

# 湖水面などの変化に起因する自由地下水の 水位変動の解析に関する研究

ANALYSIS OF THE VARIATION OF UNCONFINED GROUND-WATER LEVEL  
DUE TO THE CHANGE OF WATER LEVEL IN A SURFACE RESERVOIR

松尾新一郎\*・河野伊一郎\*\*

By Shin-ichiro Matsuo and Ichiro Kohno

**要 旨** 本報告は、広域の地下水を対象として、湖水面などの変化に起因する自由地下水の水位変動の解析法とその適用例を示したものである。従来、境界条件の取り扱いが困難なため、ほとんど手のつけられなかった広域にわたる地下水位変動の定量的解析を“準深”の導入と差分解析法とによって可能ならしめた。

地層構成の複雑な沖積平野などにおいては広域にわたって透水層厚さ、透水係数、あるいは地下水流の方向を連続して調査できないために地下水の挙動を適確に考察することは不可能であり、また数箇所での揚水試験、水位観測を行なっても地下水の大勢をは握することは困難である。したがって、広域の地下水の研究にあつては、巨視的な取り扱いと特別な解析手段とによって大局的な立場から調査、検討することが望ましい。

そこで、広域の地下水の水位変動に対して、透水容量ともいふべき“準深”の概念を導入して地下水位変動の解析を試みた。すなわち、透水層厚さ、透水係数、および地下水流量の各要素の変化を“準深”なる唯一の変化でおきかえ、数値解法と図解法によって解析するのが特徴である。その結果、地下水位を測定し、1縦断については任意の1地点で透水層厚さがわかれば地下水位変動の解析が可能となった。

## 1. 緒 言

用水問題は、いまや専門技術者や関係業務者の領域をはるかに越えて、産業界のみならず日常生活にいたる社会的関心事となった。特に地下水は用水としての有利な条件を数多く備えているため、需要増大の傾向が著しく、これまでも過剰揚水によって地下水位の異常低下をきたし、その結果地下水の塩水化、井戸の涸渇、ひいては地盤沈下にいたるへい害の積み重ねを体験してきた。1956年に「工業用水法」が制定され、地盤沈下が特に著しい地域で揚水制限がなされているが、合理的な利用法、十分な管理法が規制されたのではない。

また、土木工事の多くは地下水の処理いかんによって施工の安全性や能率が支配され、地下水面以下の掘削による地下水位低下や表面貯留水の水面低下、上昇は周辺

地域の地下水に波及し、種々の問題を生ぜしめる。しかし影響の程度と範囲の予測が困難なため、事後処置の場合も多い。1959年には「地下水調査作業準則」が国土調査法に基づいて制定されたが、問題を解決する根本的な指針は見当たらない。こうした原因は広域にわたる地下水（以後、広域地下水という）の性状のは握のむずかしさにあるとって過言ではない。

一方、地下水に関する研究は局所的な地下水において顕著であつて、広域地下水の研究は比較的少なく、特に定量的に取り扱ったものは決して十分とはいえない。しかし急増する地下水需要、あるいは過剰揚水や土木工事にともなう地下水位低下による諸害に対処するため、地下水の取り扱い方法に関する画期的な研究が要請されている。こうした実情にかんがみ、著者らは広域地下水に関する一連の研究を行なっている<sup>1),2),3),4)</sup>。その内容の特徴は、経験による推定のみによらず系統だった方法に基づき、また透水層厚さや透水係数を論議する立場を離れて個々の要素を包含するような概念の導入と大局的な取り扱いとによって地下水の大勢の究明に努めている。

本報告は湖水面などの変化に起因する周辺地域の地下水位の変動解析を“準深”なる概念を導入して考究し、数値計算と作図解析を用いる方法としてとりまとめたものである。本文では定常流として取り扱う場合を報告し、初期水位から最終水位形を求める場合で途中の変化過程は含んでいない。解析例としてびわ湖湖水面の低下に起因する湖南平野の地下水位低下の解析結果を示す。

