六郷扇状地における池を用いた地下水人工涵養の実験

肥田 登*・石川悦郎**・太田由紀子***

Experimental Study of Basin Artificial Recharge of Ground Water in Rokugo Alluvial Fan, Northern Japan

Noboru HIDA*, Etsuro ISHIKAWA** and Yukiko OHTA***

Abstract

The Rokugo alluvial fan lies around 39°25'N and 140°34'E in northern Japan. The distance between the proximal fan on 90m above sea level and the distal fan on 45m is about 4km. Artificial recharge of unconfined ground water using basin method was tested in a period from April 13 to 27, 1998. The basin was constructed on the central part of the fan, and has 1,045m² bottom area and 3m depth. Aquifer of the fan consists mainly of gravel, of which hydraulic conductivity is in order of 10⁰~10⁻²cm/sec and specific yield is over 20%.

We obtained the following results through the test. 1. During the test period, average water supply recorded 71.2 ℓ/sec, and average infiltration amounted to 24.5cm/hour. 2. At one of the observation wells, 480m apart from the basin, ground water level began rising two days after, and the maximum ground water level appeared 11 days after the beginning of the recharge. Difference of the ground water level for the nine days was 1.40m. 3. Ground water mound was formed under the basin during the recharge test. 4. In area of west and northwest direction of the recharge basin, water table was raised due to the formation of the ground water mound. Although ground water level at the Kotohira observation well goes down usually in April, it moved almost same level during the test period. 5. Effects associated with ground water level conservation ranges to the toe of the

---

* 秋田大学教育文化学部
Faculty of Education and Human Studies, Akita University
** 秋田県六郷町企画課
Planning Section, Rokugo Machi, Akita Prefecture
*** 秋田大学大学院教育学研究科
Graduate Student, School of Education, Akita University

fan. Ground water is discharged from the belt of water springs situated on the toe.

Key Words: Artificial Recharge, Ground Water, Ground Water Mound, Water Table, Alluvial Fan

要 旨

六郷扇状地は、 $39^{\circ}25'N$ 、 $140^{\circ}34'E$ の周辺にある。標高90mの扇頂と標高45mの扇端との間は約4kmである。ここで池を用いた地下水人工涵養の実験を実施した。期間は、1998年4月13日から4月27日までの14日間である。涵養池は扇中央に設置した。池底の面積は $1,045m^2$ 、深さは3mである。扇状地の帯水層は主に砂礫から成り、透水係数は $10^0 \sim 10^2 cm/sec$ のオーダーにあり、比産出率は20%強である。

本実験の結果、つぎの点が明らかにされた。1. 涵養期間中の池への平均給水量は、 $71.2 l/秒$ 、この間の池底からの平均浸透速度は、 $24.5 cm/時$ であった。2. 涵養池から480m下流の観測井では、給水を開始後2日めより地下水位は上昇を始め、同11日めに最高水位を記録した。この間の水位の上昇高は、1.40mであった。3. 涵養を実施している間、涵養池の下部には地下水堆が形成された。4. 地下水堆の形成により、涵養池の西～北西方向の一帯において、地下水面は上昇した。扇端にある琴平観測井の4月の地下水位は、平年的には低下するが、人工涵養を実施することによって一定の高さを推移した。5. 人工涵養により地下水位の保全を図れる範囲は、扇端の湧泉帯までである。地下水は、この湧泉帯から流出する。

キーワード：人工涵養、地下水、地下水堆、地下水面、扇状地

1. はしがき

地下水人工涵養は、地下水位の低下の防止あるいは汚水の浄化など、いわゆる地下水の強化・保全策として有効に機能する(BMI, 1985; O'Hare, *et al.*, 1986; 建設省, 1988; Schmidt, 1994; 肥田, 1994; 栗城, 1997)。わが国においてもその有効性はすでに指摘され(山本, 1958)、実施例は決して多いとはいえないが、いくつかの研究成果は報告されている(長瀬, 1982; 全地対, 1985; Hiyama, *et al.*, 1989)。筆者らも秋田県六郷扇状地において地下水人工涵養の研究に従事しており、小論はその成果の一端である。

