

動的リチャージにおける最適運転設定

清水建設株式会社

正会員○高坂 信章

清水建設株式会社

正会員 久保 正顕

1. はじめに

地下水の揚水をとまなう地下工事において現場周辺地下水位の低下抑制などを目的としてリチャージ工法を採用することがある。リチャージ工法における最大の技術的課題は、注水の継続により注水井戸周辺に目詰まりが発生し、注水能力が低下、長期的に安定した注水性能を確保することが困難になることである。

長期的に安定した注水性能を維持可能な工法として、動的リチャージ工法を開発した。この工法は、注水量あるいは注水圧に変動を与えるもので、原位置実験を実施しその効果を確認した¹⁾。

本報では、この実験結果にもとづき、動的リチャージにおける最適な注水量変動幅、切替時間などの運転設定について考察する。

2. 動的リチャージ実験結果

動的リチャージ実験結果の一例として、平均注水量 $Q = 0.01\text{m}^3/\text{min}$ 、注水量変動幅 $\Delta Q = 0.001, 0.005\text{m}^3/\text{min}$ 、切替時間 $t = 5\text{min}$ の矩形波形状で注水量変動を与えた場合の実験結果を図-1に示す。横軸は注水開始からの経過時間、縦軸は注水井戸の注水性能を表す s/Q (min/m^2) で整理した。ここに、 s : 注水井戸内水位上昇量 (m)、 Q : 平均注水量 (m^3/min)。この図における s/Q の勾配が目詰まりによる性能低下を示すものであり、この勾配が小さいほど動的リチャージの効果が大きい。

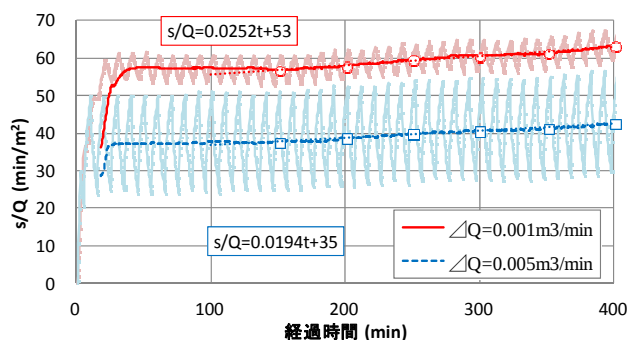


図-1 動的リチャージ実験結果例 注水性能経時変化

図-2 に平均注水量 $Q = 0.01\text{m}^3/\text{min}$ を一定として、注水量変動幅 ΔQ および切替時間 t を変化させた実験における注水性能低下勾配 $\Delta(s/Q)/\Delta t$ を示す。この図より、切替時間 t が長いとき、また、注水量変動幅が $\Delta Q = 0.002\text{m}^3/\text{min}$ のときに性能低下勾配が小さく、動的リチャージの効果が大きいことがわかる。

この注水井戸において実施した段階注水試験の結果を図-3に示す。注水量 Q が $0.015\text{m}^3/\text{min}$ より小さいときは注水量と井戸内水位上昇量がほぼ比例関係にあるが、注水量 Q が $0.015\text{m}^3/\text{min}$ を超えると急激に井戸内水位上昇量が大きくなる。この結果より、 $Q_c = 0.015\text{m}^3/\text{min}$ がこの注水井戸の限界注水量、これに対応する井戸内水位上昇量 $s_c = 0.72\text{m}$ が限界注水位といえる。また、注水井戸性能 $a = s/Q$ はこのグラフの直線部分の傾きから $48\text{min}/\text{m}^2$ と計算される。