## 2. 解 析 法

### (1) 基本的な考え方<sup>5)</sup>

一般の地下水、特に自由地下水の場合は流速がきわめて小さく、Darcyの法則にしたがうものと考えてよい。単位幅あたりの地下水流において Dupuit-Forchheimerの仮定が成立すれば式(1)で表わされる。

$$q = k \cdot i \cdot h \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 $q$ : 単位幅、単位時間あたりの地下水流

$k$ : 透水係数

$i$ : 地下水位勾配

\* 正会員 工博 京都大学教授 工学部土木工学教室

\*\* 正会員 工修 京都大学講師 工学部土木工学教室

† 1956年6月11日 法律146号で公布

†† 1959年10月23日 国土調査法(1951年法律180号)に基づいて総理府令58号として定める。

$h$  : 透水層厚さ

また便宜上, 地下水流の方向を地下水位勾配の負の方向に対応させるものとする (図-1)。

縦断において式 (2) の仮説をたてる。

$$(q/k) = \text{一定} \dots\dots\dots (2)$$

式 (1), (2)

より,  $i \cdot h = \text{一定}$  となる。いま定常流を考えているので縦断の任意のA地点での  $i_a, h_a$  が求めれば  $(q/k)_a = i_a \cdot h_a$  によって一定値  $(q/k)$  の値が計算できる。したがって, 他の地点では  $i$  のみを測定して  $h$  を計算によって求めることができる。このように式 (2) の仮説のもとに求めた  $h$  を実際の透水層厚さと区別し“準深”と呼び  $H$  で表わす。

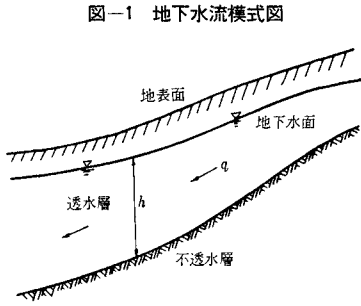


図-1 地下水流模式図

$$H = (q/k)_a \cdot \frac{1}{i} \dots\dots\dots (3)$$

準深  $H$  の変化がわかれば式 (2) の仮説のもと, 変化後の地下水位勾配が式 (4) のように求まり, その水位形を階差的に作図して求めることができる。

$$i \pm \Delta i = (q/k)_a \cdot \frac{1}{H \pm \Delta H} \dots\dots\dots (4)$$

ここに,  $\Delta i$ : 地下水位勾配の変化量  
 $\Delta H$ : 準深の変化量

実際に  $\Delta H$  を決めることはできないので, 近似的に地下水位変化量  $\Delta h$  でおきかえる。

$$i \pm \Delta i = (q/k)_a \cdot \frac{1}{H \pm \Delta h} \dots\dots\dots (5)$$

以上の基本的な考え方に基づいて具体的にはつぎの順序で解析する。

(2) 解析の順序

湖水面が変化したために生じる周辺地帯の地下水位変動の解析を例にとって解析の順序を説明する。

i) 地下水流の方向に単位幅の縦断面をとり, 変動前の地下水位形を描く (図-2)。

地下水位等高線図を描き, 等高線と直角方向に縦断面

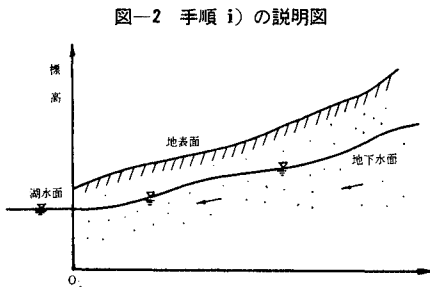
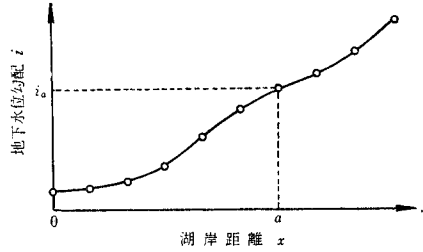


