

# 秦野盆地における深井戸による地下水の人工涵養実験（Ⅱ）

— いわゆる目づまり現象について —

長瀬和雄, 荻野喜作, 横山尚秀

神奈川県温泉研究所\*

Artificial Recharging into a Deep Well in Hadano Basin (II)

—Clogging of the Recharge Well—

by

Kazuo NAGASE, Kisaku OGINO, Takahide YOKOYAMA

Hot Spring Research Institute of Kanagawa Prefecture

Hakone, Kanagawa

(Abstract)

An experiment of artificial recharge for groundwater through a deep well was made. Filtered water for the experiment of recharging was supplied from Mizunashi River by the Water Works Department of Hadano City.

Water was freely poured from the top of the well onto the water-table 40 m deep. The recharge well is 300 mm in diameter and the screen of it is at 60~80 m deep.

About 200,000 tons of water has been recharged into the aquifer. Clogging by bubbles had occurred in the aquifer, but the phenomena such as chemical or biological pollution, or solid contamination was not occurred evidently. The clogging was easily disappeared by pumping for several minutes with sudden recovery to ordinary water-table. A term  $\Delta A$  is defined to the difference between the ordinary water-table and the post-recharged water-table.  $\Delta A$  appears when the amount of the water reaches more than 500  $\ell$ /min.  $\Delta A$  changes by terms of period of recharging and velocity amount of recharging water.  $\Delta A$  is caused by bubbles in the aquifer formed at recharging.

\*神奈川県箱根町湯本997 〒250-03

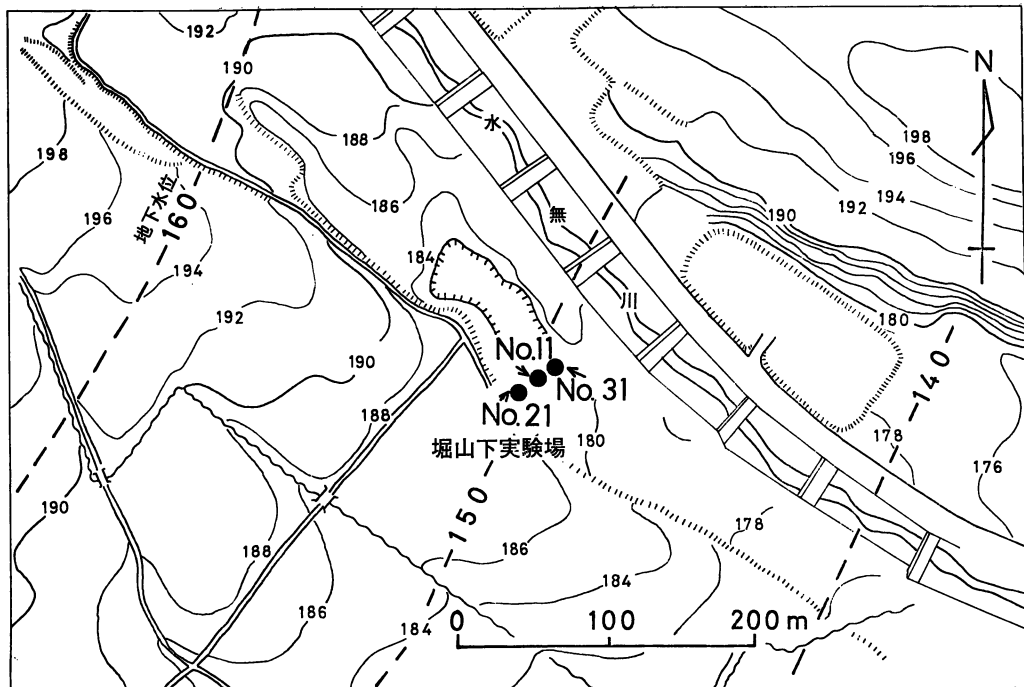


図1 堀山下実験場 No. 11 注水井(揚水井), No. 21・No. 31 観測井, ---地下水面等高線

### まえがき

われわれは昭和47年より秦野盆地において地下水の人工涵養の実験をしており、人工地下水の量は現在約20万トンに達している。

さて涵養井に長時間にわたって注水を続けると次第に涵養井の能力が低下し、いわゆる“目づまり現象”が起るが、この現象は涵養井からの短時間の揚水によってほとんど解消する。ここでは秦野盆地の涵養井に起った“目づまり現象”について述べる。

