	$k = 9 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ $s = 4 \times 10^{-4}$					
		粘土	( $k$ : 透水係数) ( $k'$ : 漏水係数) ( $s$ : 貯留係数)					
30								

図-9 試験地の水理地質条件

た掘削工事の排水を利用したものである。この掘削工事の規模は、深さ13m、幅約30mで延長500mにも及ぶ大規模なものである。掘削部は連続壁あるいは矢板によっ

て第1帯水層を遮断し、第2帯水層上面までの掘削が行われている。このため図-11(a)で示すように、掘削部ではディープウェルによる第2帯水層の揚水が行われてい



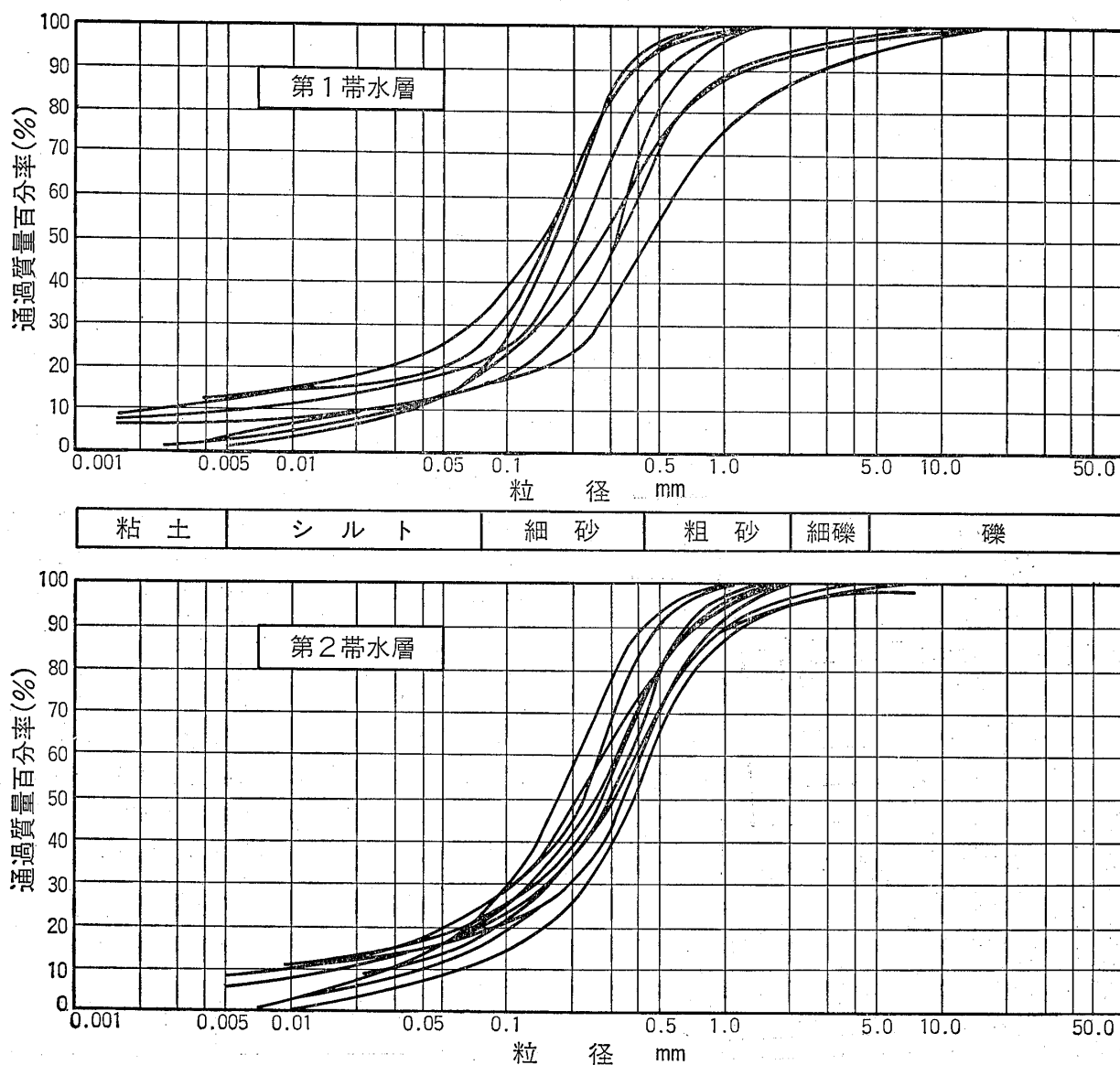


図-10 帯水層の粒径分布曲線 (粒径加積曲線)

