

循環型地下水制御工法（エコリチャージ工法）の開発

酒谷 弘行^{*1}・柳 博文^{*2}

概 要

地下水位低下工法においては、地下水位の低下が広範囲におよぶため、井戸枯れや地盤沈下が発生する恐れがある。この問題を解決する方法として、リチャージ工法（復水工法）を併用する方法がとられる場合があるが、従来の方法では復水の効率が悪く、復水井戸の径は太くなり、本数も多く必要となる傾向があった。

そこで、復水工法をより効率的に行う方法として、高圧注水による復水を行う新しい工法の開発を行い、その有効性を確認するために連続した注水試験を行った。その結果、連続して安定した注水が可能であることを確認できた。

キーワード：地下水位低下工法，リチャージ，注水試験

DEVELOPMENT OF CIRCULATING TYPE GROUNDWATER CONTROL METHOD
(ECO-RECHARGE)Hiroyuki SAKAYA^{*1} Hirofumi YANAGI^{*2}

Abstract

In dewatering practice, groundwater level lowers in an extended area, which could cause wells to dry up and ground to settle. As a solution for this problem, the recharge method was used with dewatering in some cases. However, in the conventional practice, the recharge efficiency is poor and the recharge well diameter tends to be large, and many wells are required.

To achieve more efficient recharge practice, a new recharge technique was developed using high-pressure water feed. Aimed at confirming its effectiveness, a continuous water feed test was conducted. The test results showed the capability of continuous stable water feed.

Keywords: dewatering, recharge, water feed test

*1 Material / Structure Group, Engineering Technology Center, Engineering Division

*2 Geotechnical Engineering Group, Engineering Technology Center, Engineering Division

循環型地下水制御工法（エコリチャージ工法）の開発

酒谷 弘行^{*1}・柳 博文^{*2}

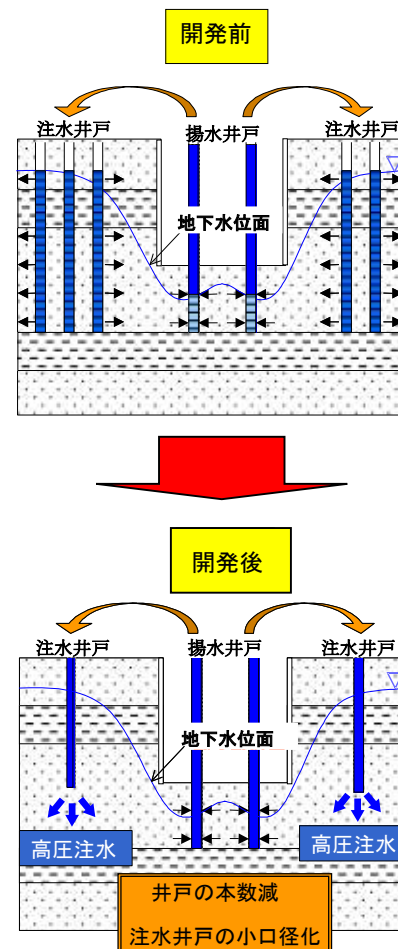
1. はじめに

地盤掘削工事においては、地下水位の位置によっては地下水の湧出を適切に抑制する必要がある。その対策が十分でない場合は、地下水の湧出に伴う地表面の陥没などが発生し、重大な事故に結びつく恐れがある。

地下水の湧出を抑える工法としては、薬液注入による地盤改良工法やディープウエルなどによる地下水位低下工法などが通常行われている。しかし、薬液注入に関しては、薬液注入時における地表面の隆起や、施工のばらつきによる改良地盤からの出水などの問題が発生する可能性がある。また、地下水位低下工法に関しては、前述した地表面の隆起などの発生はないものの、地下水位の低下が広範囲におよぶため、井戸枯れや地盤沈下が周辺地域の広い範囲で発生する可能性がある。