図-2 手順 i) の説明図

をとる方法が最も簡単で便利である。

ii) 地下水位勾配を求める (図-3)。

図-3 手順 ii) の説明図



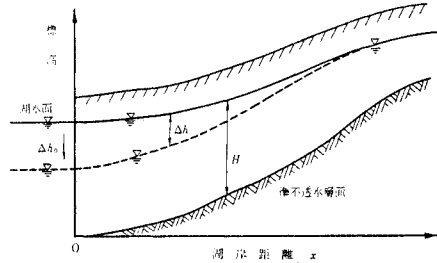
地下水位等高線図, あるいは図-2の地下水位形から容易に地下水位勾配  $i$  を求めることができる。湖岸より上流に向かって測った距離  $x$  (湖岸距離) との関係において図-3のように  $x \sim i$  グラフを描く。

iii)  $(q/k)_a$  の値を決定する。

考えている縦断面の任意のA地点において透水層厚さ  $h_a$ , 地下水位勾配  $i_a$  を測定し,  $(q/k)_a = i_a \cdot h_a$  を計算する。

iv) 準深を求める (図-4)。

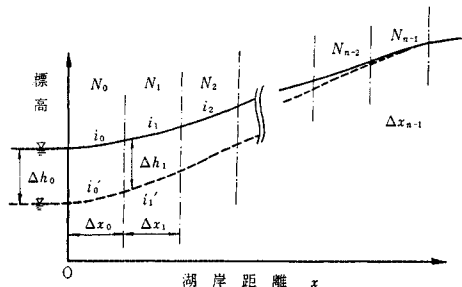
図-4 手順 iv) の説明図



以上の  $i, (q/k)_a$  の値を式 (3) に代入して準深  $H$  を算出する。この準深を透水層厚さと全く同様に取り扱って図-4のように不透水層面に相当する準不透水層面を描く。

v) 変動後の地下水位形を求める (図-5)。

図-5 手順 v) の説明図



1) まず, 図-5に示すように縦断面を適当な微小区間 ( $N_0, N_1, N_2, \dots, N_{n-1}$ ) に分割する。ただし,  $N_0$  は湖岸より出発する区間であり,  $N_{n-1}$  は最上流端に至る区間とする。区間のとり方については 2.(3) で検討す

る。

2) 式(6)によって区間  $N_0$  の地下水位勾配  $i_0'$  ( $j=0$  の場合) を求める。 $\Delta h_0$  は湖水面の変動量である。

$$i_j' = (q/k)_a \cdot \frac{1}{H_j \pm \Delta h_j} \dots\dots\dots (6)$$

( $j=0, 1, 2, \dots, n-1$ )

ここに、 $H_j$ : 区間  $N_j$  の平均準深

$\Delta h_j$ : 区間  $N_j$  の始点における地下水位変動量

$\pm$  符号は地下水位上昇の場合は正、低下の場合を負に対応させる。

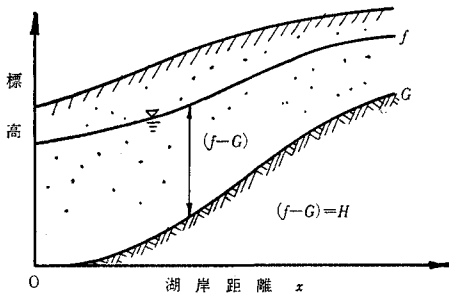
3) 区間  $N_0$  を  $i_0'$  の勾配で地下水位線を描き、区間  $N_1$  の始点(区間  $N_0$  の終点)における  $\Delta h_1$  を図上で読みとる。全く同様に順次上流に向かって地下水位線を描くことによって変動後の地下水位形を求める。

式(3)、(6)より、水位低下の場合には  $i' \geq i$  の関係が成立し、低下後の水位形は上流へ進むにしたがって低下前の水位に漸近する。 $\Delta h$  が要求する精度の限界値以下になればその地点までを地下水位低下の影響範囲とする。