る。地上水注入井は、図-11(b)に示すように掘削部から約60~80m離れた位置に4ヶ所(W-1~W-4)設置した。掘削部と注入場所の関係を模式的に示すと図-11(a)の通りである。

### 3) 注入工事の結果

#### イ) 試験注入工事

試験注入工事は、適正な注入量の決定、連続注入時間及び逆洗浄揚水頻度の検討を目的として行った。

まず、1段階の注入時間を4時間とした短時間の段階注入試験と、1段階を24時間とした段階注入試験を行い、その結果から適正注入量を決定した。さらに、適正注入量による10日間ずつ2サイクルの連続注入試験を行

って、適正な連続注入時間および逆洗浄揚水の頻度を決定した。

1段階4時間の段階注入試験は、最初に100ℓ/minの注入から始め、4時間経過後に孔内水位がほぼ一定となった段階で次の注入を行う段階注入法とした。その孔内水位上昇量と注入量の関係を図-12に示した。

1段階24時間の段階注入試験は、注入量150ℓ/minの試験を最初に行い、その後注入量を200ℓ/min、250ℓ/min、300ℓ/minと変えて4段階の注入を行った。この段階試験では24時間の注入を行った後に、逆洗浄揚水を行った。試験の結果、比注入量と注入経過時間の関係を図-13に示した。これらの試験の結果から次のことがい

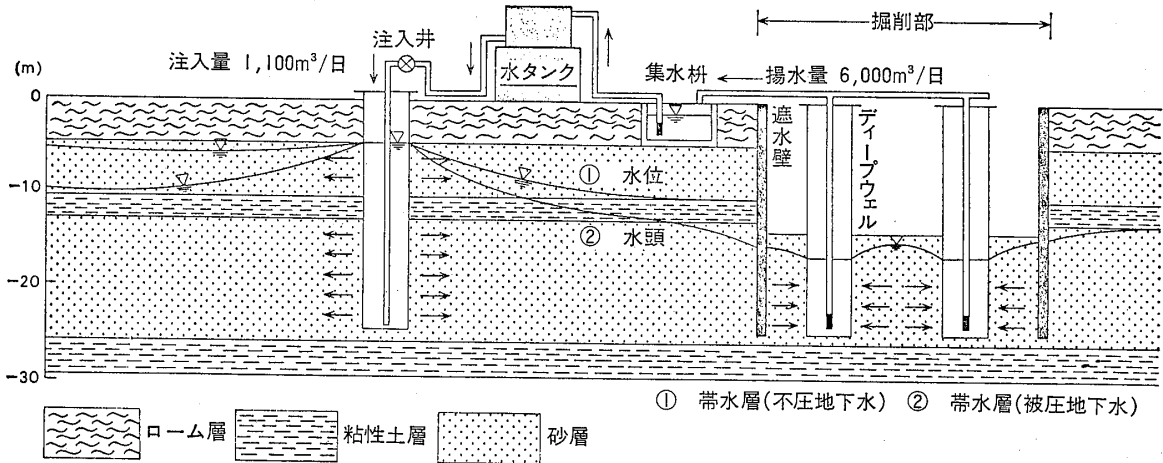


図-11(a) 注入状況

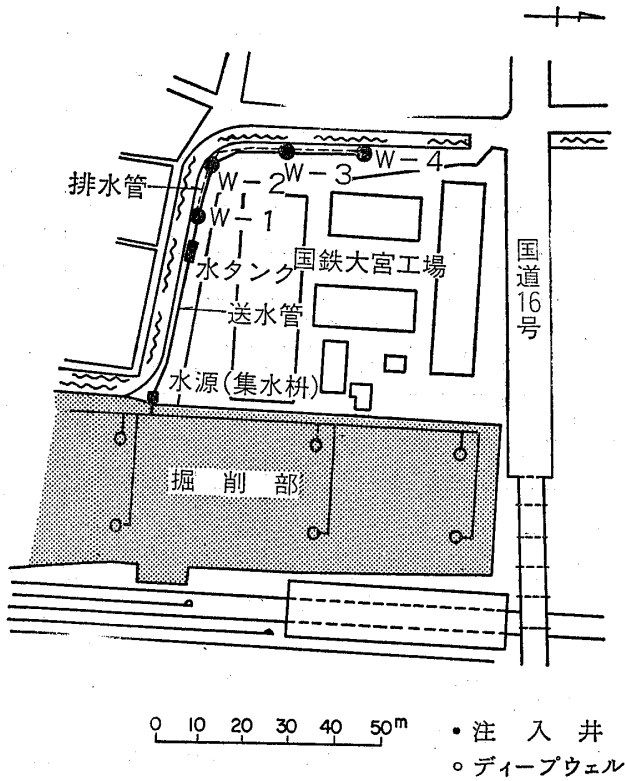


図-11(b) 注入設備配置図

える。

まず、図-12で明らかなように、注入量  $200\text{ l/min}$  を境にして、水位上昇の勾配が緩くなる傾向にある。次に、図-13で示されるように、 $250\text{ l/min}$  以上の場合の比注入量は、注入開始後8時間付近より顕著な比注入量の低下がみられ、目づまりが急激に進むことが明らかとなった。このような段階注入試験の結果から、長時間注入の可能な量は、一本の井戸で注入量  $Q=200\text{ l/min}$  が

