

京都大学工学部 正員 工博 松尾新一郎
同上 正員 工修 河野伊一郎

1. まえがき 地下水は極めて様々な速さで移動し、地下に浸透してから再び地表に流出するまで数年間、ときには数十年間にもなる。この特性は水温、水質のみならず無効放流の少ない高度の地下水利用に好都合である。すなわち、地盤は自然に造られた浄化槽つき地中ダムの連続とも考えられる。しかし、地下水収支、利用の立場からみた地下水貯留の定量的概念を把握することが困難なため、地下水開発は経験による推定の領域を大きく出ることにはなかった。こうした問題にかんがみて本報告は自然に造られた地中ダムの効果の考察に加え、積極的、意欲的にして合理的な地下水開発を目的とした人工的な地中ダム化の構想^{1,2)}とその効果について定量的に検討するものである。対象地域に奈良盆地を選定し、王寺町付近における自然の地中ダムについて考察を加え、さらに上流地奥に2ヶ所の人工的な地中ダム化を想定し、その利用、効果を検討する。

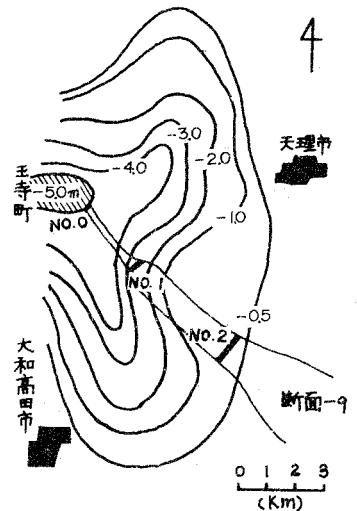


図-1 地下水位低下範囲(m)

2. 定常流としての解析 前記の王寺町付近(図-1の斜線域)の約1km²で地下水揚水を行ない、地下水を長期間-5.0m低下させた場合を想定し奈良盆地内の地下水位低下量を解析³⁾した結果が、図-1である。逆に地中ダム化の効果で+5.0m上昇した場合の結果が図-2である。いま有効空けき率を0.2とすると、前者の貯留量の減少量は $3.7 \times 10^7 \text{ m}^3$ 、後者の増大量は $4.8 \times 10^7 \text{ m}^3$ となる。

3. 非定常流としての解析 定常流として取り扱う場合は非常に長期間後の地下水位分布である。したがって1年を周期とする地下水収支、利用を考える場合には非定常状態での検討が要求される。一般に非定常の方程式は非線型となり、ある限られた条件のもとにおいてのみ解きうる。そこで、つぎに示すような簡易計算法を用いると、境界条件の導入も可能であり、計算労力も比較的少なくてよい。精度については、あくまで巨視的な観点から地下水の大勢を把握するという目的で充分実用に供するものとする。

1) 解析法の基本的な考え方 運動、連続の両式から、地下水面形の基本式は式(1)となる。

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{T}{\beta} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{1}{\beta b} \frac{\partial (Tb)}{\partial x} \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad (1)$$

ここに、 ϕ ；地下水位、 t ；時間、 β ；有効空けき率、 x ；距離

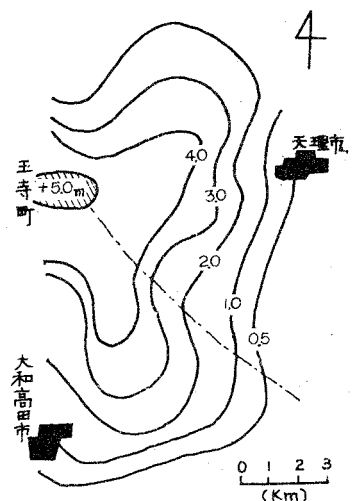


図-2 地下水位上昇範囲(m)

b: 流路断面の中, T: 透水量係数 ($=kh = Q/bi$)