六郷扇状地の不圧地下水(以下、地下水と記す)の水位は一定の年変化をくり返す。高水位は、水

田のかんがい期間中と融雪期に現れ、低水位は、非かんがい期に現れる。年間を通して水位が最も低下するのは、冬季間にあって積雪の深さがピークに達する1月中旬から2月中旬にかけてであり、これに次いで、扇状地上の融雪が終了する4月上旬とかんがいによって水位が上昇に転化する5月上旬との間で水位は一時的に低下する(肥田, 1990, p.112)。

六郷町の市街地は六郷扇状地の扇端に位置し、ここに住む約7,000の人びとは各々の世帯ごとに自家用の井戸を掘り、地下水を生活用水源に当てている。市街地の人びとにとっては、上記の、年間を通して現れる2回の低水位時が凌げれば、より安定した地下水の確保と利用が保証される。この観点から、六郷扇状地においては地下水の強化

を図るために、即効性が期待される地下水の人工涵養を導入した。水位が最も低下する積雪時における人工涵養はすでに試みた(Hida, 1989; 肥田, 1997)。

今回は、融雪の終了後に現れる一時的な地下水位の低下時に焦点を絞り、この間の地下水面の上昇ないしは低下防止を意図して、池を用いた地下水人工涵養の実験を実施した。涵養開始から終了までの実験の期間は、1998年4月13日(14:00)から4月27日(14:00)までの14日間である。

実験の目的は次の点にある。第1に、涵養池からの浸透量を測る。第2に、人工涵養により地下水位がどのように形成されるのか、また、地下水面を上昇させる範囲、さらに上昇にまでは及ばないにせよ、地下水面の低下を防ぐことのできる範囲はどのように広がるのかを明らかにする。後者については、人工涵養の実施期間中および実施前後の地下水面の変動を追跡することによって確かめる。

2. 六郷扇状地の水文環境

横手盆地のほぼ中央部に位置する六郷扇状地とは、奥羽山脈から流れ出す丸子川が発達させた完新世の複合扇状地であり、更新世の古期扇状地の上に発達した新时期扇状地を指す。東側の扇頂から西側の扇端に向かって開く、東西約4 km、南北約5.5 kmの半円錐形の形状は典型的な扇形を呈している。標高は、扇頂で約90 m、扇端で45~50 m、扇央部で65 m 付近である。扇状地の中央は、北緯39°25'、東経140°34'の周辺にある。

新时期および古期扇状地の堆積物は、主に礫~砂礫の層から成る。礫径は概して大きく、径20~30 cmの巨礫の混じる層が随所に現れる。粘土層も挟まれるが、連続性は無い。ここで、古期扇状地堆積物の下位にある鮮新世の千屋層を扇状地の基盤とすれば、新时期と古期をあわせた扇状地堆積物の厚さは、既存のボーリング柱状図によると、扇状地の南端で50 m、西端で70 m、東端で107 mに達する。また、上に記した扇状地の中央の位置において100 m 深のボーリング調査を行った。その結果、この地点の100 mの深さまでの地層は、礫~砂礫から成る扇状地堆積物であることが判明した。

六郷扇状地の帯水層の飽和透水係数は、 $10^0 \sim$

10^2 cm/sec のオーダーにある。比産出率は20%強である。

扇頂~扇央部は地下水の涵養域、扇端部は湧泉帯となる。扇央部で涵養された地下水が扇端部で湧出する流れの存在は、扇央~扇端間の水理ポテンシャルの鉛直分布にも現れる。湧泉は大小合わせて60余か所を数え、そのほとんどは標高45~50 mの間にあって南北の方向に並ぶ。多くは地下水位の高い時期に湧出する一時泉である。

地下水位は、季節によって変動するが、扇頂部で4~5 m 深、扇央部で7~9 m 深、扇端部で3~4 m 深程度である。

涵養域に当たる扇状地面は、土地利用の点では圧倒的に水田が多く、全面積の約70%に達する。年平均の降水量は1,800 mm、積雪の深さは最大で130~150 cm である。

