

# 定常説による揚水井の影響圏半径の一算定法

地下水<sup>1</sup> 帯水層厚<sup>2</sup> 井戸損失<sup>3</sup>

アスカソイルコーナー 正会員 ○奥野 日出  
地下水技術協会 黒田 和男

## はじめに

さく井の揚水量は揚水時間  $t$  による影響圏半径  $R(t)$  とその時間によらない一定の影響圏半径  $R$  があり、前者は非定常説、後者は定常説と呼ばれ、いずれの理論も半無限に広がる平行な帯水層の完全貫通井で影響圏半径位置での給水条件が異なるモデルが示されている。しかし、実際のさく井での揚水流は必ずしも単層、平行ではなく多層スクリーンの不完全貫通井の場合であることが多い。本文では定常説による非線形井戸損失式<sup>1)</sup>を用いて、さく井からの帯水層の広がり、狭まりを示す透水量補正係数  $\mu$  と限界揚水量  $Q$  より影響圏半径  $R$  が求まる方法について示した。

## 1. 影響圏と帯水層厚に変化を及ぼす地下水流動域の違い

非線形井戸損失式は  $Sw = BeQ + CeQ^2$  なる式で与えられ、 $Sw$ : 水位低下量 (m)、 $Q$ : 揚水量 (m)、 $Be$ 、 $Ce$ : 井戸仕様の係数である。揚水の多くは海外、国内共に広域地下水流動で半無限に広がる帯水層で行われ、国内では関東平野の利根川流域や滋賀県野洲川流域などが代表され、本文ではスクリーンからの帯水層が完全・不完全貫通井の相違に関わらず帯水層の平行状態が想定された。一方、国内の狭域地下水流動では東京都武蔵野台地下や兵庫県淡路島中部の小盆地などが代表され、帯水層がさく井から広狭を示す状態の限界揚水量  $Q$  から求められ、同時に影響圏半径  $R$  が求まった。すなわち、揚水中における平衡状態の終点で最大の揚水量が  $Q$  であることから透水量補正係数  $\mu$  と  $R$  が求められる。

## 2. 定常説に基づく透水量補正係数 $\mu$ と影響圏半径 $R$ の関係

国内の地下水流動域には帯水層が半無限に広がる均質な地層はほとんどなく、有限の広がりや地下水は有限の範囲からくると考えられる<sup>2)</sup>。これより本文に用いた  $\mu$  と  $R$  の関係は図-1 のように示される。

ここに、 $Q_n$ : 段階揚水量 ( $m^3/d$ )

$R$ : 影響圏半径 (m) <層流域>

$h_0$ : 初期水位 (m)

$h_n$ : 段階揚水時の各水位 (m)

$k$ : 帯水層の平均透水係数 (m/d)

$m$ : スクリーン長 (m)

$km$ : 透水量係数 ( $m^2/d$ )

$\mu$ : 透水量補正係数

であり、ここでは  $\mu km$  が帯水層中の透水量係数となる。なお、段階揚水試験時の測定値に基づき非線形井戸損失式を用いて限界揚水量  $Q$  を求めるとき、 $\mu$  と  $R$  が同時に求められる。

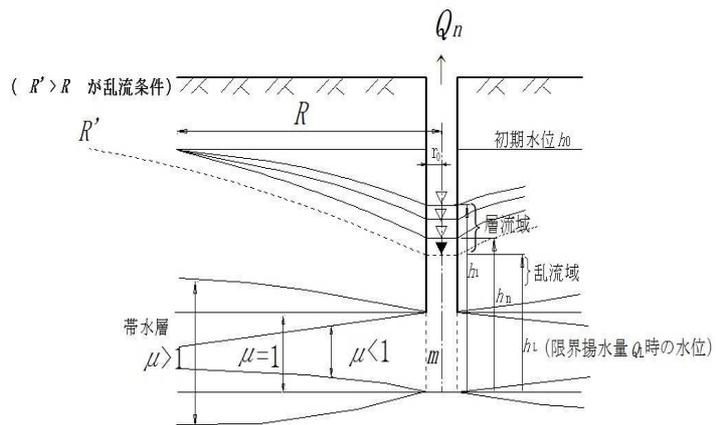


図-1. 定常説の揚水井モデル

## 3. 調査解析結果

### 3.1 広域地下水流動の井戸調査事例

ここでは滋賀県野洲川中流域での調査結果を示す。井戸位置は、野洲川本流右岸より北東に 500m ほど離れた低地で付近は主に水田が分布している。付近の地質構成は、本井戸 A とこれより 450m 北にある井戸 B より図-2 に示され、帯水層は大半砂礫、砂層からなり一部に第 1 粘土層が挟まる。井底は A, B 共に帯水砂礫、砂層直下の第 2 粘土層にある。井戸 A 施工時 (2007) の段階揚水試験結果を図-3.1 の段階揚水量  $Q$  と比湧出量  $\Delta Q$  の関係を示す。また同図に対応する段階揚水量  $Q$  と水位低下量  $Sw$  の関係を図-3.2 に示した。