式(1)を差分式になおすと式(2)となる。

$$\phi_{(at)} - \phi_{(0)} = \frac{T \Delta t}{\beta \Delta x^2} (\phi_+ - 2\phi_0 + \phi_-) + \frac{\Delta(Tb) \Delta t}{4\beta b \Delta x^2} (\phi_+ - \phi_-)$$

$$\frac{T \Delta t}{\beta \Delta x^2} = \frac{1}{2} \quad A = \frac{1}{2} + \frac{\Delta(Tb)}{8b} \quad B = \frac{1}{2} - \frac{\Delta(Tb)}{8b} \quad \text{とおくと}$$

$$\phi_{(at)} = A \phi_{(0)} + B \phi_{(0)} \quad \text{-----(2)}$$

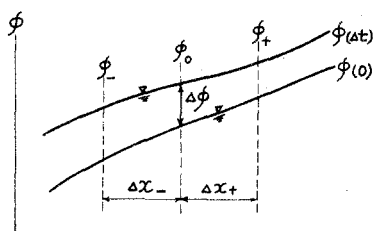


図-3 非定常解析説明図

すなわち, $\Delta t = \beta \Delta x^2 / 2T$ (または $\Delta x = 2T \Delta t / \beta$) とすることによって 式(2)が成立する。

縦断面を適当に微小区分し, 各区分ごとに A_i, B_i を計算し, 式(2)のノモグラフを用いて比較的単純な操作で解を求めることができる。

ロ) 境界条件の導入について 計算式(2)の性格から上流端と下流端の境界条件が必要である。①説明図において ϕ_0, ϕ_N が与えられる場合には $\phi_- = \phi_0$, または $\phi_+ = \phi_N$ として用いる。

② Q_0, Q_N が与えられる場合には式(3), (3')を用いる。

$$\phi_0(at) = \phi_0(0) - Q_0 \Delta x_0 / (Tb)_0 \quad \text{-----(3)}$$

$$\phi_N(at) = \phi_N(0) - Q_N \Delta x_N / (Tb)_N \quad \text{-----(3')}$$

ただし, Q_0 : ダムサイトにおける揚水量

Q_N : 上流端における供給量

③ ダムアップする場合は式(3)において $Q_0 = 0$ とおくと,

$$\phi_0(at) = \phi_0(0) \quad \text{-----(4)}$$

④ ダムをオーバーフローする場合については, ϕ_0 の算定が困難で, ϕ_0 の値をダム化の高さと考えることにする。

ハ) 解析の条件 図-1に示した断面-9において, NO.0 (王寺町), NO.1 (上流へ3km), NO.2 (上流へ7.5km)の3段階に地中ダム化を想定する。なお, $\beta = 0.2$ と仮定する。

ニ) 解析結果 図-7はNO.0で+5.0mのダムアップ, -5.0mの揚水低下をした場合の地下水位変動量の時間的な変化を示したものである。図-6はNO.1で初期の90日間をダムアップし, 後の90日間は地下水供給量の2倍 ($Q_0 = 0.4 \text{ t/s}$) の割合で揚水を行なった場合の地下水位変動量の時間的推移である。図-8はNO.2で, 初期の180日間ダムアップし, フズの90日間は, 平均地下水供給量の2倍の揚水を行ない, さらに90日間ダムアップした場合である。ただし, NO.2については上流からの

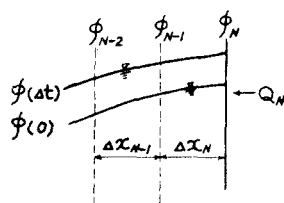


図-4 上流端の説明図

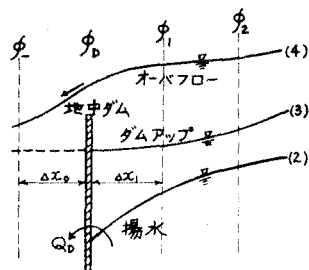


図-5 ダムサイト説明図

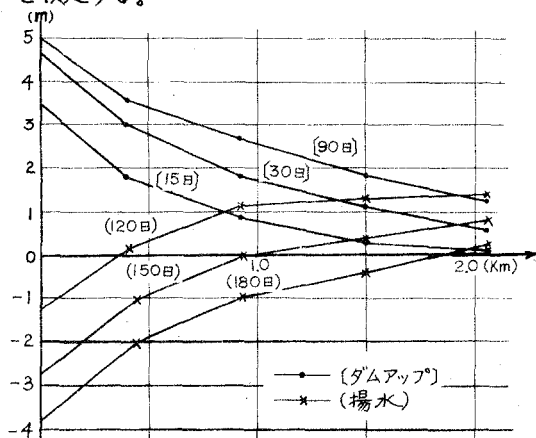


図-6 NO.1による水位変動(m)