3. 池による地下水人工涵養の実施

3.1 池の位置の選定

涵養池を設営した位置は、次の理由から、扇央部のやや北寄りの北緯39°25'25"、東経140°34'08"、標高62 mに定めた。

第1に、扇面の涵養域の中で、地下水面の変動幅の最も大きい扇央部に置く。扇央部の地下水面の上昇は下方に波及して扇端部の地下水面を上昇させることが水理ポテンシャルに関する観測により経験的に知られているからである(肥田, 1990, pp.167~182)。

第2に、六郷扇状地内の地下水は、地下水面の高低にかかわらず一般に扇面の最大傾斜の方向に流れている。このことから、涵養池を扇央部のやや北寄りに置くことにより、扇端・市街地の北寄りの一帯の地下水面を上昇させること、ないしは低下を防止することが期待される。

第3に、扇央部のやや北寄りの位置を選んだのは、市街地の中心部に流れこむ地下水の流線上に、すでに別の涵養池が設営されているからである¹⁾。

第4に、涵養池に供給する源泉には、水田かんがいの排水路の水を当てることとした。このことから、上の3点に加えて池の用地をかんがい排水路に接する場所を選んだ。

3.2 涵養池の設営、構造

涵養池の用地：六郷町が25aの水田を買い上げ、ここに涵養池を設営した。池の造成は、1998年3月下旬～4月初旬に行った。

涵養池の構造：形状は図1に示すとおりである。池底の面積は1,045m²、ノリ面を含めた池の総面積は1,896m²、池の深さは、給水口のある東寄りでは2.8m、そのほかでは3.0mとした。池は、底、ノリ面ともに素掘りの状態であり、扇状地の礫～砂礫の層が露出している(写真1-a)。かんがい排水路(幅60cm、深50cm)は池の東側にあり、この排水路から涵養池に水を引くための取り入れ口と用水路(幅45cm、深30cm、長さ9.8m)は池の南東部にとり付けた(写真1-b)。

地質：涵養池を設営した位置の地層は、典型的な扇状地の完新世堆積物である。水田の表土は20cm、それ以深3.0mの深さまでは、主として礫層から成る。礫径は、平均して10～12cm、大きいもので25cm程である。深さ3.0mまでの間に粘土層は現れない。

人工涵養に使う源水：源水として使うかんがい

排水路の水は、六郷扇状地の扇頂で取得される丸子川の水であり、年間を通して流れている。排水路の水は前処理を施さずに涵養池に直接流しこむ²⁾。

3.3 観測

給水量の測定：涵養池への給水量は、かんがい排水路から涵養池に水を引くために、池の南東部にとり付けた用水路の位置で測定した。流速の測定にはプライス流速計を用いた。観測は、1日3回、6:00、12:00、18:00に実施した。

地下水位の観測：地下水面の変動を追跡するために、地下水位の観測を行った。観測には、自記水位計付きの観測井(扇端部の琴平、米町、上町の3地点にある)と扇央～扇端部に設置されている17地点の測水用の観測井を用いた。このほか、涵養池の西方の一带において、6地点の既設の井戸を測水用に加えた。観測地点の位置は図4-1～2に示した。

観測井は、内径65mmの鉄パイプ製であり(写真1-c)、5mより浅い井戸には先端に50cm、5mを超える井戸には先端に100cmのスクリーンを付けてある。観測井、既設井とも、井戸の天端の標高は、水準測量により測定した。

人工涵養にともなう地下水面の変動を追跡するに当たり、使用した観測井は、扇央部においては7～10m程度、扇端部においては3～7m程度の深度の浅いものに限った。既設井の深さもこれに準じた。なぜならば、扇状地堆積物の浅層の不圧帯水層の水利ポテンシャル値をもって地下水面を連続させるためである³⁾。

降水量は、自記雨量計により扇央部において観測した。

4. 人工涵養の結果

4.1 給水量と涵養池の浸透量(図2)

人工涵養を実施した期間中(1998.4.13、14:00～4.27、14:00)の涵養池への給水量は、図2に示すとおりである。給水量の測定は、3-3で述べた方法によった。

給水量は、ほぼ65～80ℓ/秒を推移した。しかし、かんがい排水路の維持管理の都合から、排水路に一時的に多量の水が流れ、その結果、4月19

図1 涵養池の構造、1998年4月

Fig. 1 Structure of artificial recharge basin, April, 1998

(注：池の位置は図4-1～2参照。)