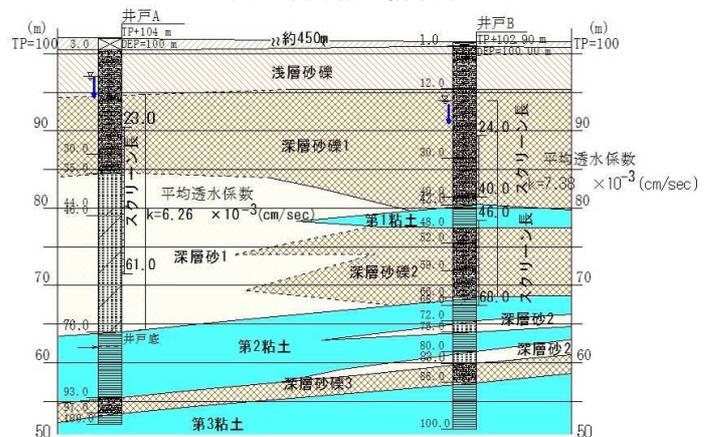


図-2. 野洲川中流域の地質断面

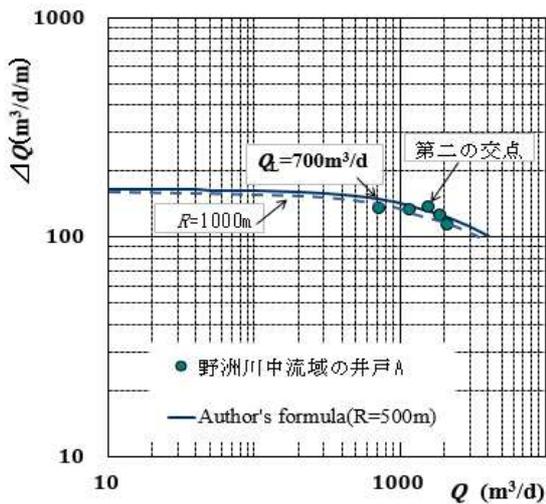


図-3.1 段階揚水量  $Q$  と比湧出量  $\Delta Q$  の関係

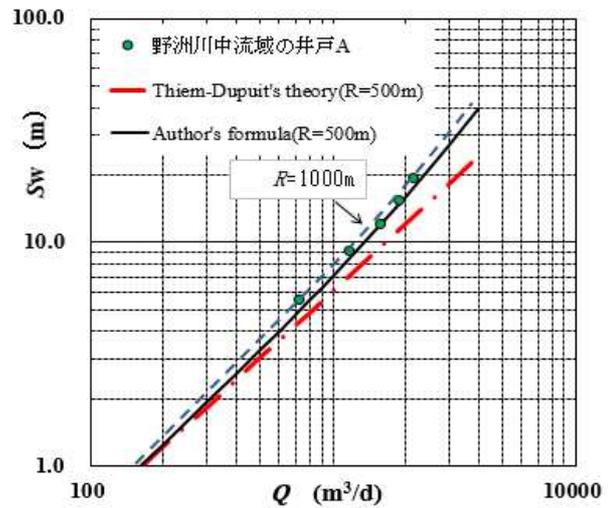


図-3.2 段階揚水量  $Q$  と水位低下量  $S_w$  の関係

限界揚水量  $Q_L$  は図-3.1 の井戸損失式の曲線の曲率より  $Q=700$  ( $\text{m}^3/\text{d}$ ) が導かれた。ここに曲線の実線 ( $R=500\text{m}$ )、破線 ( $R=1000\text{m}$ ) が示され、 $\mu=1$  なる場合の影響圏半径  $500\sim 1000\text{m}$  においては  $Q_L$  に及ぼす変化がほとんどないことが分かる。

ところが  $\mu=3$ ,  $R=500$  ( $\text{m}$ ) なる場合は  $\Delta Q$  曲線が測定値 ● よりはるか下方に、 $\mu=0.5$ ,  $R=500$  ( $\text{m}$ ) なる場合では上方に移動して、 $Q_L$  が定まらない。以上のように広域地下水流動域では揚水過程の平衡状態で  $\mu=1$  とみなせ、帯水層が平行と考えることができる。なお、井戸損失式においてはスクリーンの開口率  $0.2$  を考慮した。

