

復水工法における目詰まりに関する研究

岡山大学 正会員 西垣 誠
東急建設(株) 正会員 田中卓也
岡山大学 学生会員○正田 武

1. はじめに

復水工法は、主に地下水位低下工法による地盤沈下防止対策と下水道料金節約のため、揚水を地下帯水層に還元することを目的としてしばしば用いられてきた。しかし、復水工法をこのような目的で適用し、成功した例は決して多くないようである。この失敗の主な原因として注水井戸近傍の土粒子移動における目詰まり現象が挙げられる。この現象は井戸近傍の透水性を低下させるため、復水流量の減少率を定量的に予測することを非常に困難にさせている。

そこで従来、段階揚水試験結果から帯水層ロスと井戸ロスの関係を求めて井戸効率の予測を行っていたが、本研究では目詰まりロスを考慮した井戸効率の算定方法を提案し、目詰まりの事前調査として注水井内の水位上昇量と注入流量の関係を調べる段階注水試験の試験結果から、その妥当性の検証を行う。

2. 井戸効率の算定方法

目詰まりが発生した復水井内の水位上昇量(s)は帯水層損失(ds1)、目詰まりゾーンの水頭損失(ds2)、乱流損失(ds3)、井戸損失(ds4)によって構成され、次式で定義される。そのモデル図を図-1に示す。

$s=ds_1+ds_2+ds_3+ds_4$ (1)

ここで、

$ds_1=B_1Q$ (2)

$ds_2=B_2Q$ (3)

$ds_3=B_3Q^n$ (4)

$ds_4=CQ^m$ (5)

$B_1= \frac{\ln(R/r_c)}{2\pi kD}$ (6)

$B_2= \frac{\ln(r_c/r_a)}{2\pi k_eD}$ (7)

B3: フィルターゾーンの乱流損失係数でn=2と仮定する。

C: 井戸損失係数でm=2と仮定する¹⁾。

R: 影響圏半径、r_c: 井戸半径、k: 透水係数、D: 帯水層厚さ

k_e: 目詰まりゾーンの透水係数

井戸効率(Ew)は次のように定義される。

$E_w= \frac{ds_1}{ds_1+ds_2+ds_3+ds_4}$ (8)

式(8)に式(2)~(5)を代入し、右辺の分母、分子をB1Qで割ると以下のように表わせる。

$E_w= \frac{1}{(1+B_1/B_2)+Q(B_3+C)/B_1}$ (9)

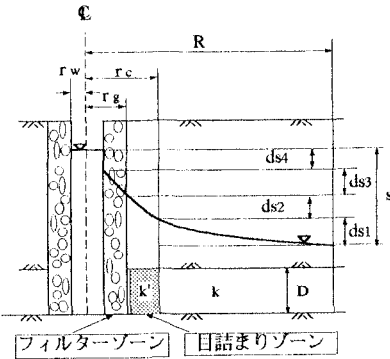


図-1 復水時の損失水頭

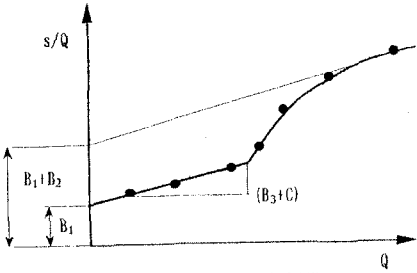


図-2 諸係数の算定図

式(9)の係数B1、B2、B3、Cの算定方法は、段階注水試験結果から得られた復水位内水位上昇量(s)と注入流量(Q)の関係から、(s/Q)と(Q)を算定し、計算結果を図-2に示すように整理する。ここで、図-2の初期直線部分は目詰まりが発生していない状態であり、B2=0である。この直線部分の縦軸との切片からB1

を、直線の傾きから (B_3+C) を算定し、グラフ後期の直線部分から B_2 を算定する。この係数 $B_1, B_2, (B_3+C)$ を式(9)に代入して井戸効率を求める。

