

京都大学工学部 正員 松尾新一郎
 同上 正員 河野伊一郎

1. はじめに

本調査は、奈良市域における地下水開発量の算定および地下水揚水に伴う地下水低下の影響を明らかにし、将来の地下水利用のあり方を究明することを最終目的として実施したものである。全調査の内容は多岐に亘っておりその代表的な項目は、地質調査、弾性波地下探査、電気的地下探査、ボーリング、揚水試験、地下水位観測と地下水位等高線図の作成、地盤の透水性の解析、電子計算機による地下水位変動の解析と揚水量の算定、細管網モデルによる実験的検討などであるが、本文はそのうちとくに、地下水揚水とそれに伴う周辺の地下水位低下量の算定を中心として述べている。

2. 地下水の性状

奈良市域の平野部での既存井戸の調査をもとづいて図-1に示す地下水位等高線図を作成した。同図のABで示している北部境界は京都府との境をなす標高100m±の丘陵であり、BDで示している東部境界は南北性の断層が発達した笠置山脈、またAC線の西部境界は生駒山系の山陵である。

地下水流を平面的にみれば、こゝらAB、BD、ACの境界より流入し中央部へ集中しながら、南部境界CDより大和郡山市の方向に流下している。図-1より容易に理解することができる。

一方、断面的にみれば、地層構成が極めて複雑で透水層、不透水層が数メートル交互に層目状に交錯しており、数百メートル離れた2地奥の地盤柱状図でさえ、層の連続性を判断することがむずかしい状態である。したがって従来の透水係数、透水層厚さによる取扱いが全く不可能であるので、筆者らがすでに提案している「準深」の考え方にもとづき解析方法により地盤の平均的な、鉛直方向に積分した透水性を定量的に把握する。その場合、フジのような仮定をもうける。i) 地下水のかん養はすべて山岳部(図-1のABCDより外側の領域)で行なわれるものとする。ii) 山岳部における降

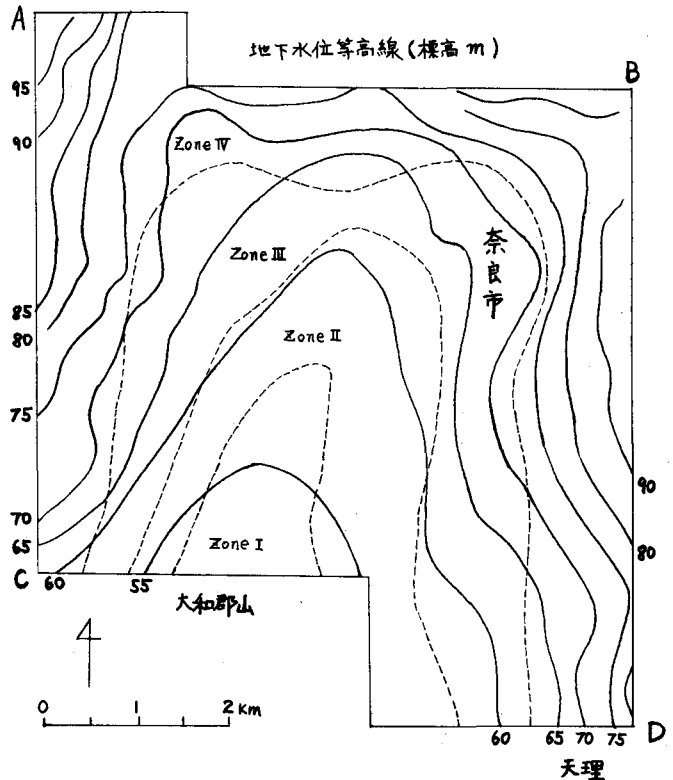


図-1 地下水位等高線と透水性の分布

雨の浸透量（地下水かん養量）は 460 mm/year（≒ 1.3 mm/day）とする。なお、年間降雨量は平均 1380 mm（≒ 3.9 mm/day）である。山岳部の集水面積は約 45 km² であり、したがって全地下水かん養量を約 5.5 万 t/日 とみなすことになる。以上の条件のもとに奈良市域の透水性の分布を算定したものが表-1（図-1の Zone 区分参照）である。