妥当であると結論された。

連続注入試験は、図-14で示すように、注入継続時間を10日間とし、その後に逆洗浄揚水を実施し、更に10日間の注入を実施した。試験結果は図-15に示したが、1回目の10日後の注入井内の水位上昇量は約 $3.5\text{ m}$ であり、これに対し2回目の水位上昇量は1回目と同じ注入量で $2.8\text{ m}$ であった。2回目の水位上昇量が少なくなっているのは、1回目終了時に実施した逆洗浄によって、1回目の連続注入による目づまりがかなりの程度で解消したものと判断されるが、2回目の水位上昇量が1回目の時と違って長時間の注入によってもあまり高くない理由については不明である。水位上昇量の変化曲線から考えて240時間の注入時間であれば、目づまりの進行に伴

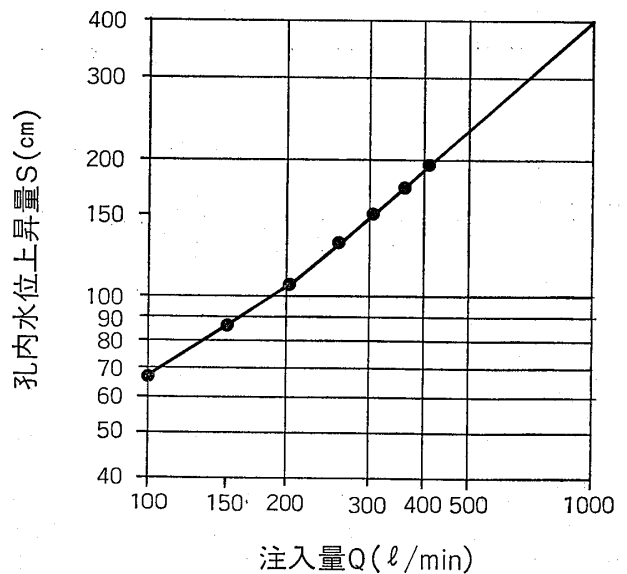


図-12 4時間段階注入試験における孔内水位と注入量との関係

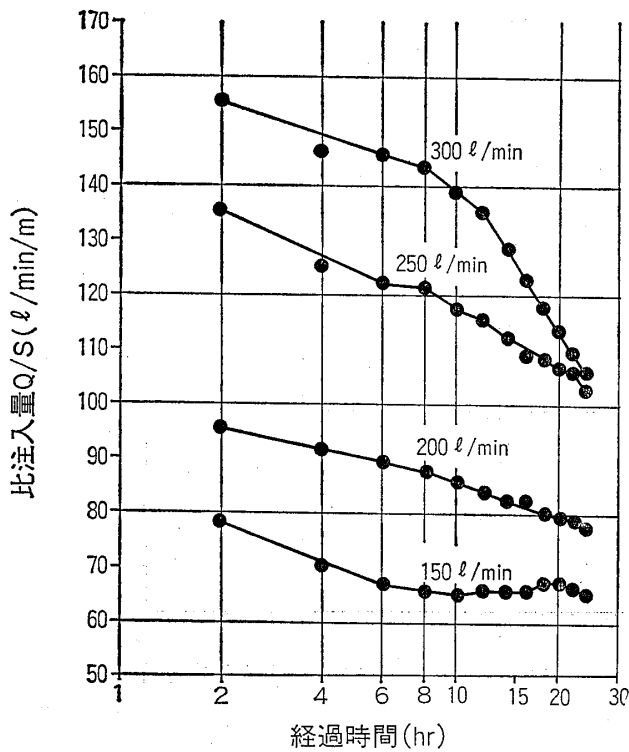


図-13 24時間段階試験における比注入量と注入経過時間の関係

う急激な水位上昇がみられないことがわかったので、本注入工事においても10日注入後に1回逆洗浄を行うという注入工程を採用することとした。2回の連続注入を行った後、水タンクのろ過装置及び注入管に取付けたフィルターには、約1~2mmの厚さの酸化鉄や沈殿物が付着しており、全体にかなり汚れた状態になっていたため、1ヵ月に1回程度は、ろ過装置のフィルターの取換えを実施することとした。