(3) 階差区分のとり方

微分式を差分式におきかえて解析する場合、その区分の大きさと誤差の累積について考察するために式(1)を式(7)で表わす(図-6)。

図-6 説明図



$$q = k \cdot (f-G) \frac{df}{dx} \dots\dots\dots (7)$$

ここに、 $f$ : 地下水位の標高

$G$ : 準不透水層面の標高、すなわち、 $(f-G)$  は準深である。

式(7)の微分式を差分式に近似したときの地下水位の標高を  $F$  とすると式(8)が成立する。

$$F_{j+1} - F_j = (q/k)_a \cdot \frac{\Delta x_j}{(F_j - G_j)} \dots\dots\dots (8)$$

一方、式(7)を展開して式(9)で表わす。

$$f_{j+1} - f_j = (q/k)_a \cdot \frac{\Delta x_j}{(f_j - G_j)} + \frac{(\Delta x_j)^2}{2!} \frac{d^2 f}{dx^2} + \frac{(\Delta x_j)^3}{3!} \frac{d^3 f}{dx^3} + \dots\dots\dots (9)$$

$F - f = \epsilon$  とおくと式(8)、(9)より式(10)の関係

を得る。

$$\epsilon_{j+1} = \epsilon_j \left\{ 1 - (q/k)_a \cdot \frac{\Delta x_j}{(f_j - G_j)(F_j - G_j)} \right\} - (\Delta x_j)^2 \left\{ \frac{1}{2!} \frac{d^2 f}{dx^2} + \frac{\Delta x_j}{3!} \frac{d^3 f}{dx^3} + \dots\dots \right\} \dots (10)$$

式(10)において、

$$\left. \begin{aligned} X_j &= 1 - (q/k)_a \cdot \frac{\Delta x_j}{(f_j - G_j)(F_j - G_j)} \\ Y_j &= \frac{1}{2!} \frac{d^2 f}{dx^2} + \frac{\Delta x_j}{3!} \frac{d^3 f}{dx^3} + \dots\dots \end{aligned} \right\} \dots\dots (11)$$

とおけば式(12)で表わせる。

$$\epsilon_{j+1} = \epsilon_j X_j - (\Delta x_j)^2 Y_j \dots\dots\dots (12)$$

式(10)、(12)は差分式と微分式とによる結果の差  $\epsilon$  についての関係式である。

いま、式(12)において、 $X$ 、 $(\Delta x)^2 Y$  を一定とおくと式(13)となる。

$$\epsilon_{j+1} = \epsilon_0 X^{j+1} - (\Delta x)^2 Y \cdot \frac{1 - X^{j+1}}{1 - X} \dots\dots\dots (13)$$

$1 > X > -1$  を満足するように  $\Delta x$  を選定し、かつ  $(\Delta x)^2 Y$  が無視しうる程度に小さければ式(14)が成立して誤差の累積は生じない。

$$|\epsilon_{j+1}| < |\epsilon_j| \dots\dots\dots (14)$$

$1 > X > -1$  の意味は前段階での誤差 ( $\epsilon_j$ ) が次段階の誤差 ( $\epsilon_{j+1}$ ) を減衰させる効果をもつことを示している。そのためには式(15)の成立が必要である。

$$\Delta x < \frac{2(f-G)^2}{(q/k)_a} \text{ または } \frac{2H^2}{(q/k)_a} \dots\dots\dots (15)$$

一方、 $(q/k)_a = i_a \cdot h_a$  であるから、 $i$ 、 $H$  に変化がない場合を考えると式(16)のように簡単化される。

$$\Delta x < \frac{2H}{i} \dots\dots\dots (16)$$

または、

$$\Delta f < 2H \dots\dots\dots (17)$$

ここに、 $\Delta f$  は区分の始点と終点の地下水位差である。式(16)、(17)は区分  $\Delta x$  の大きさを決める目安となる。

以上より、地下水位勾配が大きく、準深が小さいほど  $\Delta x$  を小さくとらなければならない。しかし式(15)を満足する  $\Delta x$  の値は相当大きなものまで許容されることが推察でき、また  $(\Delta x)^2 Y$  については、 $Y$  が2次以上の微分項であることから十分小さいものと考えてよい。