表-1 透水性の分布

Zone	$k_a \cdot H$ (m ² /d)
I	4000 以上
II	4000 ~ 2000
III	2000 ~ 500
IV	500 以下

3. 地下水揚水と地下水位低下の解析

(1) 計算式、地下水流は、運動、連続の両式より式(1)の非線型偏微分方程式で表わされる¹⁾

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{k_a}{\beta} \left(H \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + H \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} + \frac{\partial H}{\partial x} \cdot \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial y} \cdot \frac{\partial f}{\partial y} \right) + \frac{\Delta P}{\beta} \quad \text{----- (1)}$$

ここに、 f ：地下水位、 β ：有効空げき率、 H ：準深、 k_a ：基底の透水性係数、 ΔP ：他水系からの地下水収支量の増分、 (x, y) ：平面座標、 t ：時間 である。

図-2 のような一辺の長さ (Δl) の正方形格子区分に対して式(1)は式(2)の差分式で表示することができる。

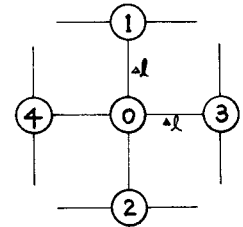


図-2 正方形格子区分

$$f_0(t+\Delta t) = f_0(t) + A \left\{ H_0 (f_1 + f_2 + f_3 + f_4 - 4f_0) + \frac{1}{4} (H_1 - H_2) (f_1 - f_2) + \frac{1}{4} (H_3 - H_4) (f_3 - f_4) \right\} + \Delta P_0 \Delta t / \beta \quad \text{----- (2)}$$

ここに、 $A = \frac{k_a \cdot \Delta t}{\beta (\Delta l)^2}$

右辺の f はすべて $t = t$ における値である。

(2) 境界条件

奈良市域を図-3 に示すように、 $\Delta l = 400$ m の正方形格子に区分し、1例として地下水揚水地帯を NO.1 ~ NO.5 の格子節点を中心とする 5 地帯に選定する。

揚水地帯の地下水位 h_p (揚水位) を一定に保ちつつ揚水を行なう場合には式(3)による。

$$h_p = \text{const} \quad \text{----- (3)}$$

このときは揚水量 Q_p は時間とともに減少する。

揚水量 Q_p を一定に保ちつつ揚水を行なう場合には式(4)によって ΔP_0 を求める。

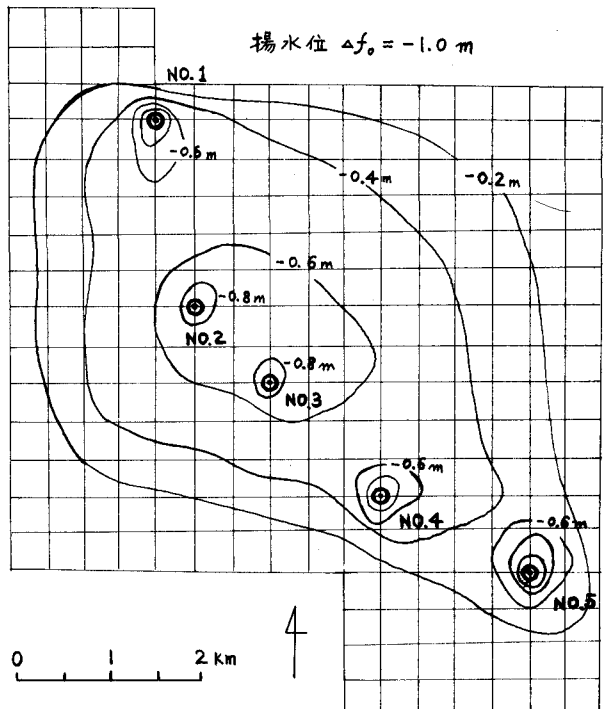


図-3 揚水位一定 (-1.0 m) の地下水位低下の分布

$$\Delta P_0 = Q_p / (\alpha l)^2$$

このとき揚水水位は時間とともに減少する。

(3) 解析例

以上の境界条件のもとで式(2)によって地下水位低下量の算定を行なっている。

a. 定常解. 式(2)において,

$f(t+\Delta t) = f(t)$ とおくことにより定常解, すなわち地下水位の最終的な分布を算定することが出来る。図-3の揚水地帯 NO.1 ~ NO.5 で地下水位低下量を -1.0 m に保ちつづ揚水したときの地下水位低下量分布を同図に等低下量線を示している。