#### ロ) 本注入工事の注入結果

本注入工事による地下水注入は、前述3)の(イ)に述べたような10日間注入後に1日の逆洗浄を行い、1ヵ月に1回の割合で水タンクや注入管のフィルターを取換えるといった作業サイクルで、昭和55年7月から、昭和56年3月の9ヵ月間にわたって19サイクルの注入を実施し、この間の注入量は15万 $m^3$ に達した。4本の井戸の注入効率の経時変化は、各井戸でかなりの差がある。4本の井戸の内2本は、施工期間終了時点で計画注入量 $Q=200 \ell/min$ の注入が困難となり、比注入量が当初の30前後より20以下に低下した。これらの井戸では15サイクルまでの注入が可能であった。他の2本については、最終段階でも注入効率が良好な状態を維持することができた。

図-16は、各井戸の全期間の各サイクルにおける比注入量を比較したものであるが、W-1、W-2号井では井戸効率があまり落ちていない。このW-1、W-2号井は、位置的には掘削工事現場に近い方である。

このように同一条件下において、注入井の耐用期間に差異がみられる原因として、井戸掘削時の泥水管理や掘進技術、井戸の仕上がり之差が考えられる。例えば、注入開始前の揚水時に比揚水量の大きい井戸は、9ヵ月後の最終段階でも注入効率があまり落ちないという現象がある。このことは、初期の井戸の状態が最後まで注入効果に影響するというを示している。すなわち、注入井の施工精度が注入井戸の寿命に大きく影響すると考えられる。