3. 室内段階注水試験

段階注水試験結果から、井戸効率(E_w)の算定方法の妥当性を検証するため、軸対称被圧モデルによる段階注水試験を行った。

(1) 試験装置及び方法

図-3に示す軸対称形状の実験土槽に、間隙比0.7透水係数 3.63×10^{-2} (cm/sec)の成田砂を被圧帯水層として作成した。実験土槽内の注水井の水位を初期値30(cm)から、水位上昇量(s)を4(cm)間隔で上昇速度0.025(cm/sec)により10段階に分けて、70(cm)まで上昇させる。この1回目の段階注水試験終了後、井戸内水位を70(cm)から8(cm)間隔で5段階に分けて初期水位まで降下させる回復試験を行う。この後、2回目の段階注水試験を行い、試験を終了する。各水位段階での注入流量をマリオットサイフォンで測定し、帯水層内の水頭分布を実験土槽の側面に取り付けたマンメーターで測定した。

(2) 試験結果

試験結果を (s/Q) と Q で整理した結果を図-4に示す。1回目の試験では $s=12$ (cm)までは、 (s/Q) は0.468であるが、それ以後、水位上昇にともない (s/Q) は増加し、 $s=40$ (cm)では0.56となる。回復及び2回目の試験では (s/Q) は0.56のままであった。このことから、1回目で与えた水位上昇量 $s=42$ (cm)以下の水位上昇量では目詰まりが進行していないことがわかる。諸係数は図-4から $B_1=0.468, B_2=0.092, (B_3+C)=0$ となる。諸係数の妥当性を以下で検証する。 $s=40$ (cm)と $s=12$ (cm)での帯水層内の透水係数分布を図-5に示す。この図から $s=40$ (cm)では、 $r_c=55.6$ (cm), $k_c=5.47 \times 10^{-4}$ (cm/sec)となる。図-3に示す帯水層条件で式(6), (7)から算定すると $r_c=55.8$ (cm), $k_c=5.86 \times 10^{-4}$ となる。したがって式(6), (7)で求めた r_c, k_c の値が妥当であることがわかる。なお、目詰まり領域は井戸から5(mm)程度であることがわかった。

4. おわりに

段階注水試験の結果を (s/Q) - Q 図に整理することによって土粒子移動による目詰まりを考慮した井戸効率を算定する手法が室内実験により十分妥当であることを確認できた。

(参考文献)

- 1) M. A. MARIO AND J. N. LUTHIN: SEEPAGE AND GRANDWATER, ELSEVIER SCIENTIF

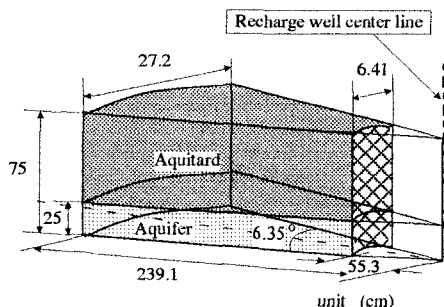


図-3 被圧帯水層モデル

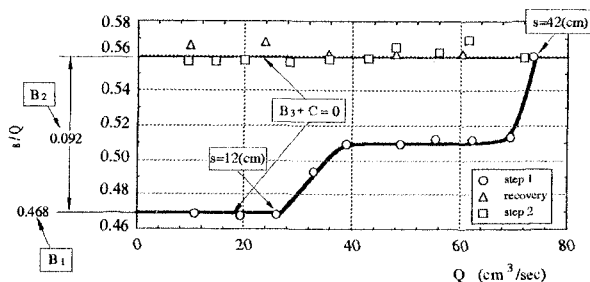


図-4 段階注水試験における (s/Q) - Q 曲線

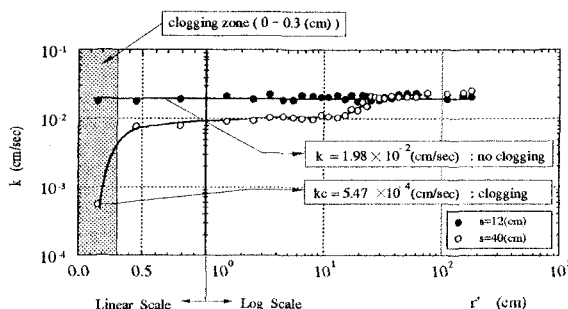


図-5 帯水層の透水性の変化図