

名古屋大学大学院 学生員 鈴木孝男
 福井県庁 正員 藤野間幸英
 名古屋大学工学部 正員 足立昭平

1. はじめに

本報告は、適切な井戸管理をおこなうための基礎的な問題のひとつとして、井戸揚水にともなう地下水の挙動をとりあつかうものである。従来の井戸理論では揚水量を一定値として解析したものが多くみられる。これに対してAbu-Zied & Scott, Hantush, Aron & Scott らは揚水試験の初期において地下水が過剰に揚水される事実に着目し、揚水量を時間の関数で表現して解析解もしくは図解法を提案している。しかしこれらはいずれも帯水層の特性をとらえるための揚水試験の解析における手法であり、長期にわたる揚水量の変化に対応したものではない。著者らは名古屋大学にある揚水井を例とし、揚水量が年々低下するという事例にもとづいてその理由がポンプの特性にあると考え、通常の井戸理論に対してポンプの特性を考慮した数値計算をおこなった。

2. 揚水量の変化と井戸特性

名古屋大学には現在取水井が4本あるが、各井ごとの水位が観測されるようになったのは昭和50年12月以降であり、それ以前の水位記録はポンプ修理などの際に調べたものである。また揚水量についても全体の送水量の記録があるだけでこれを図1に示す。図より揚水量が経年的に漸減していることがわかる。この間ポンプの稼働率はほぼ一定であり揚水量の低下は規制などの人為的な要因によるものではなく、地下水水位の低下が直接の原因であると考えられる。一方ポンプで揚水をおこなう場合、一般に揚程の変化によって揚水量が変化する。つまり揚水量は井戸水位によって決定されこの関係はポンプ固有の特性曲線で与えられる。名古屋大学で現在までに使われてきたポンプの特性曲線をまとめて図2に示す。

これらの点を考慮すると井戸揚水にともなう地下水流れを扱ううえにおいて、井戸水位と揚水量の関係を与えるポンプの特性曲線を導入する必要があるものと考えられる。

3. 基礎方程式と数値計算例

以上に述べた考察をもとにして簡単な条件での数値計算を試みた。井戸に向かう被圧地下水流れは、帯水層が等方、等質であり一定層厚を有すると仮定すれば、連続式とDarcy則より次式で与えられる。

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial h}{\partial r} \right) = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

初期条件、境界条件は次式のように単純化して与えた。

$$t=0; \quad h=H_0 \quad (2)$$

$$r=r_c; \quad h=H_0 \quad (3)$$

$$r=r_c; \quad 2\pi T r \frac{\partial h}{\partial r} \Big|_{r=r_c} = Q(h_0) \quad (4)$$

ただし h : 任意の位置の被圧水頭, r : 井戸中心からの距離, h_0 : 井戸水位, H_0 : 初期水頭, r_c : 影響半径, S : 貯留係数, T : 透水量係数, $Q(h_0)$: 揚水量(数値計算ではポンプの特性曲線を3次の多項式で近似した。)

式(1), (2), (3), (4)をそれぞれ $\eta = h/H_0$, $\xi = r/r_c$, $\tau = t/(\frac{r_c^2 S}{T})$

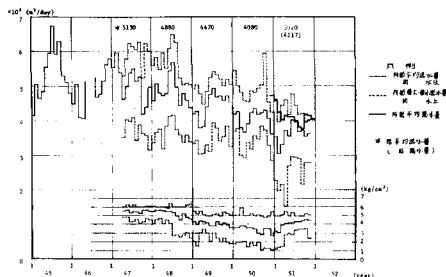


図1 名古屋大学東山地区送水量(揚水量)送水圧経年変化

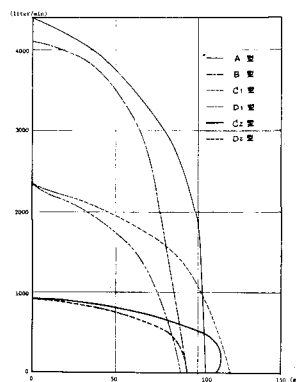


図2 ポンプ特性曲線

SR_0^2/T), $q = Q/(2\pi H_0 T)$ を用いて無次元化すると次式のようになる。

$$e^{-2\frac{\partial^2 \eta}{\partial \xi^2}} = \frac{\partial \eta}{\partial \xi} \quad (5)$$

$$\tau = 0; \quad \eta = 1 \quad (6)$$

$$\xi = \xi_c; \quad \eta = 1 \quad (7)$$

$$\xi = 0; \quad \frac{\partial \eta}{\partial \xi} = q(\eta) \quad (8)$$

上式は式(8)に非線形項があるために解析解を得ることができない。したがって差分化をおこないMatrix表示をすれば次式のようになる。

$$\begin{pmatrix} A_1 & -2p & & & 0 \\ -A_2 & 2A_2+1 & -A_2 & & \\ & & -A_i & 2A_i+1 & -A_i \\ 0 & & & & 1 \end{pmatrix} \cdot \eta^{*+1} = \eta^* \quad (9)$$