### 注水実験

堀山下注水実験場は丹沢山地の南麓、秦野盆地の水無川が形成する扇状地の扇頂部にある(図1)。涵養を行っている帯水層は地表から深度約60~80mに分布する洪積世の砂礫層(図2, B<sub>2</sub>層上部帯水層)である。

注水に使用した水は実験場から北方に3kmほど離れた水無川の上流地点で秦野市水道局が取水し堀山下浄水場で浄化した水道水である。注入水には化学的目づまりの原因とされている鉄やマンガン(永井ほか, 1972)は全く含まれていない(長瀬ほか, 1974A)。

注水の方法は自由落下方式をとり、注入水を井戸の上端で水道管から深度約40mの地下水面まで自由落下させて注入している。

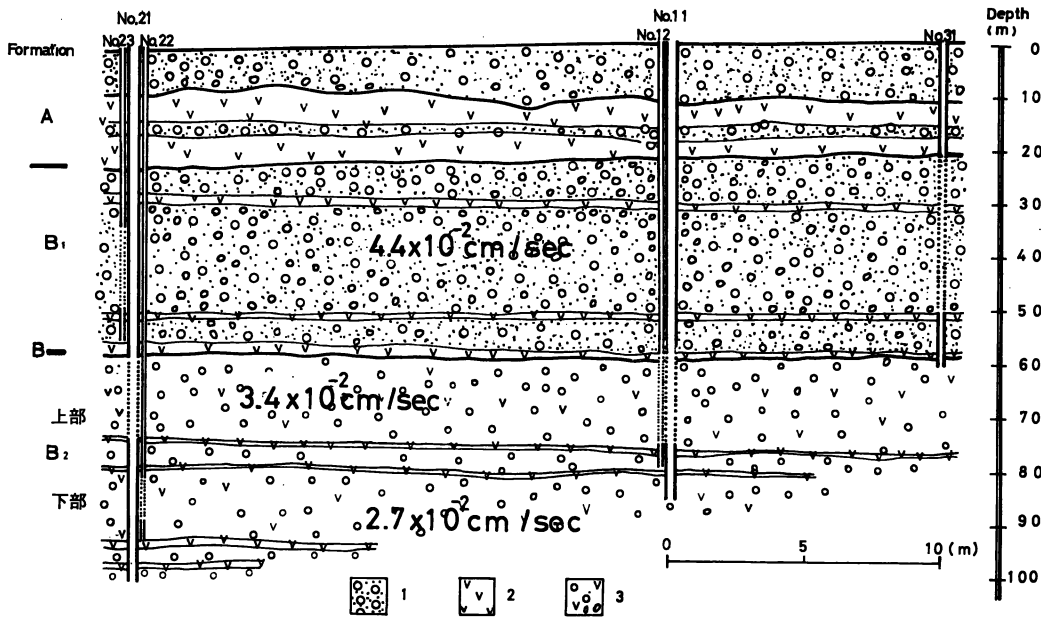


図2 堀山下実験場地下の地質断面 1 ポームまじり砂礫, 2 ポーム, 3 砂礫まじりポーム

堀山下注水実験場の地下の地質状況は図2に示すとおりである。涵養井 (No. 11) を通して B<sub>2</sub> 層上部帯水層へ注水, あるいは揚水したとき, 各帯水層の地下水の被圧状況の変化を把握するために, No. 12, No. 21, No. 22, No. 23, No. 31 で水位の観測を行った。なお, No. 21とNo. 31には自動記録水位計を設置してある。

図3に示すように注水の状況は0~5万トンまでは1回について1万トンづつ, 5回にわけ, 各回の単位時間の注水量を480 l/minで15日間, 630 l/minで12日間, 690 l/minで10日間, 700 l/minで10日間, 900 l/minで7日間注水をした。この5回にわたる注水実験の結果から注水量, 650 l/min程度が適