このような問題を解決する方法として、地下水位低下工法にリチャージ工法（復水工法）を併用する方法があり、実際に施工も行われている。この方法により、地下水の湧出を抑制しつつ、井戸枯れや地盤沈下の発生を抑えることができる。しかし、従来のリチャージ工法では、地下への復水はほぼ自然流下による方法がとられているため、復水の効率は悪く、復水する量を確保するためには井戸の径を太くし、本数も多くすることが必要となる。また、時間の経過にとともに復水効率が低下し、逆洗浄を何回も行うことが多い。この復水効率低下の原因としては、土粒子移動による目詰まりなどが考えられるが、逆洗浄以外に有効な対策がないのが現状である。

これらのことから、リチャージ工法をより



図—1 構造概要図

効率的に行う方法として、高圧注水により復水を促す工法の開発を行った。図—1に構造概要図を示す。

2. 新工法の特徴

この新工法では、高圧注水により復水を行うことで、復水効率の向上を図っている。その結果、自然流下による従来リチャージ工法と比べて、注水井戸の小口径化および本数の減少を可能としている。

*1 エンジニアリング本部 技術センター 材料・構造グループ

*2 エンジニアリング本部 技術センター 地盤グループ

さらに、従来リチャージに比べて注水井戸のストレーナー長が短いので、復水する地層および場所を選択することが可能であり、復水する位置や量を調節することにより、地下水位を制御することができる。例えば、低下した地下水位を戻したい場合は、比較的浅い場所に復水し、地下水位を上昇させる。また、地下水位を変動させたくない場合は、比較的深い場所や不透水層の下で復水を行うという具合に、地下水位の制御をある程度可能としている。

3. 目的

この新しい工法の効果を確認する目的で、開発した注水システムの高圧注水試験を実施した。試験は、(1)注水井構造確認試験、(2)連続運転試験の順におこなった。

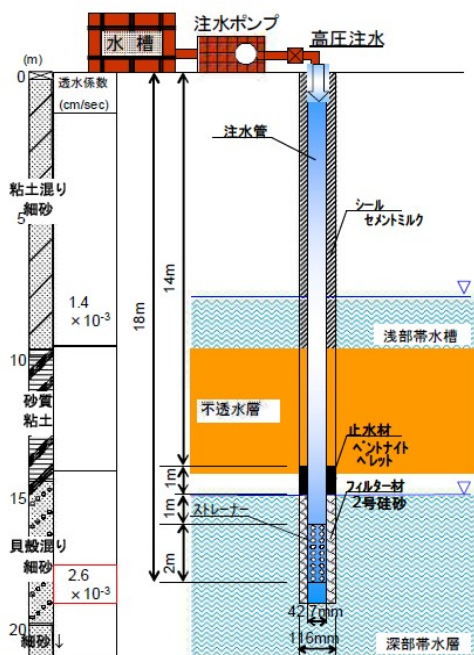
(1) では、小口径および簡素化された注水井戸による加圧注水の有効性と、注水井周辺からの地下水の逆流の有無を確認する。また、注水量と注水圧の関係を把握する。

(2)では、約1ヶ月間の連続運転に対して注水井の目詰まりなどの有無と、揚水・注水に対する運転システムの有効性の確認。また、流量、注水圧および周辺の地下水位を随時自動計測し、揚水・注水運転時における地下水位の変動状況を把握するとともに、井戸理論による計算結果と実験結果を比較することで、井戸理論による地下水位計算の妥当性を確認した。

4. 注水井構造確認試験

4. 1 試験概要

開発した注水井の構造を確認する目的で、注水井構造確認試験を行った。注水試験概要図を図一2に、構造概要を表一1示す。注水管にはφ42.7mmの鋼管を使用しており、従来の注水井戸に比べかなり小口径となっている。さらに、注水を行うストレーナーは、先端2m区間（深度16～18m）のみとなっている。また、加圧注水であるため、逆流を防ぐ意味でフィルター材上部の遮水材にはセメントミルクを使用してい