#### ハ) 注入水質の変化

第1帯水層と第2帯水層の地下水の水質は、若干の相違があり、第1帯水層の水質は、第2帯水層よりもマグネシウム、カルシウム分が少なく、アルカリ度が低い。

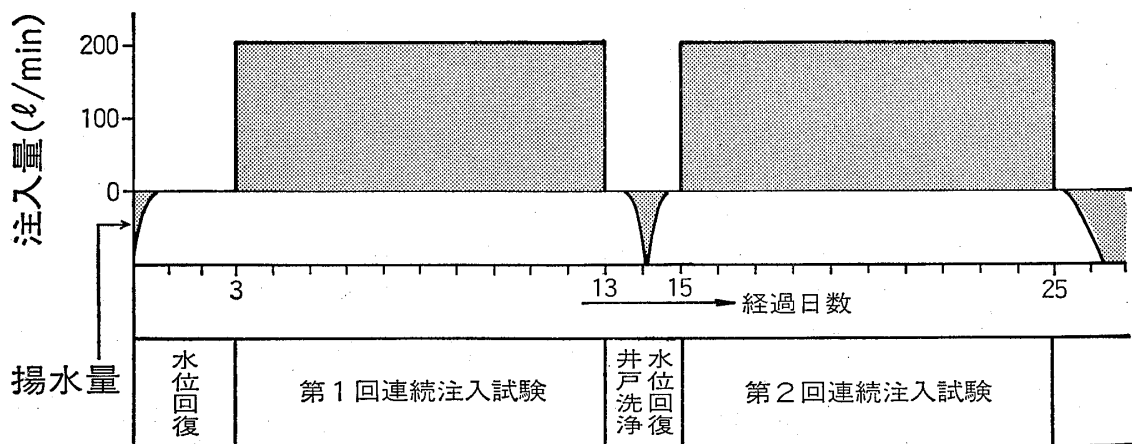


図-14 連続注入試験作業サイクル

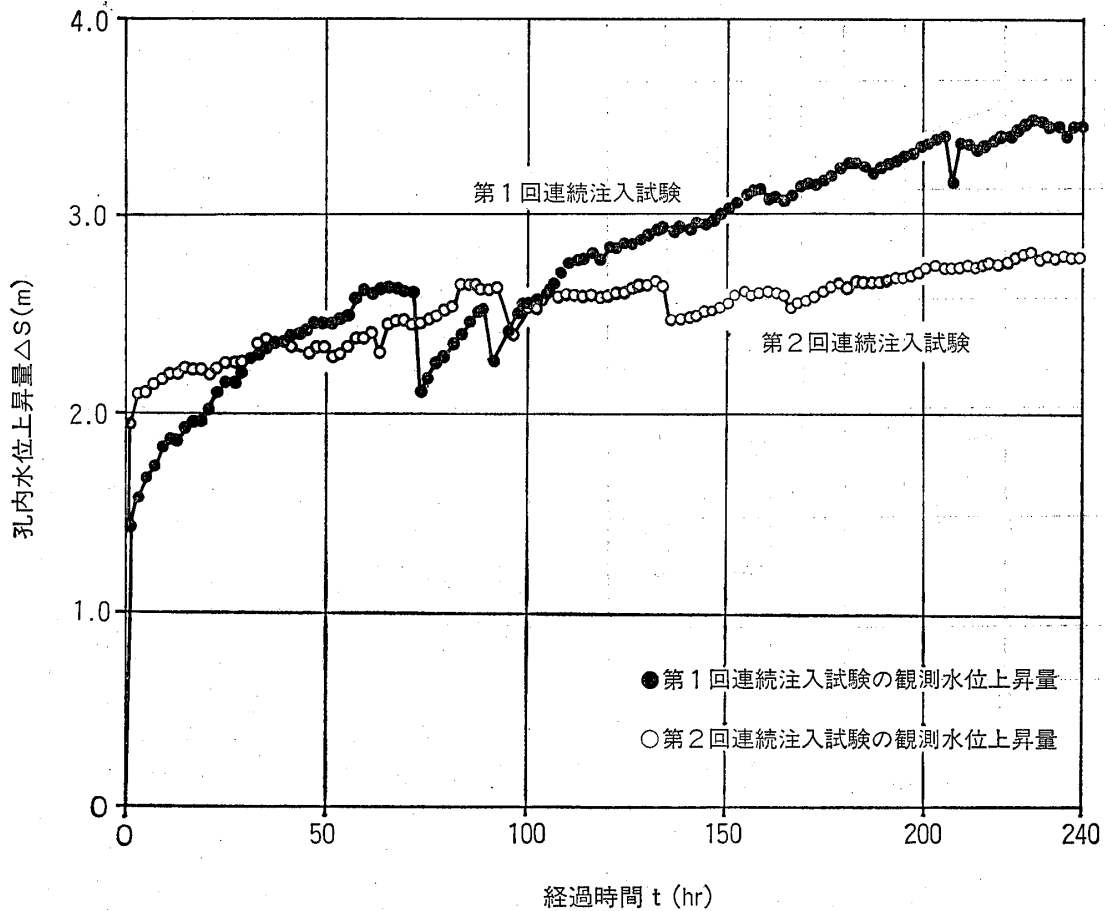


図-15 連続注入試験における孔内水位上昇量 $\Delta S$ と経過時間 $t$ の関係

人工涵養の注入水は、掘削現場のディープウェルによって排水された水を使用したため、第1、第2帯水層の地下水が混合した水質となっている。

図-17は、両帯水層の注入前の水質と注入後の水質をヘキサダイアグラムによって示したものである。このヘキサダイアグラムを比較すると、両帯水層の注入前後のヘキサダイアグラムは同様な形状を示し、注入により地下水の水質が大きく変化するような傾向は認められない。

#### ニ) ろ過装置に付着した沈殿物

水タンクや注入管に取付けた化学繊維のフィルターは、1ヵ月に1回の頻度で交換した。フィルターに付着した沈殿物は褐色を呈し、酸化鉄分がかなり含まれている状態を示している。各フィルターで化学分析により抽出した主な沈殿物質の成分は、表-2の通りである。

水タンクのフィルターで抽出した、Fe、Ca、Mgの含有率が、注入管フィルターの含有率よりも高い傾向を示すが、これは、注入水が水タンクフィルターを通過する時に鉄イオン $Fe^{++}$ 、カルシウムイオン $Ca^{++}$ 、マグネ

シウムイオン $Mg^{++}$ の多くが沈殿し、さらに、ここで沈殿しなかったものがフィルターを通りぬけ、注入井フィルターに沈殿したものと判断される。また、この沈殿物は、CaO、 $Fe(OH)_2$ 、MgOの他に、塩酸を加えると発泡がみられることから $CaCO_3$ の形の化合物として存在し、残りは土粒子等であると考えられる。

#### ホ) 注入による水位上昇の影響

注入による周辺地下水位の変動を、平面二次元差分式で予測シミュレーション計算を行った。計算は、周辺に配置した各帯水層別水位観測井の地下水注入時に観測された水位変動量から、周辺の水理常数を推定し、その値を用いて計算した。変動量の予測計算の結果は、再度現地観測井のデータと照合し、同定計算を行った。

その結果から、注入による周辺地盤の地下水位の変動を予測したのが図-18である。シミュレーションの結果では、人工涵養によってほぼ半径200mの範囲で同心円状に水位上昇が行われ、注入継続によって、この水位は定常状態の水位を保つことが明らかとなった。