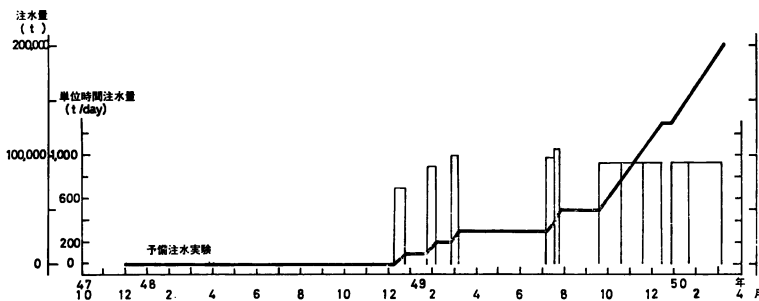


図3 注水実験状況

当と判断されたので (長瀬ほか, 1974B), その後は単位時間の注水量を 650 l/min と固定し, 注水日数約20日間で2万トンの注水を2回, 約30日間で3万トンの注水を2回, 約50日間で5万トンの注水を1回行い, 総計20万トンの注水を行った。

図4は昭和49年9月20日

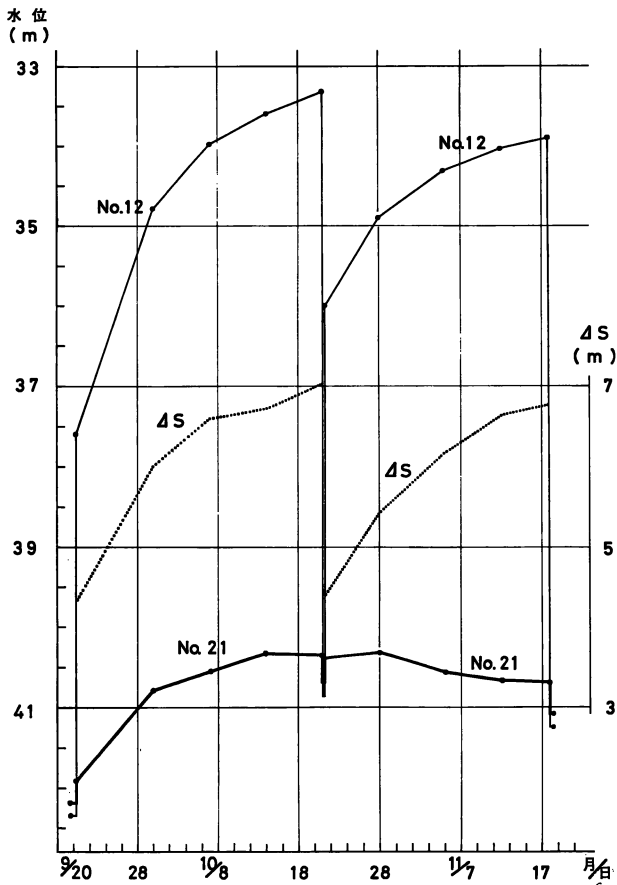


図4 注水時の水位変化

測井 (No. 21) まで約20m間の地下水を流動させるに必要な力の大小を表わす要素と解釈できる。注水量を一定にした条件のもとで長時間注水を続けたとき、 $\Delta S$ が増加することは、涵養井の能力の減退、または帯水層の透水性の悪化、つまりいわゆる“目づまり現象”の進行を意味する。図4の $\Delta S$ の増加は注水井の“目づまり現象”が進行している状況を示している。10月21日注水を一時停止し、 $480 \text{ l/min}$ で15分間、 $7.2 \text{ m}^3$ の揚水を行い、その後再び前と同じ量の注水を行ったところ $\Delta S$ はほとんど9月20日の値にもどった。しかし他の注水実験の折、注水停止後揚水を行なわないで再び注水を続けたところ、 $\Delta S$ は揚水前の状況を持続した。このことにより、短時間の揚水で、この“目づまり”の状態がほとんど解消すると解釈できる。