ここに $p = \Delta\tau/(\Delta\xi)^2$, $A_i = 2p+1 + 2q_i p \cdot q(\eta_i^{*+1})/\eta_i^{*+1}$, $A_i = e^{-2(4-i)\Delta\xi} \cdot p$ である。式(9)のMatrix第一行は非線形形であるので、まず上三角を消去し第一行をNewton-Raphson法で解き、以下前進代入によって逐次計算を進めた。

具体的な計算例の結果を図3, 4, 5, 6に示した。いずれの場合も貯留係数は $S = 1 \times 10^{-3}$ の一定値で与え、透水量係数 T をパラメータとした。図3, 4は初期水位 $H_0 = 150^m$ を与えた場合の井戸水位と揚水量の時間的推移を示しており、図5, 6は昭和50年12月に揚水ポンプの型式を変更し、能力の小さいものに交換したことを想定して計算したものである。いずれの条件においても漸減もしくは漸増傾向を示していることは認められるものの、ほぼ一年程度で定常値に達しており図1に示されるような数年にわたる長期的な漸減傾向を示すには至っていない。しかしながら簡単な条件での数値計算であり、詳しい議論が数値的にできない点を考慮すれば、実際の井戸揚水に適用する場合、以上に述べた手法の有用性が一応示されたと思われる。

4. まとめ

著者らは従来の井戸理論に対し、現状の揚水状態が必ずしも一定量を汲むものでないことに着目し、ポンプの特性を導入することにより簡単なモデルを用いて数値計算をおこない、実測値と比較検討した。その結果、計算値と実測値とは必ずしも一致をみていないが、モデル化にあつ

ての大胆な仮定、たとえば本ある群井を単井にあきかえて計算したことによる影響、現実の複雑な地層構成を簡単な帯水層で代表させたことによる影響、影響圏の設定など今後詳しく検討することによりさらに一層の研究を進めたいと考えている。

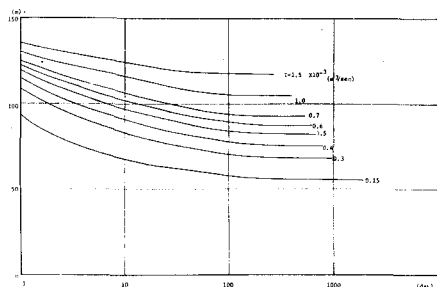


図3 井戸水位の時間的变化

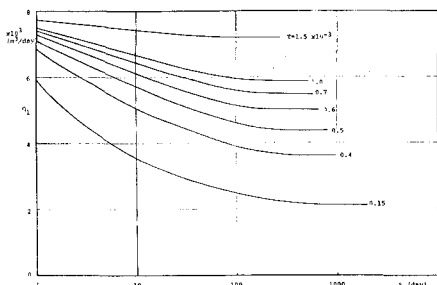


図4 揚水量の時間的变化

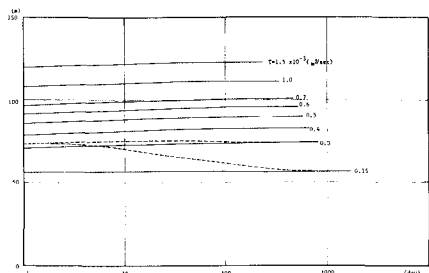


図5 井戸水位の時間的变化

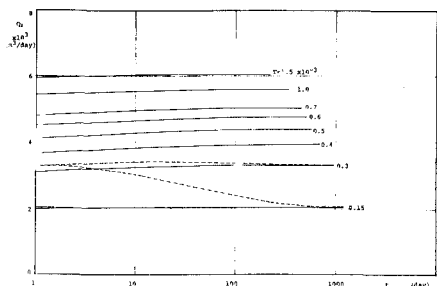


図6 揚水量の時間的变化