さらに、 $\Delta x$  の区分で求めた水位線と  $\Delta x/2$  の区分で求めた水位線との差が許容誤差以内におさまるように注意すれば要求する精度を得るのに十分である。たとえば図-7において、それぞれ区分長が(イ)  $\Delta x$ 、(ロ)  $\Delta x/2$ 、(ハ)  $\Delta x/4$  の解析結果の水位形を示しているものとする。(イ)と(ロ)の差は相当大きい(ロ)と(ハ)の差は小さく許容値以内とすれば、少なくとも  $\Delta x/2$  を区分長とすべきである。



図-10 低丁量曲線

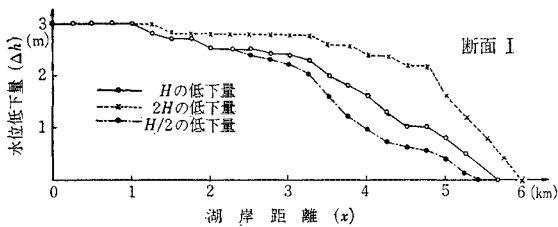
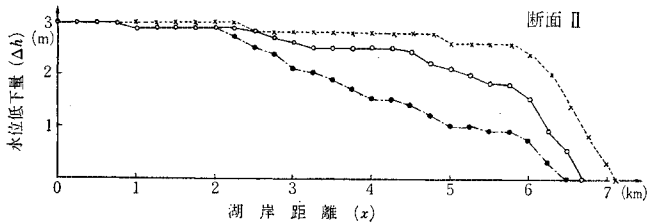


図-11 低下量曲線



で6~7 kmである。

準深が  $H, 2H, H/2$  の場合を比較する目的は  $(q/k)_a$  の誤差, すなわち,  $i_a, h_a$  の測定誤差が解析結果におよぼす影響を検討することである。その結果明らかなように,  $(q/k)_a$  の値を小さくとりすぎると低下量, 影響範囲は過小評価となり, 逆に大きくとりすぎると結果は過大評価となる。しかし同図から, その差は比較的小さく大局的な地下水変動のは握という観点から許容されうるものと考えられる。

#### 4. 検討

##### (1) 仮説の検討

本解析法は, 準深を求める過程において式(2)の仮説  $(q/k = \text{一定})$  を立てているが,  $(q/k)$  が一定でない場合にも適用できて実際上仮説によって解析法の適用範囲が限定されないことが望ましい。以下に示す検討の結果が示すように,  $(q/k)$  の変化がきわめて大きくない限り上記の要望が満足され, 準深を用いて解析することが可能である。

1)  $q, k$  ともに一定, またはその比が一定である場合には, 仮説(2)は実際の地下水流を表わし, 準深はそのまま透水層厚さであり, 式(4)と式(5)は等しくなる。

2) 多くの扇状地, 三角州などにおいては,  $q, k$  ともに変化すると考える方がより一般的である。その変化の状態は上流へすすむにしたがって構成土粒子は粗となり  $k$  は大きくなる。一方, 下流に向けて地下水流が広がっているところから  $q$  は上流が大きく下流で小さいと考えるのが妥当である。以上は定性的ではあるが式(2)の成立の根拠となる考え方であり, 準深の変化の状態は透水層厚さの変化と類似していると考えてよいであろう。

3) しかし, 一般には  $(q/k) \neq \text{一定}$  である。そこで  $(q/k)$  の値を変化させて解析した結果と本解析法の結果, すなわち式(2)の仮説のもとに解析した結果とを比較してみる。

㊸  $(q/k) = \text{一定}$ : 本解析法による場合

㊹  $(q/k) \neq \text{一定}$ : 任意に変化させる場合

同一断面で上記の二者(㊸と㊹)の場合について解析した結果を以下に示す。両者の結果の差は微小であり,

十分許容しうる範囲内であること, すなわち  $(q/k)$  の変化がきわめて大きくない限り, 実際に  $(q/k)$  の値が変化しても式(2)の仮説を用いることが可能である。

3. で示した断面 I, II について解析した結果をそれぞれ 図-12, 図-13 に示す。

断面 I については,

$$\text{㊸ } (q/k) = \frac{4.16}{100} \quad \text{㊹ } (q/k) = \frac{2.08}{100} + \frac{2.08}{400}x \quad (x: \text{km})$$

