

九州東海大学 ○ 屋田 義治
東海大学 市川 勉
東京大学 玉井 信行

1. まえがき; 井戸を用いて地下水を揚水する場合、井戸の内井において水圧差(本論文では、井戸ロスと呼ぶ)が生ずることは、周知の事実である。著者等は、井戸ロスの発生機構について考察し、その主たる要因として、被圧地下水においては、井戸井の抵抗であり、不圧地下水においては、井戸井の抵抗と鉛直流による浸潤面であることを、理論および室内実験によって検証している。

井戸井の抵抗を考慮した解析方法とは、井戸における運動方程式に井戸井の抵抗を考慮し、この式を井戸理論に統一的に組み込んで解を得たものである。このため、この解析方法の特徴として、井戸ロスの定量的予測が可能であることは勿論、井戸内および井戸井のすぐ外側の水圧変動と観測井における水圧変動を同時に表現できるため、井戸ロスや帯水層定数の評価の精度がより高められるものと思われる。今回の発表は、この解析方法を不圧帯水層における2ケースの現地試験に適用した結果、解析手法の有効性が確かめられたので報告する。

2. 理論; 不圧帯水層における井戸井の抵抗を考慮した井戸における運動方程式を無次元で表わすと次のようになる。 $Z_s = \alpha (q_s - q_w)^{1/2} (2q_s + q_w)/3$ (1) ここに、 $Z_s = Q_s/(2\pi K H^2)$ 、 $\alpha = (\gamma_w K)/(c/H)$ 、 $q_s = h_s/H$ 、 $q_w = h_w/H$ 、であり、 Q_s : 井戸への浸み出し量、 γ_w : 井戸の半径、 H : 帯水層の初期水圧、 c : 透水係数、 h_s : 井戸井のすぐ外側の水圧、 h_w : 井戸内の水圧、 $K = \sqrt{2g/\gamma_f}$ であり、 g : 重力の加速度、 γ_f : 井戸井のストレーナーを地下水が通過するときの諸損失係数である。式(1)における α は、井戸井の無次元抵抗係数であり、室内実験の結果より、主として、井戸井の開孔率と井戸からの無次元の浸み出し量に關係することを確かめる。そして、1つの実験式として次のように表現することとする。

$\alpha = 0.59 Z_0^{0.51} \text{Exp}(10Y)^{0.35}$ (2) ここに、 Y : 井戸井の開孔率(井戸井の開孔部の面積を全側面積で除した値)である。また、井戸における連続条件式は、次のようである。 $\frac{dQ_s}{dt} = 2\beta'(Z_s - Z_0)$ (3) ここに、 $\tau = \frac{R H t}{\beta Q_0}$ 、 $\beta' = \frac{1}{1 - A_p/A_w}$ 、 $Z_0 = \frac{Q_0}{2\pi K H^2}$ であり、 β : 有効空率、 t : 揚水開始後の時間、 Q_0 : 一定の揚水量である。式(1)、(2)と井戸における境界条件とし、井戸の半径および影響半径を有限とし、さらに、帯水層は、均質・等方性で、ダルシー則および準一様流の仮定を前提として成り立つ帯水層内の基礎式(式(4)に示す)を数値計算した。この解を現地試験へ適用するものである。

$$\frac{\partial g}{\partial \tau} = \frac{1}{x} \frac{\partial}{\partial x} (x g \frac{\partial g}{\partial x}) \quad (4) \quad \text{ここに、} x = \frac{r}{r_0}, \quad g = \frac{h}{H} \text{ である。}$$

3. 解の現地への適用; 今回解析の対象とした現地は、東京都世田谷区砦戸摩川河川敷内揚水試験²⁾およびアメリカのネブラスカにおける揚水試験³⁾の2ケースである。砦戸川地点における揚水井は、砦戸川の低水護岸より約13m位離れた位置にあり、口径35cmで深度20mである。ストレーナーは、開孔率 $Y = 14.6\%$ で、地表下5mより15mの長さで設置されている。なお、この地点における帯水層は、玉石まじり砂礫で、厚さは、20~30mぐらゐと推定されている。観測井は、口径50mmで砦戸川と平行方向に5mと10mの位置に設置されている。この地点における揚水試験データ(表-1)を用いて、解析した結果を図1に示す。