この結果から、4本の注入井による影響範囲は、第1

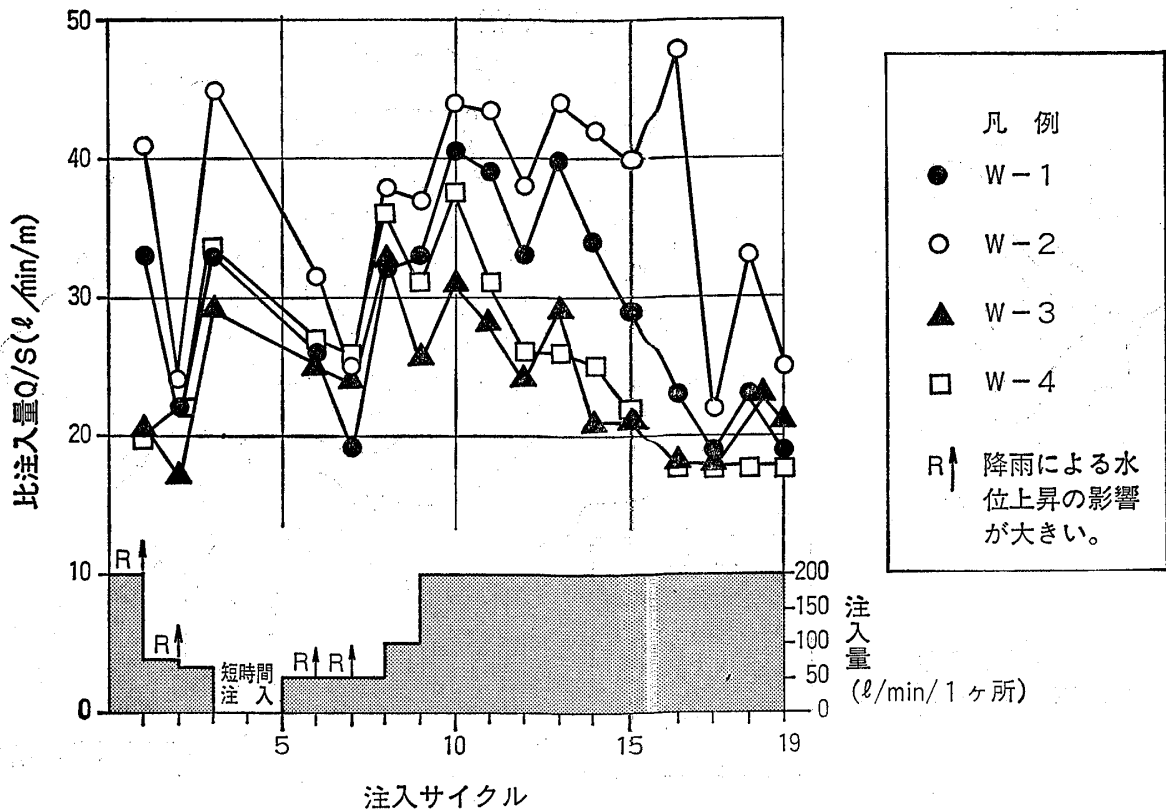


図-16 各サイクルにおける注入井の比注入量変化

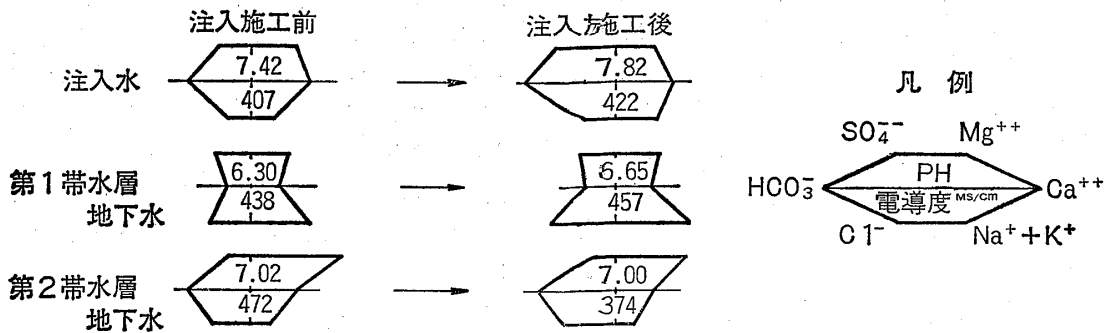


図-17 注入の前後の水質の変化

帯水層で約200m, 第2帯水層で約500m程度と推定される。

5 地下水注入結果の考察

約9ヵ月の注入工事の結果から, 長期間の地下水注入が可能であった原因について考察する。

表-2 フィルターの沈殿物組成

抽出場所	抽出物質	
	水タンクフィルター	注入管フィルター
Fe <sup>2+</sup>	112000mg/kg	41400mg/kg
Ca <sup>2+</sup>	4220 "	2180 "
Mg <sup>2+</sup>	944 "	912 "

