武蔵野台地における深層地下水の動態

新 藤 静 夫*

The Behavior of Confined Groundwater of the Musashino District

Shizuo SHINDOU

Abstract

Following the groundwater discharge control which was enforced in 1961 in the urban area of Tokyo Metropolis, the Metropolitan Government prohibited, from 1972 on, the drilling of deep wells in the suburban area (Santama district) and gave guidance in reducing the discharge of the existing wells.

As a result, the groundwater level has been showing a gradual recovery. This tendency is not a local one but is recognized throughout the Santama district.

Such a phenomenon cannot be readily judged whether it is merely a temporary state or it indicates a net rise of water level due to supply from rivers or from unconfined groundwater, but it will provide a good opportunity for knowing the behavior of confined groundwater.

The present paper is made up of a part of the results of the investigation in the Musashino district and in the urban area of Tokyo Metropolis. This research was carried out by the request from the Environmental Pollution Bureau of the Metropolitan Government.

In part I of this paper the author described an outline of hydrogeological condition of the Musashino district as a background of the study.

In part II he mentioned the characteristics of annual change of groundwater level due to artificial impact and he showed some interpretations about groundwater recharge mechanism in short term.

In III he clarified large scale recharge mechanism which is induced by long term discharge.

In part IV he showed two kinds of piezometric surface contour map based on the geological horizon of aquifer (one is Tokyo group and the other is Kazusa group), and then he clarified that water level difference between the upper and lower parts increases throughout the district with the increase of groundwater utilization.

As the result, he emphasized the following points.

1. In the early stage of groundwater utilization, recharge for confined groundwater proceeds in the form of compensation for the "elastic strain" in the aquifer which is caused by discharge.

* 筑波大学地球科学系 Institute of Geoscience The University of Tsukuba

2. In the stage where the groundwater utilization is fairly advanced, several processes of recharge mechanism are considered.

Namely, the recharge in a relatively short period is related chiefly to the vertical movement of flow (in the form of squeeze and leakage), while the recharge in a long period is made in the form of compensation by the flow from the surrounding areas according to hydraulic gradient.

I. 序 論

(1) はじめに

東京都三多摩地域では昭和47年以降、都条令にもとづく深井戸の新設規制に加えて、既設井の揚水量の削減への指導が行なわれたため、最近それまで低下の一途をたどっていた地下水位が徐々に回復するきざしをみせてきた。回復の時期はのちにのべるように特に地域的な相違はなく、当地域全域で一様に認められるといつてよい。このような現象が帯水層の水頭分布におけるいわばひずみの補償といったかたちであられる一時的のものか、または河川あるいは浅層地下水からの正味の涵養を示すものか、なお追跡調査を要するが、いずれにしても深層地下水の挙動を知るにはよい機会であるといえる。

筆者はかつて本誌において武蔵野台地の地下地質と地下水のあり方について、詳しく論じたことがあるが¹⁾、地下水の涵養機構については不明の点を多くのこしたままであった。しかしそのうち資料の蓄積も行なわれ、一方、現地調査の機会も得て上記の懸案の問題についていくつかの新しい知見を加えることができた。ここにのべるのはその一端である。

(2) 地下水の賦存の場としての水文地質条件

以下の記述の便宜のため、当地域の水文地質の概要を西部から南西部にかけた台地周辺部と、東部から北東部にかけた台地中央～東部に分けて簡単にまとめておく。

a) 武蔵野台地周辺部

武蔵野台地の西部から南西部にかけた地域では、地下地質はおもに砂礫層から成っている。これらの地層は東ないし北東に向かって $1/80 \sim 1/50$ と比較的大きい値で傾斜しているが、これより東部ではその値が漸減し、数100分の1のオーダー