写真1-a,b,c 涵養池の内部と礫層(a)、かんがい排水路からの取水(b)、および測水用の観測井(c)、1998年4月
 Photo 1-a,b,c Inside of the artificial recharge basin and gravel formation(a), water intake from irrigation drainage canal(b), and observation well for ground water level measurement(c), April, 1998

日、6:00と4月22日、18:00の観測において、給水量は120 l/秒台に達した。逆に、24日以降の給水量にはバラツキが生じ、4月25日の給水量は一時的にゼロとなった。これは、農家が代かきなどの準備のために用排水路の管理に手を加え始め、排水路の流量に変動を来すようになったためである。

涵養期間中の池への平均給水量は、44回の観測値の算術平均により、71.2 l/秒となる。

給水を開始して4日め、4月17日、18:00頃から西側一帯の池底に湛水が始まった。以降、一時的に池底の全面に湛水の状態が現れたが、給水を停止する時点まで、湛水の状態が継続したのは、底全体のおおよそ1/2程度の西側の範囲に限られた。

いま、71.2 l/秒の水が、面積1,045m²の池底から一様に浸透したとすれば、涵養期間中の池底からの平均浸透速度は、24.5cm/時となる。湛水が始まる以前の浸透速度は、言うまでもなくこの値よりも大きい。上の値は、これまでに行った六郷扇状地における浸透実験の結果に照らしても順当な値である(肥田、1987)。

4.2 地下水位の変動

人工涵養の実施期間中および終了5日後までの地下水位はどのように変動したのか、涵養池の位置から西方に開く一帯から4地点の観測井の記録を選び図3に例示した。4地点の観測井には2から5までの番号を付し、所在地を図4-1~2に示した。涵養池に比較的近い位置の例として2と3を採り、市街地の中央部に比較的近い位置の例として4と5を採った。涵養池に最も近い観測井1については、井戸の深度が浅く地下水位の変動が連続して記録されなかったので、図3には示さなかった。また、終了5日後までとしたのは、その後の5月6日ころから、水田かんがいの影響による地下水位の上昇の兆候が所により現れるようになったからである。

観測井2 (39°25'26"N, 140°33'55"E、天端標高61.66m、深さ15.40m): 1998年の場合、六郷扇状地の融雪末期における地下水位のピークは3月23日前後に現れ、それ以降の水位は一貫して低下した(図6参照)。給水を開始する以前の測水によると、観測井2の地下水位(標高)は、4月1日(51.41m)、4月10日(50.44m)、4月13日、18:00

図2 涵養池への給水量、1998年4月13日(14:00)～4月27日(14:00)

Fig. 2 Water supply to the artificial recharge basin, April 13 (14:00)～April 27 (14:00), 1998

(注: 黒丸は、測定時点の給水量を示す。)

(50.28m)と低下した。これに対して、給水を開始した翌日4月14日、6:00の記録(50.31m)から水位は上昇に転じた。最高水位は、4月24日、6:00に現れ、51.15mに達した。この間、人工涵養による水位の上昇高は0.87mであった。4月24～25日の給水量の一時的な減少(図2)により、水位はやや下がった。さらに、給水を停止した4月27日以降は、水位は低下を続け、5月2日、18:00には、50.38mにまで下がった。

観測井2における水位の上昇と下降の変動カーブは、次に記す観測井3の変動カーブに比べて緩慢である。観測井2の方が観測井3よりも涵養池に近い位置にあるにもかかわらず、このような違いを呈した理由はかならずしも明確にはできない。考えられることは、観測井2には未使用の既設井をもって当てたので、スクリーンの劣化がすでに進んでいたのか、あるいは、この井戸は観測井3に比べて6mほど深いこと、そして両者とも最先端にスクリーンをとり付けているので、深さの違いによる圧力水頭の違いが現れたことも推測される⁴⁾。

上のような点を考慮し、図4-1～2の地下水面図を作成する際には、深度の浅い観測井から得られた測水の結果のみを採用しており、観測井2の記録は使用していない。

観測井3 (39°25'36"N、140°33'48"E、天端標高58.54m、深さ9.51m): 地下水位が降下する過程

図3 人工涵養の実施期間中および終了後の地下水位の変動、1998年4月13日～5月2日

Fig. 3 Ground water level changes during and after the artificial recharge test, April 13, ~May 2, 1998