### 3.2 狭域地下水流動での井戸調査事例

狭域地下水流動は台地の小盆地や狭長な低地などで地形的に捉えられる。井戸の利用は必ずしも広域な盆地に限らず、著者らは兵庫県淡路島中部の小盆地や東京都武蔵野台地などで農業用水や非常用水目的に井戸の調査施工を行った<sup>1), 2)</sup>。ここでは  $\mu > 1$  あるいは  $\mu < 1$  を表し、井戸位置より帯水層厚の変化が想定され  $R=200\sim 1000\text{m}$  で、 $Q_L=15\sim 500$  ( $\text{m}^3/\text{d}$ ) と必要揚水量が満たされないところが多く、豊富な地下水量の確保が困難と言える。図-3.3 には東京都武蔵野台地下の非常用井戸事例を示した。 $\mu=1.7$ ,  $R=500\text{m}$  で  $Q_L=20$  ( $\text{m}^3/\text{d}$ ) 付近で測定値と井戸損失式による計算値がほぼ一致する。これとは逆に  $\mu < 1$  となる井戸位置から帯水層が狭まる結果もあった。

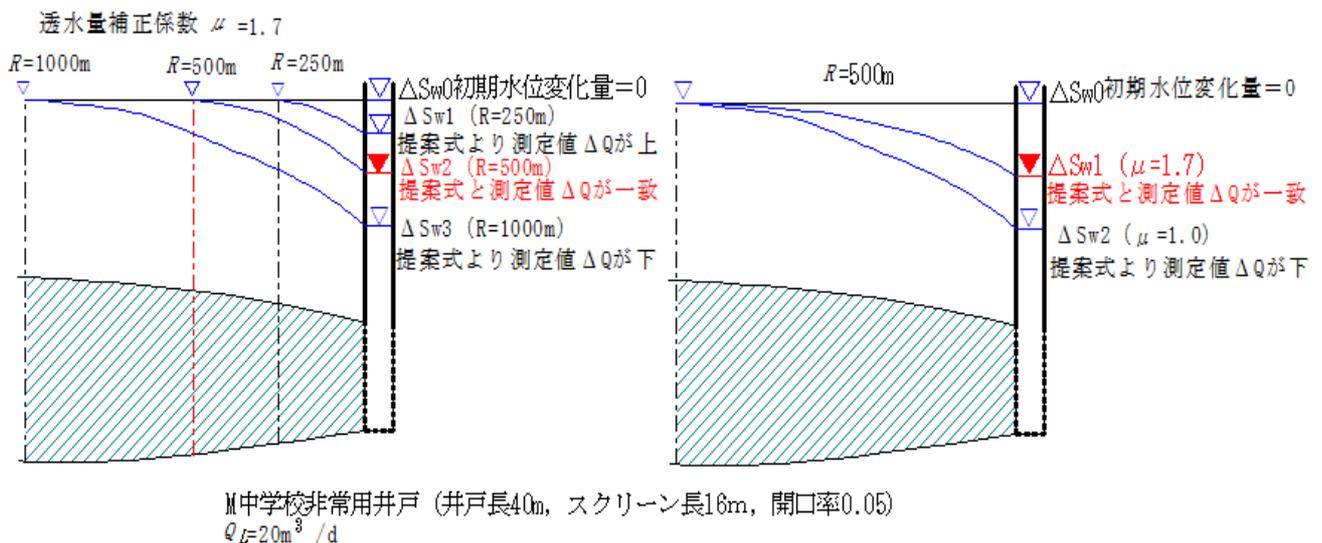


図-3.3 帯水層が広がる井戸の調査施工事例

おわりに

本文では、定常説による非線形井戸損失式<sup>1)</sup>を用いて段階揚水試験の測定値と整合させる手法により、広域・狭域地下水流動共に揚水時の限界揚水量  $Q_L$  の把握と同時に透水量補正係数  $\mu$  (帯水層の平行、広がりなど) と影響圏半径  $R$  を明らかにした。

参考文献 1) 奥野日出・小山修平：地域地下水管理に関する揚水モデルと井戸損失式の提案, 地盤工学ジャーナル (論文), VOL. 6, No. 1, P27~37, 2011.

2) 黒田和男・村山弘樹・奥野日出：都市防災非常用井戸の調査・施工事例, 地下水地盤環境・防災計測に関するシンポジウム (論文), P41~46, 2015.