#### “目づまり現象”

涵養井に起こる目づまり現象には従来多くの資料が報告されている。(永井茂ほか1972, 柴崎達雄ほか1973, ヨーノス1974)。その原因を要約すると

##### 1 注入水中の懸濁物

から11月18日まで単位時間の注水量  $650 \text{ l/min}$  で約30日間3万トンづつ2回にわたって6万トンの注水を行ったときのNo. 12とNo. 21の水位の変化状況である。水道のバルブを一定に開いて固定し、注水量が一定になるように心掛けたが、水道の水圧に微妙であったが変化があり、注水量が変動した。注水量が変わると地下水位は大きく影響を受ける。水位測定時に注水量の測定もおこなっているため、図4の水位の値には注水量補正を施してある。しかし、図の水位の値には地下水の季節変化の補正、気象・潮汐の影響の補正は施していない。9月から10月にかけて注水を行っていた時期は地下水の水位上昇の季節にあっていた。注入水の流動の状況を知るためにNo. 12とNo. 21の水位変化の差( $\Delta S$ )も図示した。 $\Delta S$ には地下水の季節変化、気象・潮汐の影響などの要因は取除かれることになる。 $\Delta S$ は注水井 (No. 11) から観

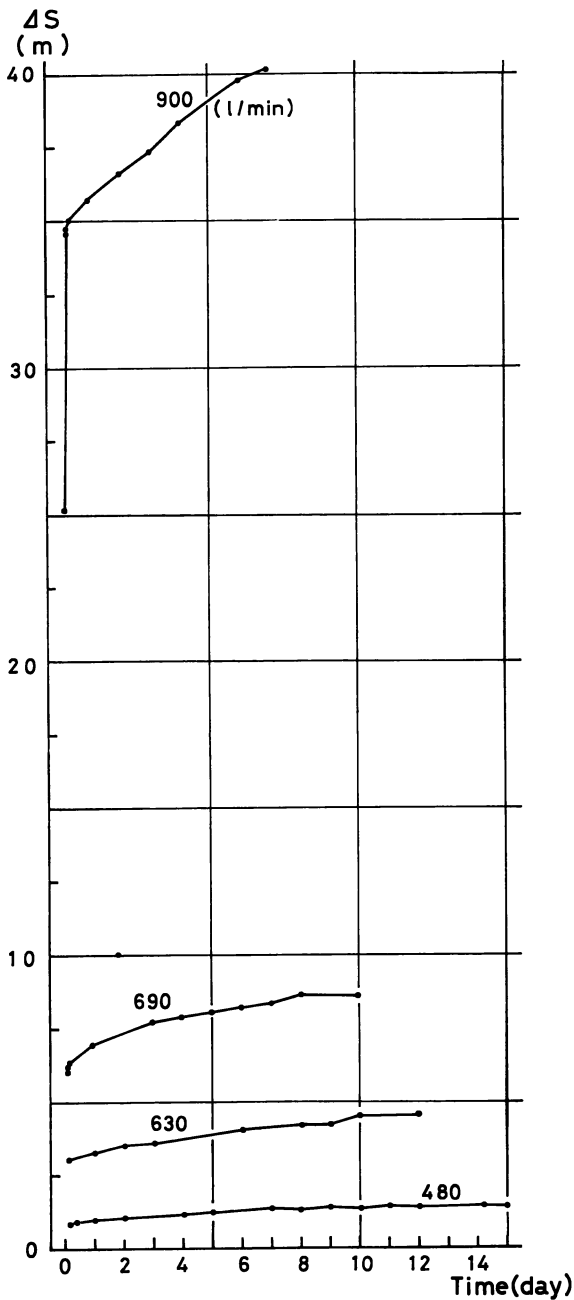


図5 ΔS の変化

- 2 帯水層内での化学反応
  - 3 井戸または帯水層での微生物の増加
  - 4 注入水中の空気
  - 5 帯水層に水が流入するときにおこる土粒子配列の変化
  - 6 注水井の酸化・腐食
- などがあげられている。