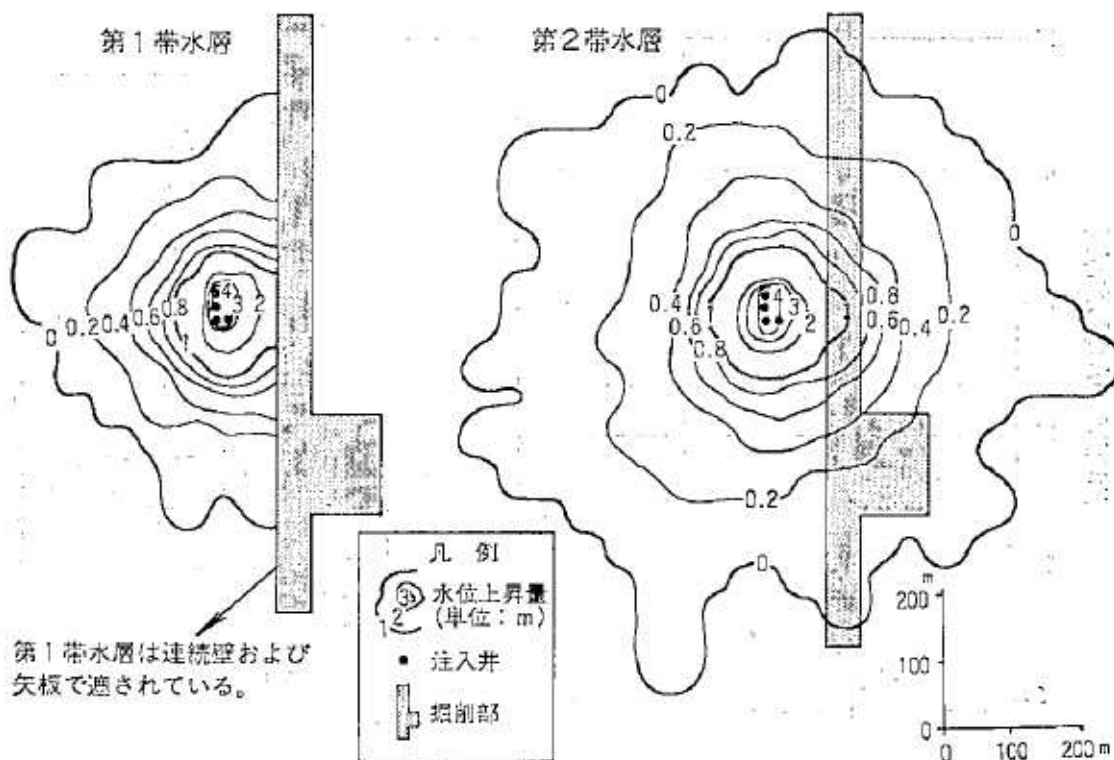


図-18 水位上昇影響範囲図

① 今回4本の井戸で各々 200ℓ/min の注入を行ったが、各井戸で比揚水量や比注入量の差が認められた。すなわち、2本の井戸は注入前から比揚水量が小さく、注入後9ヶ月の時点で、実際に注入が不可能になった。この原因については、井戸の設置した場所の条件よりも、むしろ井戸の掘進技術の問題と考えられる。すなわち、4本の井戸はいずれも同じ施工方法で施工されているにもかかわらず、比注入量に差を生じたのは、主として井戸作成技術にわずかの違いがあったものと考えられる。しかしながら、これらの技術的差はあったにしろ、4本の井戸のいずれもが9ヶ月間の長期にわたってその注入効率を高いレベルで維持し、かつ、その中の2本が最後まで井戸効率が落ちなかった理由としては、今回採用した次のような目づまり対策がきわめて有効であったことを証明している。すなわち、井戸の掘進にあたって時間の経過に従って分解する性質をもつ複合多層類を主成分とした泥水を使用したこと、10cm程度の十分な厚さをもったフィルターゾーンの設置、適正なフィルター材とストレーナーのスリット間隔の選定、および、掘削直後の入念な井戸の洗浄によって仕上がりの良い井戸を作成したことである。

② 水タンクと注入管に取付けたろ過フィルター沈殿物の分析結果から、沈殿物の構成は浮遊する土粒子の他に、酸化鉄、炭酸塩、酸化塩等の物質から構成されることが判った。また、水タンクに取付けたフィルターと注入管フィルターの沈殿物の量的な比較を行うと、酸化鉄等の沈殿物に差があり、水タンクに取付けたフィルターの効果は、土粒子の浮遊物を除去する他に、上記の化学物質の除去にも効果があることが判明した。本地下水は、もともと鉄の濃度が高く、揚水前の帯水層中では、鉄分は2価の鉄イオンとして存在する。この2価の鉄イオンを含んだ水が、揚水され酸素を吸収することによって、3価の鉄イオンに変化し、水中の水酸イオンと結びついて、Fe(OH)<sub>3</sub>の沈殿物を形成する。このような酸化鉄の沈殿物は、今回の分析結果から、沈殿物全体の20%以上の量を占めており、これを除去しなければ大きな目づまりの原因になったと考えられ、水タンクおよび注入管に除去装置をつけなかったならば、このような長時間注入は困難であったと考えられる。