断面 II については,

$$\text{㊸ } (q/k) = \frac{1.40}{100} \quad \text{㊹ } (q/k) = \frac{0.70}{100} + \frac{0.70}{400}x \quad (x: \text{km})$$

㊹ の関係式は,  $x=0$  (原点) において㊸の値の  $1/2$ ,  $x=4.0 \text{ km}$  (A地点) において㊸の値と等しくなるような直線とした。図-12, 図-13 において破線は㊸, 実線は㊹の場合の結果であり, ㊸と㊹の結果の差は式(4)と式(5)の差によって生ずる。式(2)の仮説は本解析法の適用範囲を厳しく限定するものではなく,  $(q/k)$  の変化が地下水位変動の解析結果に与える影響は小さい。

図-12 仮説の検討のための解析図(断面 I)

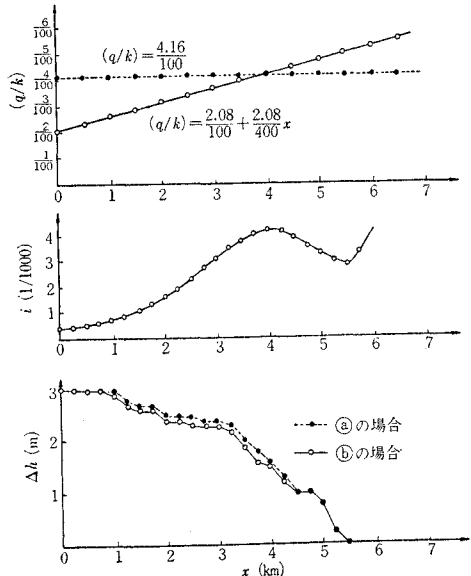
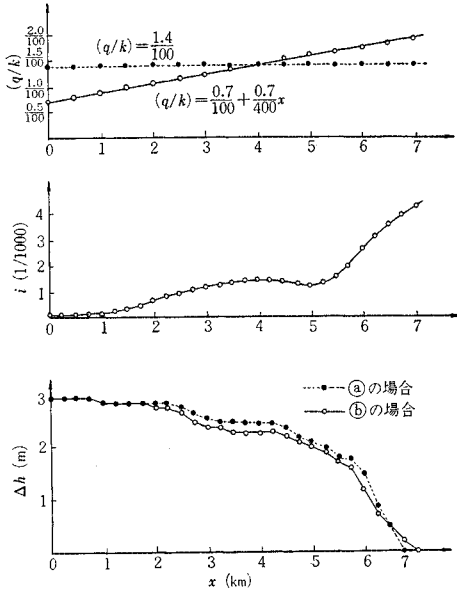


図-13 仮説の検討のための解析図(断面II)



(2)  $(q/k)_a$  の値と誤差

本解析法の特徴は、縦断の一地点においてのみ透水層厚さを知れば、他地点では地下水位を測るだけで水位の低下または上昇の解析ができることである。したがって最も測定容易な地点、あるいは既存データのある地点を基点(A地点)とすればよい。

$(q/k)_a$ , すなわち  $i_a, h_a$  の測定誤差が水位変動の解析結果におよぼす影響についてはすでに 3.

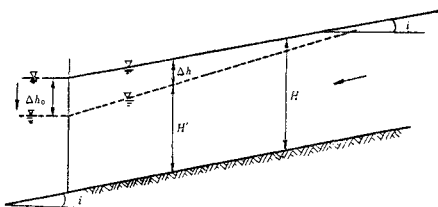
で検討したように、 $(q/k)_a$  の値を実際より大きくとれば影響を過大評価し、逆に小さくとれば過小に算定することになる。しかし、大局的にその差は小さい。

いま、2地点以上で透水層厚さのデータが得られる場合には、 $(q/k)$  を変数として取り扱うことも可能であるが、4. (1) で比較、検討したようにその意義は少ない。むしろ各データを独立に取り扱って解析法を適用し、おのおの解析結果を相互比較し、妥当な地下水位形を決定する方が好ましい。