供給量 Q_N が 90 日を周期として、平均地下水供給量の 2 倍 (0.4 t/s) と 0 との変動をくりかえすものと仮定する。

4. 考察 河川のダム貯水と地中ダム化によるそれとを比較すると、前者においては早く一定水面形に達するのに対し、後者においては時間的遅れが大きく、したがってつぎのような性格を有する。①地中ダム化による地下水の貯留はダムサイトで満水しオーバーフローした後、長期に亘って上流での貯留が継続される。②したがって、河川ダムのように堤高が高くなくとも比較的効果は大きい。また、地下水位の深さによって堤高が限定される。③地下水を集中的に揚水する場合（たとえば夏期）、極端な地下水位の異常低下を防ぐのに有効である。④地下水流の中が急変する狭さく部に築造するのが最も有効である。⑤地下水流が比較的急流で採水層が薄く、普通の井戸で集水揚水するのが困難な場合の利用が考えられる。⑥帯水層厚さが大きく、しかも常時等量の地下水利用を考える場合には自然地盤の貯留能力で充分である。ただし、地下水位が季節によって変動し地下水流が変る地域（比較的の上流部）では、たとえ年間

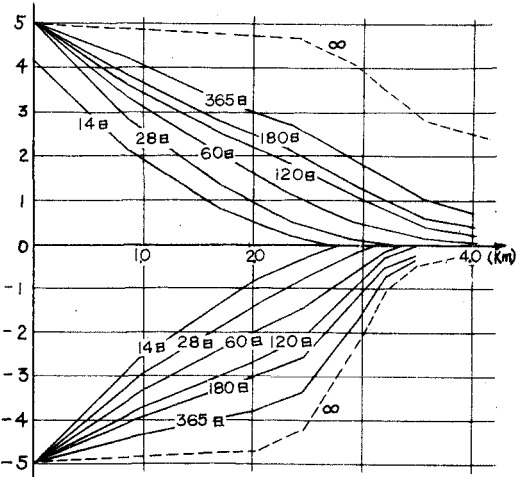


図-7 NO.0 による水位変動(m)

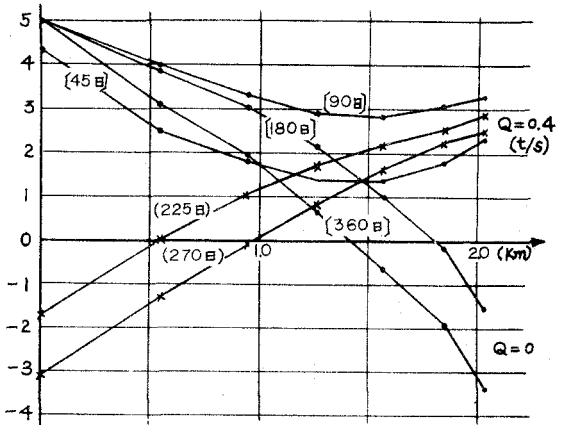


図-8 NO.2 による水位変動(m)

を通じて利用量が一定であっても地中ダム化は有効である。⑦地中ダム化の規模は一概にいえないが奈良盆地で 5.0 m 程度が妥当と考えるとその影響範囲は数キロメートルである。⑧地中ダム化は注入工法、矢板類打込などで比較的簡単であり、工事の精密さは要求されない。⑨河川のダムにおけるような家屋や土地の水没という不利は起らない。⑩地盤のある部分の透水性を改良し、地下水の流通機構をよくすることによって、地中ダム化の効果を助ける工法をも考えられる。

5. あとがき 本報告は地中ダム化の構想とその検討、考察を奈良盆地を例にとって行なった。地下水の長期利用、広範囲の地下水開発の立場から地下水貯留のはたす役割が大きいこと、さらに高度の地下水利用が人工的な地中ダム化によって実現しうる可能性をのべた。また地下水開発を目的とする場合のみならず、地下水位と土地利用の関係からの地下水位調節用、さらには土木構造物の保全を兼ねた多目的な地中ダム化が考えられる。

(参考文献) 1) 松尾, 河野; 地中ダム化による地下水規制, 昭39 関西支部年次学会概要 PP105~106

2) 松尾; タイ国における地下水開発の構想, 東南アジア研究 3-2 PP47~61, 昭40 関西支部年次学会概要 PP159~160

3) 松尾, 河野; 地下水位変動解析について, 昭40 関西支部年次学会概要 PP73~74

4) 松尾, 木暮; 土中射出水に関する基礎的研究, 昭40 関西支部年次学会概要 PP163~164, 第21回年次学術講演会