b. 非定常解. $Q_p = 10,000\text{ t/d}$ の揚水を NO.1 ~ NO.5 の各地帯で行なったときの揚水地帯の地下水位(揚水位)の時間的变化を図-4に, また揚水開始後60日における地下水位低下量の分布を図-5に示している。ただし, $\beta = 0.2$ とする。

4. 考察

(1) 図-3の結果にもとづいて, NO.1 ~ NO.5 の揚水地帯における単位揚水位低下量に対する揚

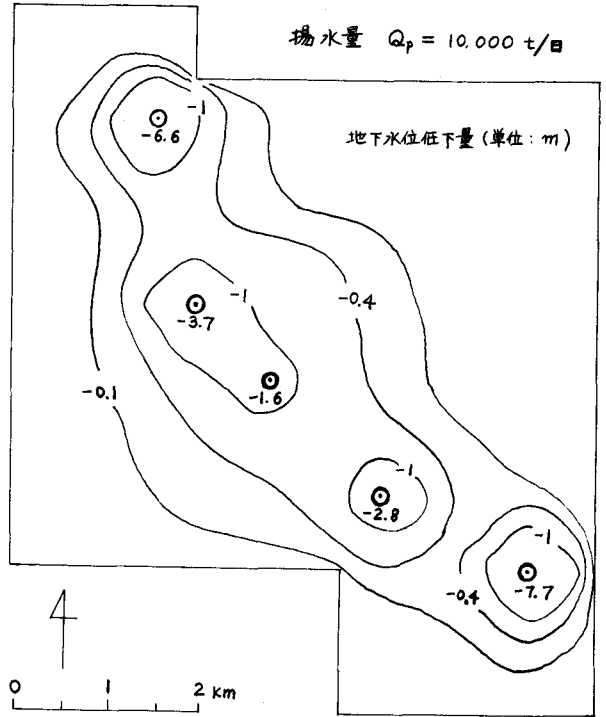


図-5 揚水開始後60日における水位低下の分布

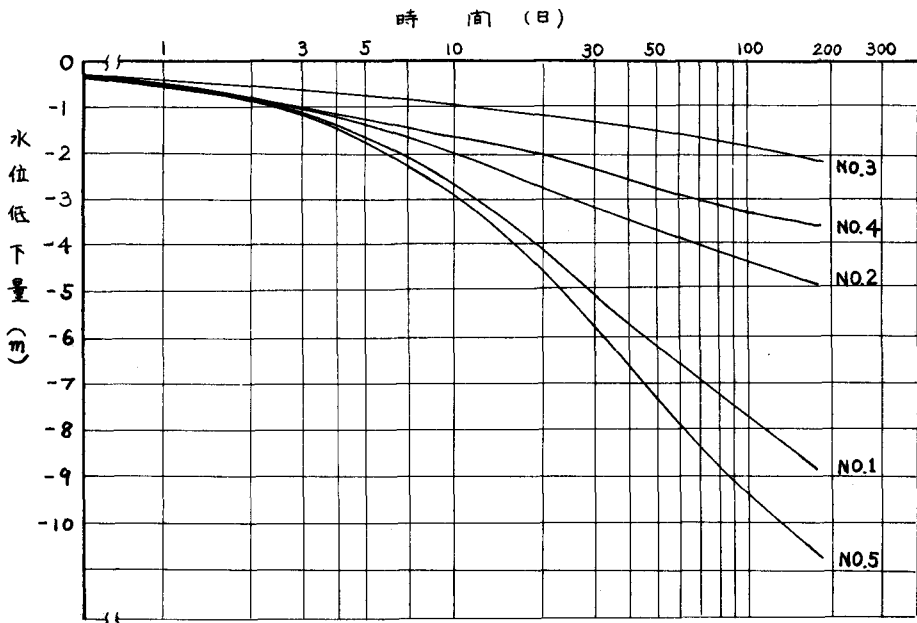


図-4 揚水位 (NO.1 ~ NO.5) の時間的变化

水量, 単位揚水量 (10,000 t/日) に対する揚水位低下量を表-2に示す。

ただし, 揚水量の算定式は式(5)