秦野盆地の涵養井でおこっている“目づまり現象”の原因を次に考察する。

図5は単位時間の注水量を480 l/min, 630 l/min, 690 l/min, 900 l/minとして注水したときの注水井と観測井 (No.21) との水位の差 ( $\Delta S$ ) の変化の状況である。いわゆる“目づまり現象”は注水量が多いときに急速に進行することが分る。

図6は900 l/minで7日間、10,000トンの注水を行ない、注水を停止してから、7日後に行なった断続揚水試験の際の水位の変化の状況である。10時05分、揚水管の吐出口のバルブを閉めて揚水ポンプを作動させ、揚水管に水を満した状態、つまり0.17 m<sup>3</sup>揚水するとNo.11 (No.12も同じ) の水位は一挙に82cm低下して10分後(10時15分)にほぼ安定した。このとき揚水井から20m離れている観測井No.21では揚水前にほとんどどった。同様な操作を13時30分、16時45分におこなったが、そのときはNo.21ばかりでなく、No.11, No.12も揚水前の水位にほぼ回復した。また10時15分から11時15分まで1時間バルブを開いて480 l/minの割合で揚水を行なったが、このときのNo.11 (No.12も同じ) の水位の変化

は、後で行なった2回の揚水時の水位変化に比べると水位の低下量が大きく、初め大きく低下し、揚水時間が経過するにつれ水位が上昇するなど、後の2回とは異なったパターンを示している。さて、

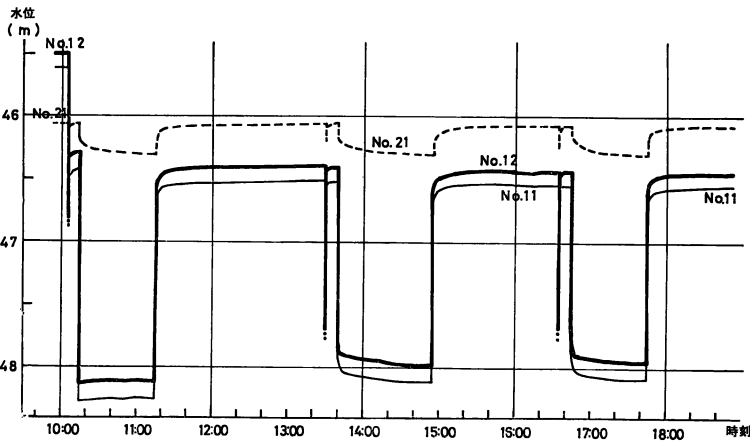


図6 注水後の揚水試験

10時05分から10分間の $0.17\text{ m}^3$ と、10時15分から1時間にわたる $28.8\text{ m}^3$ の揚水とで、いわゆる“目づまり”はほとんど解消したわけである。こときの水位変化の状況から、“目づまり”の原因は井戸のごく近辺に著しく、井戸壁から離れると極めて少なくなることが分かる。注入水中には鉄やマンガが含まれていないから、永井ら(永井ほか,1972)

が指摘しているような井戸壁へのそれら酸化物の付着は考えられない。揚水初期(10時15分)に赤く濁って鉄分を含んだ水が流出したが、これは数分で澄みきってしまい、その濁度の変化も揚水開始直後の方が著しく次第に澄んでいく様子からこの鉄分は揚水管内側の赤錆と断定できる。また等しい量の水(1万トン)を単位時間の注水量を変えて( $480\text{ l/min}$ ,  $630\text{ l/min}$ ,  $650\text{ l/min}$ ,  $690\text{ l/min}$ ,  $900\text{ l/min}$ など)行なった実験、および単位時間の注水量を一定( $650\text{ l/min}$ )で注水量を変えて(30トン, 1万トン, 2万トン, 3万トンなど)行なった実験の結果、この“目づまり現象”は総注入量の多・少と比例して起るのでなく、単位時間の注水量の多・少と関連する現象によって起ることが分った。このことから秦野盆地における注水井のいわゆる“目づまり”の主要な原因は帯水層内に生じる化合物、注入水中の懸濁物、井戸あるいは帯水層内での微生物の増殖などではないといえる。またこれまでの数十回におよぶ注水実験の可逆性から水が帯水層内に流入するときの土粒子の再配列が主な原因とも考えられない。その原因は注入水と同時に帯水層内に混入される気泡と判断できる。