(注: 降水量は、扇央部で測定。位置は図4-1～2参照。)

にあつて、観測井3の水位が上昇に転じたのは、給水を開始して2日を経た4月15日からである。4月14日、18:00の水位49.28mは、4月24日、18:00に、最高水位の50.68mにまで達した。この間の水位の上昇高は、1.40mである。4月24～25日の給水量の減少は、4月25日、18:00の記録から一時的な水位降下の現象となって現れる。給水を停止した後の水位は、低下を続け5月2日、18:00には49.52mとなった。

観測井 4 ($39^{\circ}25'13''\text{N}$, $140^{\circ}33'28''\text{E}$ 、天端標高55.89m、深さ9.23m)：涵養池の南西約1kmの位置にある。給水を開始して3日を経た4月16日頃から地下水位は、一日当たり数cmほどの上昇を続け、4月21日、6:00に最高水位48.95mを記録した。給水前の水位と比べて、この時点の水位の上昇高は24cmであった。4月22日以降の水位は数cmの動きを見る程度で推移する。4月28日、12:00から4月30日、6:00にかけて5cmほどの水位の上昇が生じたが、これは、4月28日の前後に観測井4に接する水田に水が入ったことによるものと思われる。

図3に示した3地点の観測井のほかに、さらに観測井1および同5(図4-1～2参照)における水位変動の特徴についてふれておく。

観測井 1 ($39^{\circ}25'27''\text{N}$, $140^{\circ}34'01''\text{E}$ 、天端標高61.42m、深さ8.08m)：この井戸は涵養池に最も近く、池の中心からほぼ西方125mの位置にある。かんがい用に設置された既設の浅井戸である。池に給水を開始した時点の記録は採れなかったが、開始5日後の4月18日、6:00の地下水位は53.37m、4月20日、12:00に最高水位53.77mを記録した。以降、給水量の変動を反映して水位は、10cmほどの変動幅を持って推移した。4月24日、17:00の水位は53.65mとなり、4月27日に給水を停止してから4時間後の測水から水位は経時的に低下した。

観測井 5 ($39^{\circ}25'28''\text{N}$, $140^{\circ}33'22''\text{E}$ 、天端標高52.02m、深さ9.60m)：この井戸は、涵養池の西方にあり市街地の北部に近接する。涵養期間中には、池からほぼ西方に流れる地下水の主要な流れの範囲内にある(図4-2)。涵養池への給水を開始するまでの水位は低下過程にあったが、給水を開始した翌日から低下現象は見られなくなり、水位はほぼ等しい高さで推移するようになった。さらに、涵養期間の後半に入ると、水位は給水当初よりも8cm上昇した。観測井5の地点の地下水位が、平年的には水位の低下期にありながら、上に示すような現象を呈したのは、人工涵養によって形成された地下水堆(後述、図4-2および図5を参照)の影響を受けながら、水位の低下を防ぐ効果を現したものである。この点は、後の4-4で述べる琴平観測井の水位変動の特性に類似して

いる。なお、扇端域にある観測井5および琴平観測井の両地点とも、4月の内に水田かんがいの影響のもとで、水位の上昇を来すことはなく(太田、1997)、扇端に分布する湧泉群の影響のもとで、水位の降下を抑制ないし上昇させることはない(佐藤、1998)。

地下水人工涵養の実験を実施した、1998年4月13日(14:00)から4月27日(14:00)までの14日間の総降水量は、扇中央部の観測の結果によると、37mmであった。降水の時間分布は、給水を開始した当初の4月13日～15日に22mm、さらに間を置いて、給水を停止するまぎわの4月23日～25日に15mmである(図3)。日最大の降水量は、4月24日の13mmであった。日量13mmの降水は、地表面から数mの浅い位置にある、扇端部の地下水位の上昇に対しては若干の影響を及ぼしているが(図6の上町)、扇中央に近い、涵養池の西方一帯の地下水位に変動を及ぼすほどのものではない。