(3) 準深と地下水位変動量の相関

地下水位低下前の準深  $H$ , 地下水位勾配

図-14 モデル説明図



$i$ , および 地下水位低下量  $\Delta h$  の相関関係について考察するため、図-14 のような模式化した状態での地下水流を考える。

$H, i$  を一定、 $H'$  を低下後の準深 ( $H' = H - \Delta h$ ) とすると、低下後の水位形、あるいは低下量は式 (18) で表わせる。

$$\left. \begin{aligned} (H'_0 - H') + H \ln \frac{H - H'_0}{H - H'} &= i \cdot x \\ \text{または} \\ (\Delta h_0 - \Delta H) + H \ln \frac{\Delta h_0}{\Delta h} &= i \cdot x \end{aligned} \right\} \dots\dots(18)$$

ただし、添字 0 は  $x=0$  の値を示す。

$\Delta h_0/H$  をパラメータとして、 $x$  と  $\Delta h/\Delta h_0$  との関係を図示したものが図-15 である。同図から  $\Delta h_0/H$  の値が比較的小さい場合には、それが地下水位形におよぼす影響は非常に小さいと考える。すなわち  $\Delta h_0$  の値を比較的自由に選んでも地下水位形は縦方向に同縮尺で縮小、あるいは拡大したものとなる。 $\Delta h_0$  が  $\alpha$  倍になれば  $\Delta h$  は  $\alpha$  倍となり、内そう法、あるいは外そう法によって異なった低下量の水位形を推定することが可能である。また、 $\Delta h_0/H$  の値が大きくなるほど上記の一次的な関係は成立しなくなり、 $\Delta h/\Delta h_0$  の値は小さくなる。

横軸の湖岸距離  $x$  の単位は  $(H/i)$  であるから他の条件が同一ならば  $H$  が  $\alpha$  倍になれば、地下水位低下の影響は  $\alpha$  倍の距離に達する。また、 $i$  が  $\alpha$  倍になれば逆に影響圏は  $1/\alpha$  となる。図-16 は、 $i=1/100, H=20\text{m}$

図-15 低下量曲線

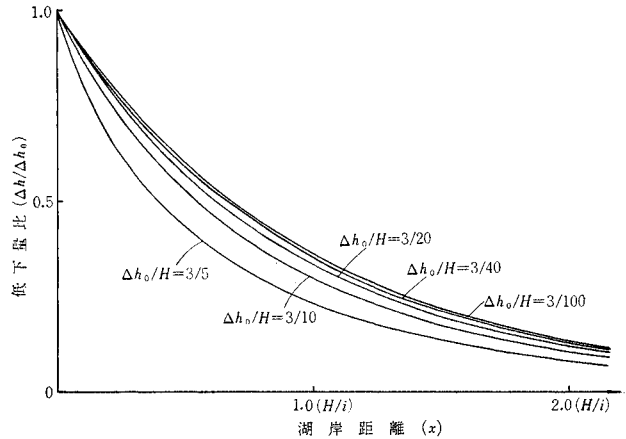
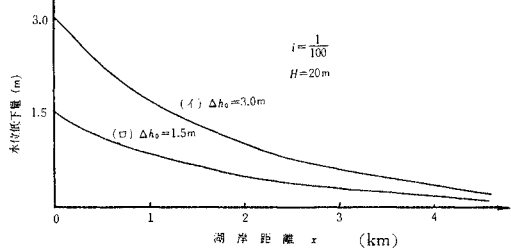


図-16 低下量曲線比較図



で、(イ)  $\Delta h_0=3.0\text{m}$ 、(ロ)  $\Delta h_0=1.5\text{m}$  の低下量曲線の比較図である。

以上より、透水層厚さが小さいほど、地下水位勾配が大きいほど、地下水位低下の影響は小さいこと、また、 $\Delta h_0/H$  の値が比較的小さい場合には  $\Delta h$  を  $\Delta h_0$  と同倍率で縮小、あるいは拡大することによって  $\Delta h'$  に対応する  $\Delta h'$  を近似的に求めうる事がわかる。