となる。それとともに砂層あるいは粘土層の介在が目立つようになり、帯水層が細分される。この細分された帯水層のうち、比較的連続性に富むものが数層準に発達している。筆者はかつてこの連続性のよい帯水層を下位の上総層群相当層中に4層、上位の東京層群相当層中に4層認め、その構造を明らかにしたことがある。台地周辺部では各層準の帯水層は地表に露出して降水の浸透を直接受けたり、多摩川、秋川等の河床にあって表流水の浸透を受ける場合があるほか、台地下にあって段丘礫層中の不圧地下水の浸透を待つものなどがあり、いわゆる涵養域を形成している。この涵養域において表流水が減少する事実は多くの研究者が認めているところであるが²⁾、今回の調査でも、夏期から冬期にかけて3回³⁾にわたり流量観測を行なっているまでの見解を再確認した。

b) 武蔵野台地中央～東部

筆者は前掲の論文において、武蔵野台地の段丘礫層の下位に、かつて東京都心部で東京層として一括されていた地層と同層準の海成～陸成の洪積層が厚く堆積していることをはじめて認め、これを東京層群として定義した。この地層によって不整合におおわれる上総層群の表面は顕著な凹凸を示すが、とりわけ狛江市、世田谷区、杉並区を結んで北にのびる方向と、所沢市より東につづく方向にみとめられる尾根状部および、これらによって限られた中央部の北東に開いた湾状の凹部が注目される。この部分にはかつての多摩川、秋川、あるいは浅川の河道であったと推定される埋没谷地形が認められる。

本論文では、深層地下水の水位変化は大きくは、インパクトとしての揚水に対するレスポンスとして把えることが出来るという前提からそのさまざまな様態によって、地不水の動態を探ろうとするものであるが、そのバックグラウンドとして上

第1表 主要取水層の層準の概略区分

地区	条 件	
	井戸の深度	最上部ストレーナーの深度
江戸川区 江東区 墨田区 葛飾区 足立区 台东区 板桥区	250m	200m
文京区 豊島区 練馬区	200m	150m
中野区 新宿区 千代田区	150m	100m
港区 渋谷区 中野区 杉並区	100m	50m
太田区 世田谷区 品川区 目黒区	50m	50m
清瀬市 東久留米市 保谷市 田無市 武蔵野市	150m	100m
三鷹市 小金井市 小平市 国分寺市 東村山市	100m	50m
調布市 府中市 立川市 国立市	50m	50m

述の水文地質条件はきわめて重要な意味を有している。

ここでは地下水位変化にかかわる水文地質条件をつぎのように考慮した。

i. 地域的な面での考慮

- ・武蔵野台地西～南西部——上述の如く涵養域をなし、地表水あるいは浅層地下水との交流が大きい。
- ・武蔵野台地中央部——北東方向に開いた大きな埋沿谷地形が認められる。西部、南部または東部地域からの地下水流動を起させ得る条件を有している。
- ・武蔵野台地東部——狛江市、世田谷区、杉並区付近から練馬区方面につづく地域を指す。この地域は先にのべたように上総層群が尾根状にはり出していて、水文地質上都心部と三多摩地域を分つ境界線をなしている。

ii. 地質単元⁴⁾と地下水

ほとんどの深井中がいわゆる多層取水をしているので地質単元と水位記録を完全に対応させて検討することは資料数の点で困難である。

したがって、ここでは第1表に示したような概略の区分の基準を設けて資料を処理することとした。ここで井戸の深度以外にストレーナーの位置をも考慮に入れるようにしたのは上述のように多層取水の井戸が多く、単純に井戸深度だけでは区分出来ないためである。また区分の基準でストレーナーの深さが井戸深度より浅くとしてあるのは、深層部から取水する井戸のデータ数を多くとるためである⁵⁾。

II. 地下水の年間変化から推定される事項

今回の調査では武蔵野台地内54箇所の深例をかえた深井戸について、月一回の一斉観測を行なう一方、16箇所の休廃止井に自信水位計を取り付けた。まず自記記録にあらわれた地下水位の変化パターンをみると、つぎの5つのタイプが区別される。(典型的な場合のみを第1図に示した。)

a 浅層地下水位型⁶⁾ (第1図参照)

夏期(多雨期)および冬期(少雨期)に対応したかなり顕著な水位変化を示す。武蔵野台地の西部から南西部にかけた周辺部の井戸に多くみられ、地下水位は一般に浅いところにある。また変化幅は3～5mと大きい。このようなパターンは