4.3 地下水面の変動

地下水面図(図4-1～2)は、地下水人工涵養の実験を行っている期間中およびその前後を対象に、涵養池の西方一帯から市街地を含めた範囲において4回の一斉測水を行い、各時点の測水の結果に基づいて作成した。各時点の地下水面図は、以下に示す。また、4回のそれぞれの時点は、地下水位の変動と照合できるように図3にも示した。

図4-1～2の地下水面図を作成するに当たり、次の点が前提となっている。第1に、先の4-2で記した理由により、測水の結果は、深度の浅い観測井から得られた記録に限った。また、観測井2の測水の結果は採用していない。

第2に、測水に用いた観測地点は、4回の各時点とも一致しているとは限らない。そのために、地下水面図上で等ポテンシャル線の描ける範囲が測水の時点によって異なることがある。給水を実施している間の測水に際しては、池の近くと池の西方一帯など、人工涵養によって水位変動が及ぶと思われる範囲の観測地点に重点を置いた。

第3に、涵養池のある位置の地表面の標高は、測量の結果、62.65mである。人工涵養を実施している間の池の位置の地下水位(ここでは、地表

図 4-1 人工涵養の実施前後の地下水面図、1998年 4月13日および 5月 2日

Fig. 4-1 Equipotential lines before and after the artificial recharge test, April 13, and May 2, 1998

(注：観測井の一斉測水に基づいて作成。)

から地下水面までの深度)は、観測井 1 の地下水位(同)よりも深いことはあり得ない。したがって、仮に池の位置の水位が観測井 1 の水位と等しい深さとするれば、すでに得られている観測井 1 の天端標高と測水の結果とから、池の位置の地下水面は、4月20日、12:00において、少なくとも55.0m、4月24日、17:00において、少なくとも54.88mと算定される。図 4-1～2 の作成には、これらの値を採用した。

4.3.1 給水開始直前(4月13日、12:00)の地下水面(図 4-1)

六郷町の市街地、特に北部に流れ込む地下水は、おおむね扇央から扇端に向かって東南東から北西西の方向に流れる。測水を実施した範囲内においては、等ポテンシャル線の分布から見て、北側よりも南側において地下水面は高い。

等ポテンシャル線で46～48mの間の動水勾配は、北側で 4.4×10^{-3} ほど、南側で 5.7×10^{-3} ほどで

あり、南側でやや大きい。一方、44～46m間の動水勾配は、南側でやや小さい。

4.3.2 給水開始1週間後(4月20日、12:00)の地下水面(図 4-2)

涵養池の下部に円錐形に類した地下水堆が形成される。地下水堆の頂点は、先に記したとおり、少なくとも標高55mには達する。地下水堆が形成される経過は、図 3 の地下水位の変動と対応する。地下水堆の形成にともない、涵養池の西方にある48m、50mの等ポテンシャル線は、給水開始直前のそれぞれの値の位置よりも西～北西側に張り出した。

このほか、46mの等ポテンシャル線の位置は、給水開始直前に比べて、涵養池の西方にある琴平観測井の地点においては、ほとんど動いていないが、市街地の南側においてはやや南東方向へ後退した。この頃、市街地の南側において地下水面が後退するのは、平年の現象である。また、44m

図 4-2 人工涵養実施中の地下水面図、1998年 4 月 20 日および 4 月 24 日

Fig. 4-2 Equipotential lines during the artificial recharge test, April 20, and April 24, 1998

(注：観測井の一斉測水に基づいて作成。)

よりも低い等ポテンシャル線は、湧泉帯あるいはそれよりも標高の低い西側にあるため、給水開始直前とほぼ同じ位置にある。

4.3.3 給水中の最高水位時(4月24日、12:00)の地下水面(図 4-2)

ここに示す地下水面図は、涵養池の西方一帯の地下水位が最も高まった時のものである。最高水位時とは言え、涵養池の下部に形成されている地下水堆の頂点は、4月20日よりやや下がり、54m 台となる。これは、24日に入ってから池への給水量の減少が(図 2)、同日の地下水堆の頂点を直ちに低下させたからである。しかし、24日以前に形成された地下水堆が平衡状態にもどる過程で、池の西側の 48m、50m、52m の等ポテンシャル線の位置は、わずかながら、20日の各等ポテンシャル線の位置よりも西～北西側に移動した。