## 5. 結 言

湖水面などの変化に起因する自由地下水の水位変動の解析に“準深”の概念を導入し、数値計算、作図解析を行なって定常流としての立場から解析する方法を提案した。

改めて準深を定義すれば、「鉛直方向の透水層厚さと水平方向の水平方向の地下水流の集中、分散の幅の要素を合わせた透水断面に、透水係数の変化の要素を加えた透水容量をあらわす概念」である。

本解析法の利点は、つぎのようである。

(1) 透水層厚さ、透水係数、あるいは地下水流量を全域にわたって調査する必要がなく、縦断の任意の1地点においてのみ透水層厚さを調査し、全域については地下水位を測定して地下水位等高線を描けばよい。

一般にボーリングなどでは透水層と湛水層(地下水を貯留するが流動に参与しない層)の区別ができないが、本法よればその必要がなく、しかも最も単純な地層構成の地点を基点(A地点)として選定できる。

(2) 解析計算はきわめて単純な作業であり、数値解法、図解法を用いるので境界条件によって限定されることはない。

(3) たいていの平坦部では、既存のボーリングデータが入手できるので、これらを利用すれば改めてボーリングや揚水試験をする必要もない。また、ボーリングなどによって2地点以上で透水層厚さがわかれば、各地点を基点として解析した結果を比較し、検討することができる。

(4) 大局的に地下水の大勢をは握するのに好都合であり、現地での測定値の精度に応じて解析過程の計算の精度を自由にとりうる。

(5) 地下水に関するさらにくわしいデータ(たとえ

ば、地下水流の方向、透水層の厚さの変化)が得られれば、本解析法にそれらを導入して容易に精度の高い解析法とすることができる。

問題点としてはつぎのようなものが考えられる。

(6) 変動前の地下水流が流動していない場合、または地下水位変動前後で地下水流の方向が全く異なり、しかも変動後の方向が推定できないときは適用できない。

(7) 定常流としての解析であるから、変動の途中の過程を含まず、最終地下水位形に限られる。しかし地下水位低下、または上昇が好ましくないという立場に立てば、最も危険側の状態を求めているので安全度を含めた解析法と解釈できる。

なお、非定常流としての解析については別に報告する<sup>7), 8)</sup>。

従来、広域地下水の調査、研究において、透水係数、透水層厚さなどの測定範囲と精度に実際上限界があって多くは経験による推定の域に渋滞していた観がある。これに対して本報告は、大局的な立場から科学的、系統的に広域地下水をは握することをねらいとして、特に地下水位変動について、準深を用いた定量的な取り扱いを研究したものである。

## 参 考 文 献

- 1) 松尾新一郎・河野伊一郎：びお湖周辺地帯の土質、地質、地下水の性状に関する研究、建設省近畿地建研究報告書、1962.3, pp. 91~239
- 2) 松尾新一郎・河野伊一郎：同上別冊、1962.11, pp. 1~85
- 3) 松尾新一郎・河野伊一郎：奈良盆地の地下水開発に関する研究、奈良県研究報告書、1964.3, pp. 46~124
- 4) 松尾新一郎・河野伊一郎：水資源を主にした大和高原の開発に関する研究、奈良県研究報告書、1965.4, pp. 19~133
- 5) 松尾新一郎・河野伊一郎：地下水位の変動解析について、土木学会関西支部年次学術講演会講演概要、1962.10, pp. 73~74 (一部発表)
- 6) 松尾新一郎・河野伊一郎・近藤豊太郎：奈良盆地の地下水の性状とその利用に関する研究、土木学会第19回年次学術講演会講演概要、1964.5, pp. 76~1~2
- 7) 松尾新一郎・河野伊一郎：自由地下水の変動に関する一解析法について、土木学会第18回年次学術講演会講演概要、1963.5, pp. 123~124 (一部発表)
- 8) 松尾新一郎・河野伊一郎：地下水位変動の非定常解析の考察、土質工学会、1966.11, pp. 23~27 (1966.9.6. 受付)