3. 動的リチャージ時の井戸内水位モデル計算

動的リチャージによる注水量変化にともなう注水井戸内水位変動を計算する式(1)を誘導した。

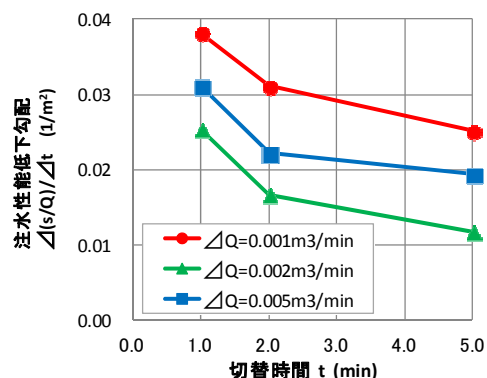


図-2 動的リチャージ実験結果 注水性能低下勾配

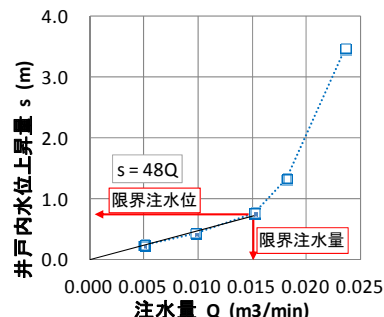


図-3 段階注水試験結果

キーワード 地下水、動的リチャージ、段階注水試験、目詰まり、切替時間

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋 2-16-1 TEL:03-3561-1111

$$\frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{1}{\pi^2} \left\{ Q_{in}(t) - \frac{s(t)}{a} \right\} \quad (1)$$

ここに、 Δs : Δt 間の注水井戸内水位変動量、 r : 注水井戸半径、 $Q_{in}(t)$: 時間 t における注水量、 $s(t)$: 時間 t における注水井戸水位上昇量、 a : 段階注水試験から決定される注水井戸性能。

式(1)を用いて動的リチャージ時の注水井戸内水位変動を逐次計算する。ただし、この式は目詰まりによる性能変化は考慮していない。

図-4 は平均注水量 $Q = 0.01 \text{ m}^3/\text{min}$ 、注水量変動幅 $\Delta Q = 0.001$ および $0.005 \text{ m}^3/\text{min}$ 、切替時間 $t=5\text{min}$ の場合の実験結果とモデル計算結果を比較し示したものである。両者はよく一致しており、式(1)により動的リチャージによる井戸内水位変動を精度よく計算できることがわかる。

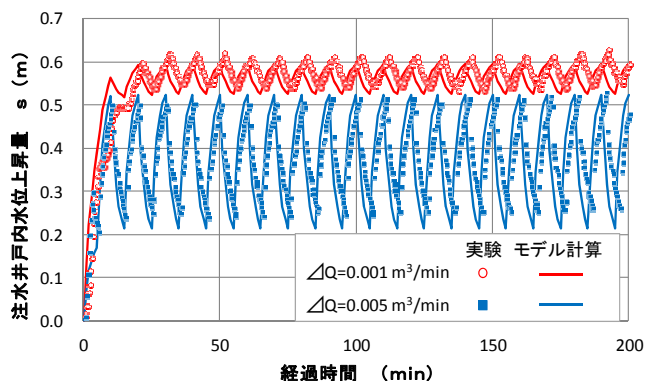


図-4 注水井戸内水位変動 実験結果とモデル計算比較

4. 最適運転の条件と設定事例

図-5 に平均注水量 $Q = 0.01 \text{ m}^3/\text{min}$ 、注水量変動幅 $\Delta Q = 0.005 \text{ m}^3/\text{min}$ として切替時間 t を 2, 10, 40min と変化させた場合の注水井戸内水位変化を式(1)により計算した。この計算において $r=0.15\text{m}$ 、 $a=48\text{min}/\text{m}^2$ とした。 $t=2\text{min}$ の場合、 $t=10, 40\text{min}$ の場合に比べて注水井戸内水位変動が小さい。逆に $t=40\text{min}$ の場合は注水水位が一定となる時間が長時間継続する。