さらに、46m の等ポテンシャル線は、琴平観測井の地点においては20日の時点と変わらないが、

市街地の南側において20日の時点よりやや東方に後退している。東方への若干の後退は、42m、44m の等ポテンシャル線にも見られる。これは平年の地下水位の低下によるものである。

4.3.4 給水停止5日後(5月2日、17:00)の地下水面(図 4-1)

地下水面の広がり、全般的にはほぼ給水開始直前(4月13日)の状態にもどった。

ただし、涵養池の北西側、48m、50m、52m の等ポテンシャル線は、給水を始める直前の位置よりも西側にあり、人工涵養の影響が残っている。琴平観測井の地下水面は、直前の高さにもどった。

これに対し、42m、44m、46m の等ポテンシャル線は、市街地の南側に移るにしたがい、給水を始める直前の位置よりも東側に後退した。この後退は、融雪末期からかんがい初期の間にあつて、六郷扇状地の地下水が低水位化する平年の現象を呈しているものである。

図5 琴平観測井から涵養池への間の地下水面縦断面の経時変化、1998年4月13日～5月2日

Fig. 5 Changes of longitudinal profile of equipotential lines between the Kotohira observation well and the artificial recharge basin, April 13, ~ May 2, 1998

(注：1. 図4-1～2および測水の結果より作成。2. 琴平観測井、涵養池の位置は、図4-1～2を参照。)

人工涵養の効果はこの一帯にまでは及んでいない。

4.3.5 地下水面の縦断面

上の4回の時点(4-3-1～4)の地下水面図から琴平観測井と涵養池の間の地下水面の縦断面を作成し、人工涵養に伴う、地下水面の経時変化を追認した(図5)。

すなわち、給水を開始することにより、地下水面は高まり、地下水堆の形成が認められる。時間を置いて、地下水面の上昇は標高の低い位置に移る。地下水面は、給水を停止した後、直ちにもとの高さには戻らない。

4.4 涵養効果の及ぶ範囲

今回の人工涵養実験の実施により、地下水位の強化という点から涵養効果の及ぶ範囲はどのように設定されるのか。池の西方の一帯の範囲に限って言えば、結果として、涵養池よりその西方に向けては50mの等高線の位置までと設定してよい。

理由を挙げる。第1に、琴平観測井より東側、涵養池までの地下水面は上昇した。第2に、平常的には、琴平観測井の地点の水位は低下する時期

図6 琴平、米町、上町の各観測井の地下水位の経時変化、1998年3月1日～5月31日

Fig. 6 Changes of ground water level at the Kotohira, Komemachi and Uemachi observation wells, March 1, ~ May 31, 1998

(注：1. 各観測井の記録より作成。2. 米町観測井の4月8日～5月4日は欠測。この間、測水によって得られた4回の水位を黒丸で補った。3. 降水量は、扇状地で測定。位置は図4-1～2参照。)

であるにもかかわらず、涵養期間中、同地点の水位は、低下することなく、ほぼ横ばいの状態を維持した(図6)。一方、市街地の中央部にある、米町、上町の観測井地点の水位は、例年どおり低下した(図6)。両地点とも、涵養中に生じた地下水の主要な流れの範囲から外れている。第3に、扇端の標高45～50mの間は、湧泉帯にあたり、扇状地の地下水は高水位の時期にあっても、この湧泉帯において流出する⁵⁾。

5. 結び

秋田県六郷扇状地において、融雪の終了後に現れる一時的な地下水位の低下時に的を絞り、池底の面積1,045m²の涵養池を用いて、地下水人工涵養の実験を実施した。池への給水の期間は、1998年4月13日(14:00)から4月27日(14:00)までの14日間である。

実験の結果は、すでに述べたとおり、涵養池からの浸透量、地下水堆の形成、地下水面を上昇させる範囲、さらに地下水面の低下を防ぐことのできる範囲の確認などの点において一定の成果をおさめることができた。