気泡は静水中を静止状態から上昇を始める際、きわめて短距離で終速に達するといわれている(宮城 1925)。この終速は平均半径約 $0.165\text{ cm}$ のとき最大でその値は $27.8\text{ cm/sec}$ であり、その半径より小さい気泡の終速はその半径に比例して減少するといわれている。

いま単位時間の注水量 $650\text{ l/min}$ の注入をおこなっているとき、井戸の内では $15.3\text{ cm/sec}$ の下降水流が生じている。平均的に考えて、井戸内の地下水面付近で直径が $1.5\sim 2\text{ mm}$ 以下の気泡はこの水流に逆って水面に達することができず、流れに運ばれさらに水圧を受け直径を減じながら下降する。これらの微小な気泡はやがて深度 $60\text{ m}$ 以深のストレーナーを通過して帯水層内に送りこまれる。

単位時間の注水量が $650\text{ l/min}$ の注入の際井戸内の水面付近では下降する水流、上昇する気泡、流れに運ばれていく気泡が非常に乱れた状態を作っており、水面検出器(テスター利用)による水位の

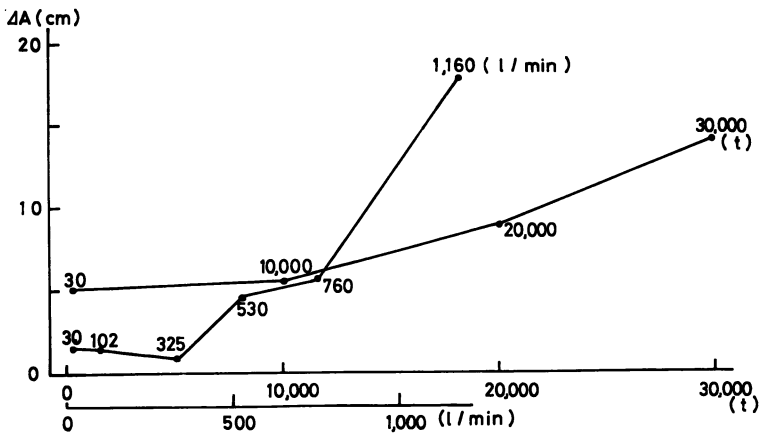


図7 注水量と $\Delta A$

測定は全く不可能である。単位時間の注水量が1,000  $\ell/\text{min}$ を越えると、No.12において発泡現象が見られた。また注水停止後も長時間にわたって注水井では発泡現象が起った。さらに1,000  $\ell/\text{min}$ を越える注水後に揚水を行うと、その水の中には多量の空気が含まれており、揚水量を測定するためにその水を三角堰に

入れると、その底に積っていた木葉や、砂泥を舞上げて著しい発泡現象を起した。

前に述べた図6の揚水試験初期に起った82cmにおよぶ水位低下の現象は注水を停止して7日のあいだ注水井のまわりの帯水層に閉込められていた空気が原因と判断できる。この水位低下を $\Delta A$ （気泡による目づまり）と名付ける。 $\Delta A$ は帯水層内に閉込められた空気の抵抗により、注水井の周囲の透水性が低下し、局部的に水圧が高くなっていたために生じたものである。 $\Delta A$ は帯水層への気泡の混入により帯水層に生じた透水性の低下の度合を知る手がかりとなる。図7には総注水量を一定（30トン）とし単位時間の注水量を変えた注水（30  $\ell/\text{min}$ 、102  $\ell/\text{min}$ 、325  $\ell/\text{min}$ 、530  $\ell/\text{min}$ 、760  $\ell/\text{min}$ 、1,160  $\ell/\text{min}$ ）、と単位時間の注水量を一定（650  $\ell/\text{min}$ ）とし、総注水量を変えた注水（30 t、10,000 t、20,000 t、30,000 t）の後に実施した揚水試験時に得られた $\Delta A$ を示した。単位時間の注水量1,160  $\ell/\text{min}$ で微か30分間、つまり30トンしか注水しないのに650  $\ell/\text{min}$ で30日間30,000トンの注水を行なったときを上まわる $\Delta A$ の値が読みとれる。325  $\ell/\text{min}$ 以下の注水時には気泡は帯水層内にはほとんど送りこまれないように見える。