段丘礫層を対象とする浅井戸にみられるものと類似している。

b 中間型⁷⁾

取水深度の浅いものと深いものに分けてつぎの2つのタイプがみとめられる。

- i. a. のパターンとよく似ているが、年間での変化幅は少ない。
- ii. 深層部の地下水位の回復期にほぼ呼応したかたちで水位低下が起り、これが一方的に進行する。

c. 深層地下水位

揚水量の季節的増減に影響されたかたちの水位変化を示す。すなわち夏期に低下し、秋から冬にかけて上昇する。つぎの2つのタイプが区別できる。

- i. 地下水位の変化幅が5m前後と大きい。主として東京層群の帯水層を対象としている井戸に多くみられる。(第1図参照)
- ii. 地下水位の変化幅が1m以内にとどまる。主として上総層群の帯水層を対象としている井戸に多くみられる。

d. その他

水位変化が不規則で、隣接地域の揚水の影響を受けていると考えられる場合でも、東京層群を対象とする井戸の水位変化は上総層群を対象とするものより大きいという傾向は指摘できる。

以上から、つぎのことが推定できる。すなわち、武蔵野台地では、年オーダーでみた場合、浅層部の地下水位がより深層部の地下水の揚水の影響を受けるようなかたちで変化するケースが多いが、その度合は下位のもののほど大きく、上位へ漸減しているといえる。いいかえれば、この期間での深層部の地下水位の上昇は主として浅層部からの補給⁸⁾によって行なわれると考えられるが、その補給のあり方は下位の層準より上位の層準へと

第1図 地下水位の継続記録例

波及するかたちで進行するといえよう。

つぎに昭和52年8月から翌年1月にかけて、月毎に行なった地下水位の測定結果を地区別、水位標高別にまとめた例を第2図に示す。

これも自記記録の結果と全く同じであって、浅層部の地下水位は8月以降低下の一途をたどっているのに対して、深層部の地下水位は上昇の傾向を示している。浅層部での水位低下量を地域的に示すと第3図のようであって、大体の傾向は西部で大きく、東部で小さい。これははじめにのべた

周辺部の低下量が大きくなり、一方中央部での低下量が少くなる。その量は中央部で10m以内、周辺部で10m以上となっている。

水位低下量の分布がこのようにほぼ地下水揚水の規制の時期を境として地域的に逆の傾向を示すようになる点についてはつぎのように説明出来る。すなわち、規制以前の段階では水位低下域への誘発的涵養量が周辺地域との水位差の拡大とともに増加したとしても、その量は揚水量の増加には常に追いつかないため水位低下が年々加算されたが、規制以後では揚水量の減少とともに、その量と誘発的な涵養量との差が減少するようになったためと解釈出来る¹⁴⁾。これらの事はⅡにのべたものとは時間的にも、空間的にもスケールを異にする涵養形態、すなわち地域にあるひろがりをもった地下水位低下のひずみを補償するかたちの涵養が行なわれていることを示している。

IV. 帯水層の層準別地下水面 図から推定される事項

以上にのべてきたように垂直方向、水平方向を問わず、被圧地下水盆における地下水位の分布は全体として、一つの平衡状態を維持する方向に向かって変化するといえる。したがって外部からのインパクトの強度が減少すれば、いずれは地下水位低下という“ひずみ”は解消される。しかしこれにいたるには一般に長時間を要する。とりわけ地質単元を異にする場合はこれが倍加されるように思われる。

第7図はその一例で、武蔵野台地西部の瑞穂町

第4図 武蔵野台地における地下水位と揚水量の長期変化の例

第5図 しぼり出し補給のモデル実験

第2表 地下水位の回復率(%)

	39	40	41	42	43	44	45
田 無 市	34	55	22	20	41	22	8
武 蔵 野 市	48	58	37	46	—	13	13
府 中 市	54	—	59	26	58	42	17
立 川 市	56	36	46	42	33	30	27
国 分 寺 市	53	—	53	33	26	37	—
昭 島 市	53	—	33	20	22	—	—
平 均	50	49	42	31	36	29	16

第6図1 地下水位変化の地域分布 (1)
(昭和40年～昭和45年)

第6図2 地下水位変化の地域分布 (2)
(昭和45年～昭和50年)