今後は、旧河道の帯水層構造などを含めた扇状地全般の水理特性に関する考察はもとより、今回の成果を踏まえながら、さらに新たな実験を重ね、源水の前処理、池を長期間にわたって使用する方法、池の管理に要する費用などについて検討を加える。最終的には、今回使用した池を、六郷扇状地の地下水強化を図った実用的な涵養池として機能させる。

謝辞：本研究は、六郷町の協力のもとで行っている。また、人工涵養に着手した基礎は、文部省科学研究費(1991~93年度、課題番号：03680207)および東北農政局(計画部資源課)からの受託研究(1993~95年度)などによるところが大きい。記して関係機関と各位に深謝申し上げる。

注

- 1) 六郷町には、池1(1991年造成)、池2(1992年造成、1996年拡張)があり、積雪時の地下水位の低下を防ぐために主に冬季間に稼働させる。これらの池を用いた人工涵養の実験結果については別の機会に取り上げたい。
- 2) 今回の実験に際して、人工涵養の源水および実験にかかわる期間の地下水の水質分析は行わなかった。なお、今回使用した排水路と同一の水路網の水の水質分析は別の機会に行った(肥田、1990、p.171)。
- 3) 深度の異なるピエゾメータ(最深100m)による観測によると、六郷扇状地の帯水層における深度別の水理ポテンシャル差は、涵養域である扇央において大きく、湧出域である扇端において小さい。
- 4) ピエゾメータの観測地に基づき、均一の帯水層にあって深度と圧力水頭がどのように異なるのかについての考察は別の機会にとり上げたい。
- 5) 扇端部にあって、湧泉帯よりも西側の地下水面は、年間を通して湧泉帯の東側の地下水位の高低に大きく影響されない。

参考文献

太田由紀子(1997)：扇央から扇端間における地下水位変動の相関—秋田県六郷扇状地を事例として—, 秋大地理、44、15~20。

- 栗城 稔(1997)：「雨水浸透と地下水涵養」6. 人工涵養の技術。地下水学会誌、39-1、33~41。
- 建設省河川局河川計画課・編(1988)：『地下水人工涵養の現況と課題』山海堂、260p。
- 佐藤淳悦(1998)：秋田県六郷扇状地における地下水位と湧出量の年変化。秋大地理、45、27~32。
- 全地対：全国地下水利用対策団体連合会(1985)：山形市の地下水保全への対応。天の水地の水、73、33~36。
- 長瀬和雄(1982)：秦野盆地の地下水と地下水の人工涵養。地下水と井戸とポンプ、1987-12、18~25。
- 肥田 登(1987)：秋田県六郷扇状地における池を用いた浸透実験。日本地下水学会誌、29-1、19~25。
- 肥田 登(1990)：『扇状地の地下水管理』古今書院、263p。
- 肥田 登(1994)：地下水人工涵養研究の展望。『地下水問題この10年とその将来展望』日本地下水学会(編)、117~121。
- 肥田 登(1997)：水循環と地下水人工涵養。『シンポジウム水循環』講演要旨集、日本学術会議陸水研連・水資源研連、47~52。
- 山本莊毅(1958)：地下水の人工涵養。水利科学、2-1、62~68。
- BMI: Bundesminister des Innern(1985)：Künstliche Grundwasseranreicherung. E. Schmidt, Berlin, 559s。
- Hida, N.(1989)：Artificial recharge of ground water via paddy fields in an alluvial fan, Northern Japan. Johnson, A.I. and D.J. Finlyson(eds.): *Artificial Recharge of Ground Water*. ASCE, New York, 567-573。
- Hiyama, T., K. Katsuragi, M. Suzuki and I. Shida (1989)：Experimental studies of artificial recharge of ground water in Yamagata City, Japan. Johnson, A.I. and D.J. Finlyson (eds.): *Artificial Recharge of Ground Water*. ASCE, New York, 574-581。
- O'Hare, M.P., D.M. Fairchild, P.A. Hajali and L.W. Canter (1986)：*Artificial Recharge of Ground Water*. Univ. of Oklahoma, 419p。
- Schmidt, W.-D.(1994)：Stand der künstlichen Grundwasseranreicherung in Deutschland. *gwf-Wasser/Abwasser*, 135-5, 273-280。

(受付：1998年7月21日、受理：1998年11月27日)