これらの実験の結果から、秦野盆地の涵養井においては、井戸および帯水層に極端な負担をかけずに、効率よく注水するためには単位時間の注水量を650  $\ell/\text{min}$ 前後とし、30日間約3万トン程度の注水後、揚水を行なって、涵養井の能力を回復させておくことが望ましい。

なお、この涵養井において、20万トンの注水後、3日間にわたる揚水試験を行い、 $B_2$ 層上部帯水層の透水量係数として $5.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$ を得た。この値は注水実験を行う前の $5.7 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$ 、3万トン注水後の $6.1 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$ 、5万トン注水後の $4.9 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$ に比べ大差なく、帯水層に著しい変化の起っていないことを示している。

#### 今後の問題

秦野盆地における深井戸による地下水の人工涵養の実験で約20万トンの人工地下水を造成した。現

在注水を続けることが不可能となるような帯水層の目づまりは起っていない。この注水井で起こる“目づまり現象”の原因は注入水と同時に帯水層に混入する気泡と判断される。この“目づまり”は短時間の揚水によりほとんど取除くことができる。今後さらに効率良く注水を行うためには注入水を一時水槽に溜め、地下水面上まで挿入した注水管により、サイフォンの原理を用いて全く空気が入らない状態で注入するのが良い。

なお、ここで目づまり現象の原因として気泡による目づまりに関してのみ触れたので、あたかも秦野盆地における涵養実験では他の原因による目づまりが全く起らないという印象を与えるかも知れないが、この注水井で20万トンの涵養をおこなった現時点で、気泡以外の原因による目づまりが顕著に現われないということである。今後さらに本井を使用して地下水の涵養を継続すると、それらの原因による目づまり現象が測定値にも現われ、それが問題となろう。

## 謝 辞

栗原藤次秦野市長、熊沢武雄秦野市水道局長、山田健造水道局工務課長をはじめ水道局職員の方々は注水実験の実施にあたりいろいろお世話くださり、また便宜をはかってくださった。大木靖衛温泉研究所長にはこの報告書をまとめるにあたり多くのご助言をいただいた。牧野弘美管理課長、井上喜弘主任主事には繁雑な事務手続きに携わっていただいた。ここに関係者の方々に厚く感謝の意を表す。なお、この調査の費用は県衛生部温泉等研究調査費によった。塚田康之助生活環境課長はじめ関係者の方々に感謝する。

## 参考文献

- 小西泰次郎 (1968), 冷却排水の地下への還元再使用, 工業用水, 第118号, 90—97.
- Miyagi (1925), The Motion of An Air Bubble Rising in Water, 日本機械学会誌 XXV III, 95.
- 永井茂, 村下敏夫 (1972), 人工地下水における注水井戸の目づまりと井戸能力の回復, 工業用水, 第170号, 48—54.
- 長瀬和雄, 大木靖衛, 荻野喜作 (1973), 秦野盆地における観測井のさく井資料, 神奈川温研報告, Vol. 4, No. 3, 145—152.
- 長瀬和雄, 荻野喜作, 横山尚秀, 小沢清 (1974A), 秦野盆地における深井戸による人工涵養実験 (I), 神奈川温研報告 Vol. 5, No. 3, 111—119.
- 長瀬和雄, 荻野喜作, 横山尚秀, 小沢清 (1974 B), 秦野盆地における深井戸による人工涵養実験 (1), 日本地質学会講演要旨.
- 佐賀県農林部 (1967), 白石平野の地下注入実験.
- 柴崎達雄 (1973), 地下水資源学, 共立出版.
- ヨーンズ M. T. (1974), 人工かん養井戸の目づまり, 工業用水, 第195号, 34—39.