における東京都公害局の観測井の記録である。ここでは特に厚い不透水層が発達しているというわけではないにもかかわらず、30m 井と、110m 井の間では水位差は実に40m 以上に達している。同ような現象は東京都土木技術研究所の調布市、

東大和市その他の観測井の記録にもみとめられ、地下水の挙動を正確に把握するためには帯水層の層準別の地下水面図を画く必要があることを示唆している。

ここでは第1表にもとづいて、主として東京層

群から取水する井戸と、主として上総層群から取水する井戸を区別し、2層準の地下水面図を画いた。

地下水面図は昭和35年、40年、45年、52年の4時期について画いたがここでは昭和52年¹⁰⁾のものを第8図に例示し、他の時期のものについては2層準の水位差を分布図として示した。第9図1～3がその例であるが、この図では上総層群の水位が東京層群の水位より低い場合についてのみ示し、その逆の場合は“水位差なしまたはプラス”として一括して示した。なお空欄はデータの無いことを意味している。

以上のほかに東京都心部と武蔵野台地を東西に横断する方向に地下水面の断面図を画いた。第10図がそれである。これらの図からつぎの点が指摘出来る。

i. 昭和35年時では東京層群、上総層群

第7図 帯水層の位置によって自然水位が異なっている例
(東京都西多摩郡瑞穂町)

第8図 地下水面図 (昭和52年8月)

両層準の地下水位差の東京都心部をのぞいて、さほどいちぢるしくはなかった。

- ii. 昭和40年時では都心部での水位低下がいちぢるしくなり、また両層準の水位差が10~30mと大きくなった。
- iii. 昭和45年時では水位低下地域はさらに西部に向かって拡大し、深層部の地下水利用が増加

するにしたがって両層準の水位差も次第に大きくなった。

- iv. 昭和52年時では、両層準間の水位差は当地域のほぼ全域にみとめられるようになり、最大50mに達した。これに対して都心部では両者の水位差はほとんどみられなくなった。

第9図1 主として東京層群から取水する井戸と、主として上総層群から取水する井戸の水位差の分布 (1)
(昭和35年)

第9図2 主として東京層群から取水する井戸と、主として上総層群から取水する井戸の水位差の分布 (2) (昭和40年)

第9図3 主として東京層群から取水する井戸と、主として上総層群から取水する井戸の水位差の分布 (3) (昭和52年)

第10図 地下水断面図

いうまでもなく帯水層の層準向の水位差が大きくなるのは、上層部より下層部へ向かって行なわれる涵養が、下層部からの揚水に追いつかず、その不足量が累加されるためであるが、一方水位差が大きいのことは地下水涵養を誘発するポテンシャルがそれだけ高いことを意味している。先に武蔵野台地西部での浅層地下水の水位低

下の大きいことから垂直涵養量が多いことを推定したが、上述の事実はこのことと矛盾しない。

V. 結 論

(1) 地下水の動態の指標としての地下水位変化特性

一般に被圧地下水盆の地下水は一つの閉じた系

をなしているの、揚水という外部からのインパクトがなければほとんど停滞していると考えべきである。換言すれば地下水位の変化はこのインパクトの強度と持続時間の応答としてとらえることができる。そしてこの場合、その変化の様態は地下水の賦存状態や涵養機構を強力に反映しているはずであるから、地下水の実態を把握するための有力な情報を提供するはずである。

ここで地下水の実態をもっともよくキャッチしうるのは、地中水体に生じた水位低下という“ひずみ”を補償するかたちで進行する水位回復の段階であろう。そしてその段階は大きくつぎの3つに区分される。

- i. 帯水層の弾性的性質に支配される段階。
- ii. 絞り出しあるいは漏水涵養等の垂直方向の涵養が誘発される段階で、はじめは局部的な現象として生じ、ついでその影響が拡大してゆく。
- iii. 地下水域あるいは地下水盆内の一部に生じた地下水低下域というやや拡がりをもった局地的なひずみ域を補償するかたちの誘発的地下水流動の段階

これらの各ステージは段階的にそれぞれ単独に進行するというよりは漸移的であって、ある部分では重複し、並列的に進行しているものと思われるが、長期間にわたる連続揚水あるいはくりかえし揚水の強度によっては非可逆的な性格も有する。たとえば帯水層の弾性的性質の低下や、しぼり出し補給量の低下などがそれである。