表-2 揚水地点の順位づけ

である。

$$Q_p = \frac{k}{2} \sum_{i=1}^n \frac{4}{|i|} (H_i + H_0)(f_i - f_0) \dots (5)$$

揚水地点	$Q_p (\Delta f_0 = -1m)$	$Q_p (\Delta f_0 = -4.6m)$	$\Delta f_0 (Q_p = 135t/日)$	順位
NO.1	990 t/日	4,600 t/日	-10.1 m	4
NO.2	1,370	6,300	-7.3	3
NO.3	4,930	22,700	-2.0	1
NO.4	2,790	12,800	-3.6	2
NO.5	820	3,800	-12.2	5
計	10,900	50,200		

表-2の最後の覧には揚水地点としての順位づけを行なっている。すなわち, 小さい揚水位低下量でより大きい揚水量を期待するという観点からの順位づけである。

(2) 揚水地点に対応する格子節点の1点で式(3)または式(4)の境界条件をよべているが, その揚水面積は $(2l/5)$ を半径とする円であることはすでに報告している。¹⁾ しよから, 今回の計算では $2l = 400m$ であるから揚水面積は $80m$ の半径を持つ円領域となる。しかし, 実際にそのような井戸を掘ることはできないがこよをツぎのように解釈することができる。

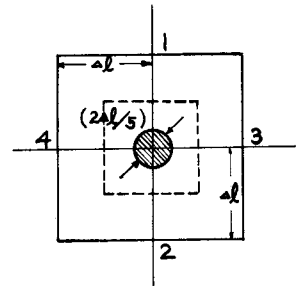


図-6 揚水面積の説明図

a. group well (または single well) によつて揚水したときその平均的中心的(重心)より $80m$ 離れた地点の水位が境界条件として与えた水位となるような地下水揚水を考えることができる。

b. 定常解についていえば井戸揚水の公式(6)を参照してツぎのようにして, 揚水半径が異なる場合の揚水位を算定することができる。

$$Q = \frac{2\pi k H \Delta f}{\log R/r} \dots (6)$$

揚水量 Q_w , 揚水位 af_w , 揚水半径 r_w を考えるとき, 差分式による解のそれぞれ $Q_p, r_0, \Delta f_0$ に対して, $Q_w = Q_p$ ならば次式(7)によつて r_w に対応する af_w を計算することができる。

$$\frac{\Delta f_w}{\log(2l/r_w)} = \frac{\Delta f_0}{\log(5\Delta l/\Delta l)} \therefore \Delta f_w = 1.43 \Delta f_0 \log(2l/r_w) \dots (7)$$

ただし, 格子区分とする場合にはし格子区分内での透水性は一律であるという基本的な考え方のもとに差分式を用いて解析していることは当然であり, しよから式(7)が妥当である。

5. あとがき

大局的な立場から透水性を把握する「準深」の考え方にもとづいて奈良市域内の透水性分布を解析し, その境界条件のもとに, すでに提案している「地下水揚水とそよに伴なう地下水位変動量を算定する手法」を用いて奈良市域内における地下水利用について検討した。³⁾ 本文は実施した解析結果の一部を例として示したものであり, 揚水地点の種々の組合せの場合について検討すべきことはいうまでもない。

[参考文献]

- 1) 松尾, 河野: 差分式による揚水量の算定について, 才13回土質工学シンポジウム (1968.12)
- 2) 松尾, 河野: 応域地下水の水位変動の解析方法, エと基礎 17-1 (1969.1)
- 3) 松尾, 河野: 奈良市域における地下水利用に関する研究, 奈良市研究報告書 (1969.1)