図-6 は平均注水量 $Q=0.01 \text{ m}^3/\text{min}$ 、切替時間 $t=10\text{min}$ として注水量変動幅を $\Delta Q=0.002, 0.005, 0.008 \text{ m}^3/\text{min}$ に変化させた場合の注水井戸内水位変化を式(1)により計算したものである。 $\Delta Q = 0.002 \text{ m}^3/\text{min}$ の場合は注水井戸内水位変動が小さい。逆に $\Delta Q = 0.008 \text{ m}^3/\text{min}$ の場合は限界注水位を超える注水井戸内水位上昇が生じている。

動的リチャージの効果を大きくとるためには、

- ① 注水井戸内水位変動幅を大きくとる

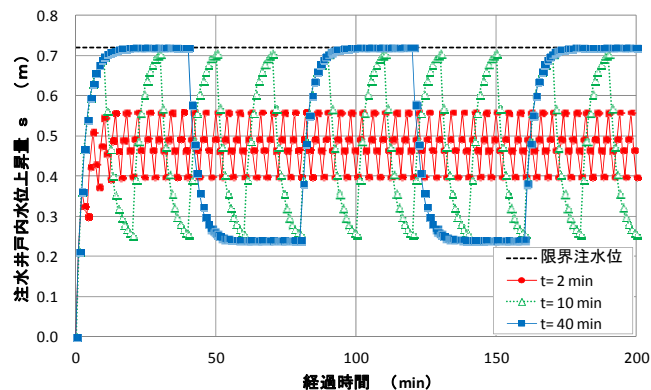


図-5 注水井戸内水位変動 切替時間による比較 ($\Delta Q=0.005 \text{ m}^3/\text{min}$: モデル計算結果)

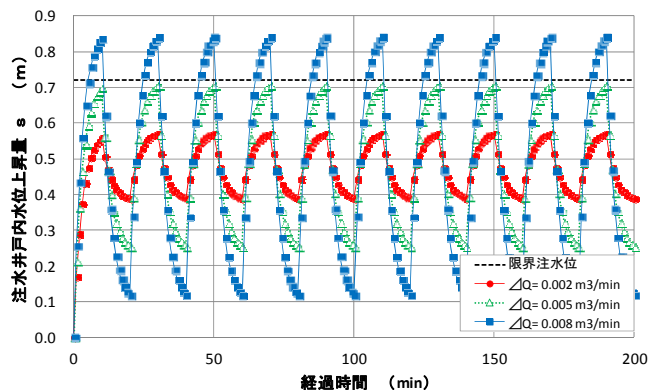


図-6 注水井戸内水位変動 注水量変動幅による比較 ($t=10\text{min}$: モデル計算結果)

- ② ただし、限界注水位は超えない

- ③ 注水水位一定の状況を長時間継続しない

などが、運転設定上の条件と考えられる。この観点から、計算上は $\Delta Q=0.005 \text{ m}^3/\text{min}$ 、 $t=10\text{min}$ 程度が最適運転条件といえる。ただし、 $\Delta Q = 0.005 \text{ m}^3/\text{min}$ の場合、目詰まり発生時に限界注水位を超える可能性がある。図-2 に示した実験結果において、 $\Delta Q = 0.005 \text{ m}^3/\text{min}$ よりも $\Delta Q = 0.002 \text{ m}^3/\text{min}$ のほうが動的リチャージの効果が大きいのはこの原因によると考えられる。なお、ここで示した最適運転条件は設定された井戸半径 r および井戸性能 a のもとでの計算結果であり、これらの条件により変化する。

5. おわりに

リチャージ工法における注水性能向上を目的とした動的リチャージ工法について、原位置試験結果にもとづき最適運転条件の設定に関する考え方を示し、モデル計算によりその設定事例を示した。今後、現場適用によりデータ検証を行い、本工法のブラッシュアップを図る予定である。

【参考文献】

- 1) 高坂信章，久保正顕：動的リチャージ工法の原位置試験，日本地下水学会 2011 年秋季講演会講演要旨，pp.98-103, 2011.