本論では上記各ステージのうち ii と iii についてのべたものである。ii. については年間での水位変化の振幅が減少し、かつ一定揚水量当りの水位降下量の増大からしぼり出し補給の能力が低下し、現在は上層部から下層部への漏水補給が進行していることを帯水層の層準別の水位差の分布や深度をかえた水位観測記録から推定した。iii. については東京都心部や武蔵野台地中央部で認められた地下水面の凹部が周辺地域からの誘発的地下水流動によって上昇を続けていることを長期的地下水位変化記録により推定した。

これらの段階で外部からの正味の涵養が加わっているかどうかは明確に結論出来ないが、少なくとも多摩川沿岸地域では河川流量観測の結果か

ら、表流の地下への転化が行なわれていると判断してよい。

(2) あとがき

本論文でははじめにのべたように地下水位の観測という間接的な手段によって、地下水の挙動を明らかにしようとしたもので、たとえていえば、脈搏によって人の健康を診断するのにたとえられる。これは医学の進歩した今日でも重要な診療の基本であるのと同様に地下水学の分野でも地下水の実態を探る上できわめて重要な事項といえる。このわかりきったことが意外におろそかにされているのではないかという気がする。これは地下水を研究する側にも、地下水をとり扱う行政側についてもいえることで充分意を留めなければならぬ点といえる。

本調査を実施するにあたっては東京都公害局特殊公害課の職員の方々をはじめ、関係市町役場水道部、課の方々から多くの御便宜を計っていただいた。また現地調査にあたっては東洋大学工学部土木工学科の学生諸君の御協力をいただいた。ここに以上の方々に対して厚く御礼申し上げる。

注

- 1) 新藤静夫(1968, 1970)
- 2) 佐々木 実, 橋本 稔(1958), 蔵田延男(1964, 1965), 新藤静夫(1968)等
- 3) 昭和52年8月, 11月, 昭和53年3月に実施した。
- 4) ここでは上総層群, 東京層群という単位で考察を進めている。
- 5) 表示の程度の差の範囲内では, 水位は深層部の影響を強くあらわすという前提がある。
- 6) 不圧地下水位ともいいうるが, ここでは定義通りの区分をせず, 表層部の地下水といった軽い意味で呼んでいる。このようなタイプは井戸の深さが大きくてもストレーナーが浅いところに設置してあるものによくみられる。
- 7) 上述の浅層地下水位と, つぎの深層地下水位の中間的なパターンを示すという意味である。
- 8) 主として漏水補給のかたちで行なわれるものと考えられる。
- 9) 直径30cm, 高さ30cmの鉄製の円筒を使用。

- 10) 各層の厚さ、配列は種々の組合せで行なったが、この図では全部10cmの厚さである。なお実験は全層が完全飽和の状態になってからスタートした。
- 11) 荷重は重錘により与え、試料と円筒の間はグリスを塗付し、摩擦を低減させた。
- 12) 東京層群と上総層群の比較では前者の方が粘土質である。
- 13) 夏期における最低水位をベースとして、それ以前の水位との差を a 、以後の水位との差を b とし、 $\frac{b}{a} \times 100$ によってあらわした。
- 14) このあたりの様子は第8図、第10図からも読みとれる。
- 15) 昭和52年については8月から翌年の1月までの毎月の地下水水面図を画いた。

参考文献

- 遠藤 毅(1978)：東京都付近の地下に分布する第四系の層序と地質構造。地質雑, 84, 9, 505-520.
- 新藤静夫(1968)：武蔵野台地の水文地質。地学雑, 77, 4, 223-246.
- (1970)：武蔵野台地の地下地質。地学雑, 78, 7, 449-470.
- (1970)：被圧地下水の補給機構に関する研究。東洋大学工学部研究報告, 6, 9-19.
- (1972)：南関東の地下水, 土と基礎, 20, 5, 25-36.
- (1976)：南関東地域の地下水利用と地盤沈下。地学雑, 85, 2, 81-108.
- 東京都(1970)～(1976)：東京都地下水利用実態調査報告書。
- (1971)～(1977)：地盤沈下観測成果。
(1980年2月1日受理)