③ 注入期間についていえば、連続注入と井戸洗いの作業サイクルが妥当であったことが指適できる。井戸洗いの頻度については、必ずしも十分な比較検討を行って

決定した訳ではないが、井戸洗いの頻度を多くすることは、累積注入量の減少に結びつき、頻度が低い場合は、注入井周辺帯水層の永久目づまりの発生につながり、長期的に注入効率を維持する上で問題が残る。従って、逆洗浄揚水による井戸洗いの頻度は、目づまりを発生させない範囲で、出来るだけ頻度の少ない方が望ましい。この矛盾する問題については、地下水の水質を出来るだけ浄化する装置が必要であり、また、注入井については、沈殿物が鉄バクテリア等により、固化しないような構造にする必要がある。

④ 注入方法は、今回は圧力をかけない自然注入方式で実施した。これは、浮遊物による地層の目づまりを緩和すること、土粒子の移動を生じないダルシー流速で注入することを目的としたものである。このような圧力を加えない注入方式は、長期間の注入続進については是非必要な条件と考えられる。

以上に、今回長期注入が可能であった主要因について考察を行ったが、その他の要因としては、注入水は両帯水層から揚水した水を使用し、帯水層の水質と類似していたこと、掘削部から80mと近接し、掘削による地下水低下の影響範囲内という有利な場所であったこと等があげられる。このことは、浸透法による地下水涵養については、帯水層中の地下水位を一度低下させ、それを注入によって回復するという、地下水消費を先にした涵養法が、現在の地下水位を注入によって上昇させるという、涵養先行型の貯留法よりも、涵養効率がすぐれているということを示している。

## 6 あとがき

井戸法による長期間の地下水人工涵養の成否は、目づまり防止対策にあるといえる。

目づまりは、浮遊する土粒子、注入水中の物質の化学反応による沈殿物の形成、有機物、バクテリアの生成、注入対象層の土粒子構造の変化といった多岐にわたる問題であり、非常に複雑な現象である。従って、これらの目づまりの原因を完全に除去することは、かなり困難であり、井戸の注入効率を恒久的に最良の状態に維持することは不可能に近い。すなわち、井戸洗い等で除去することができない酸化鉄の固結のような、さけられない目づまりが進行すると考える必要がある。従って現状にお

いては、井戸の効率を可能な限り長期化するための対策について検討を行うことが重要である。

今回の注入結果から、市街地における土木工事等で周辺部の地下水位低下防止策として、地下水位低下工事で揚水した地下水を再度地下に涵養する場合、次のような諸点に注意すれば、長期間の注入は可能であるといえる、すなわち、注入水中に存在する懸濁物質の除去対策を十分行うこと、注入井中に逆洗浄用の水中ポンプを設置し、注入と井戸の逆洗浄を頻繁に行う維持管理、ろ過装置フィルターの種類と交換時期に十分な配慮を行うこと等である。それによって、約1年程度の一般工事における人工涵養は、そう困難を伴う事ではなくなると考えられる。

## 謝 辞

本報告は、日本国有鉄道東京第三工事局の御依頼によって行った、地下水注入工事の結果を考察したものである。本稿作成にあたって、実際に多くの御援助をいただき、本報告発表の機会を与えていただいた、日本国有鉄道東京第三工事局の関係各位に厚く御礼を申し上げる。

## 参 考 文 献

- 1) Todd, David K. (1959); Ground Water Hydrology, John Wiley & Sons, Inc.
- 2) Schwarz, J. (1974); Artificial Groundwater Recharge in Israel, Proc., Belgian Israel Symp. on Groundwater Quality Control and Management.
- 3) 山本莊毅 (1976); 地下水の人工涵養, 施工技術, 第9巻 第7号
- 4) 村下敏夫 (1976); 地下水人工涵養の技術上の諸問題, 施工技術, 第9巻 第7号
- 5) 北川明 (1977); 注入井による注入機構に関する考察, 土木技術資料, 第19巻 9月号
- 6) 石崎勝義, 北川明 (1979); 注入井による地下水涵養, 第23回水理講演会論文集
- 7) 建設省 (1981); 地下水涵養技術の開発報告書
- 8) 金子彦隆, 中村征一 (1981); 東北新幹線大宮駅部地下水注入について (報告), 東三工, 第10号, 日本国有鉄道東京第三工事局