表 1 揚水試験データ

揚水量	初期水深	最終水深
5000 m ³ /h	15 m	9.7 m

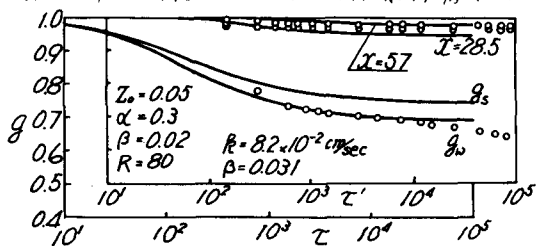


図1 水位の時間的空間的変動を利用した解析

図1において、井戸内の水位（ g_w で表わしてゐる）と $x=57$ 観測井地点における水位の時間的変動は、実測値（○印で示す）と理論値（実線で示す）でおよそ一致してゐるが、 $x=28.5$ 地点の観測井の水位は、理論値より高く振つてゐる。この原因の1つに試験井周辺の帯水層の不均質性が考えられる。解析結果は、透水係数 $k=0.82 \times 10^{-4}$ cm/sec, 有効空隙率は、入力値 $\beta=0.02$ に対し、計算値は、 $\beta=0.031$ となつてゐる。 β については、この両者は一致することや望ましいが、この程度のがつは、工学的には許容できるものと思われる。この同じデータを既往の方法で求めた値は、 $k=1.5 \times 10^{-4}$ cm/sec, $\beta=0.006$ である。本論文における解析手法で算定した値といふか差があるのは、これらの値が両方法とも図式解法で求められてゐること、および、既往の方法による解は、観測井だけのデータを用ひて算定しており、本論文のように、揚水井や井戸ロスを含む全体的関係から求められてゐないためであろうと思われる。図1に示されてゐる g_s 曲線は、井戸群のすぐ外側の水位の計算値である。この現地試験においては、井戸群のすぐ外側の水位は実測されてゐないので直接比較することは、できない。図1で計算されてゐる α の値を式(2)に代入して計算した開孔率は、 $Y=6\%$ であり、実際の開孔率の半以下である。井戸ロスは、段階試験を用いたJacobの方法では、 2.6 mと算出されてゐる。この値は、図1より算出される 0.77 mの約3倍である。このどちらが正しいか実測値がないので不明であるが、仮に、計算値をJacobの井戸ロ스에近づけると井戸群の無次元抵抗係数が非常に小さくなり、その結果、井戸群の開孔率が1%以下という不合理な値をとることになる。また、万摩川のこの井戸における鉛直流によつて生ずる浸潤面を著るの理論¹⁾で算定すると約20 cmとなる。さらに、井戸群の開孔率が4.6%であることを考慮すれば、井戸ロスが2.6 mを生じてゐるという点にいくらかの無理があるように思われる。

次に、アメリカのネブラスカにおける揚水試験について述べる。この地点における帯水層を形成する地層は、砂と礫よりなり、透水性が極めて良好である。この井戸は灌漑用の井戸として掘られたものであり、口径24 inches（約60 cm）、深さ39.5 feet（約12 m）である。観測井は、井戸の半径方向に一直線上に配置され、口径約1.2 inch（約3 cm）である。表2の揚水試験データを用いて解析した結果を図2に示す。

図2において、揚水井および5ヶ所の観測井における水位の時間的変動が本論文における解析手法で大体再現されてゐる。また、図2におけるシミュレーション結果の α の値より計算される開孔率は、 $Y=26\%$ で、この井戸が口径60 cmのジョンソンズフリーンを用いてゐるとすると、公称の開孔率に近く、妥当な結果と思われる。このように、現地試験と理論が一致した理由として考えられることは、この揚水地点における帯水層が理論の前提としてゐる仮定条件（たとえば、均質性、等方性等）に近いものであることが考えられる。大陸の平原では、地盤の均質性が高いことが期待でき、本論文における解析手法の妥当性が確認できたものと思われる。図2における井戸ロスは、約13 cmと小さいが、開孔率が26%と大きく、60 cmの口径から2850 m³/日程度の揚水量であれば、図2 水位の時間的・空間的変動を利用した解析13 cmの井戸ロスは、妥当な値であると思われる。

表2 揚水試験データ

揚水量	初期水深	最終水深
2850 m ³ /日	12 m	9.3 m

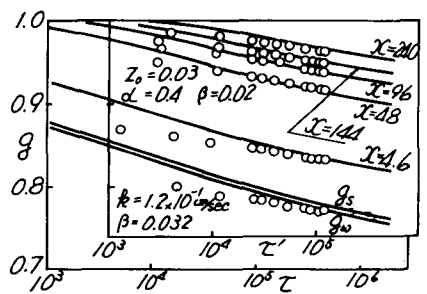


図2 水位の時間的・空間的変動を利用した解析

参考文献

- 1) 星田・市川：「揚水における井戸ロスの評価に関する考察」 工学会論文報告集 第313号 PP.37~46, 1981.
- 2) 日産工業株式会社：「砦下浄水場付近河川敷ボーリング工事報告書（解析編） PP.31~147, 1981.
- 3) Wenzel L.K. and V.C. Fishel：Method for Determining Permeability of Water-Bearing Materials with Special Reference to Discharge Well Methods, Water-Supply Paper 887, PP.117~190, 1942.