図一2 注水試験概要図

表一1 注水井構造概要

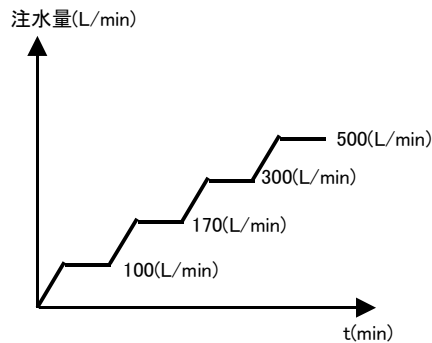
削孔	Φ116mm×18.7m
注水管	鋼管(Φ42.7mm×肉厚3.5mm) (SGP32A)
ストレーナー	Φ10mm@100mm(4列) (位置)-16m~-18m区間の2m
フィルター材	2号珪砂
遮水材	セメントミルク 2m $\sigma_c=25\text{N/mm}^2$

る。注水は、貯水槽に貯めた水を、注水ポンプにより加圧し、注水井から地下に対し注水している。

試験は、千葉県成田市に位置する当社技術センター敷地内にて行った。地質状況としては、主として上部の粘土混じり細砂層、砂質粘土層（不透水層）、下部の貝殻混じり細砂層から構成され、地下水は砂質粘土層をはさんで上部と下部の2つが存在する。今回の試験では、不透水層以深の透水性の良い細砂層（透水係数 $k=2.6 \times 10^{-3}$ cm/sec）に注水を行った。

注水は、 $20\text{m}^3 \times 2$ 基の貯水槽（水道水）から注水ポンプにより流量制御で行った。ポンプの圧力の状態を確認しながら、**図一3**に示すように注水量を段階的に増加させていった。

計測は、注水量をパルス発信型流量計で、注



図—3 注水パターン例

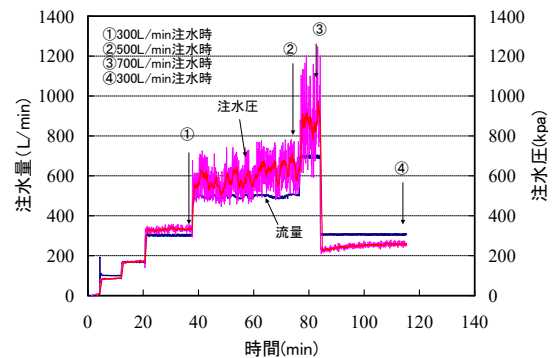
水圧を圧力変換器で、それぞれ計測した。計測は自動計測で、10秒間隔でデータを収集した。

4. 2 試験結果

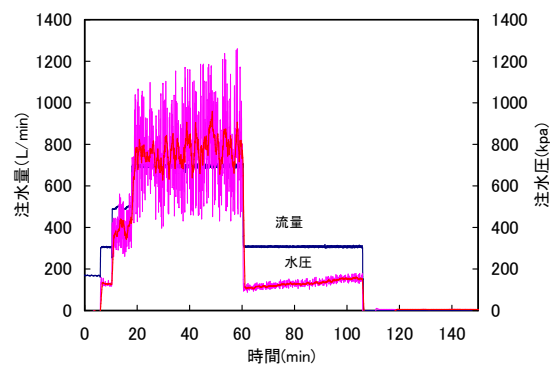
図—4 に注水圧と注水量の経時変化を示す。注水量100→170→300→500→700→300L/minと変化させ約115分間注水した。500L/min注水時には注水圧約600kPaで約40分間注水したが、貯水槽容量（20m³×2基）の制約から長時間の注水は実施していない。最大で約700L/min（10分程度）の注水をおこない、平均的な注水圧は約900 kPaまで上昇した。このとき、注水井のセメントシールからの地下水の逆流はみられなかった。さらに、図—5 にしめすように、再度注入量700L/minを注入圧約800 kPaで40分間、300 L/minを注入圧約130 kPaで40分間注入したが、注水井周辺からの地下水の逆流は見られなかった。

このような結果から、開発した注水井構造による地下への高压注水は十分可能であることが確認できた。

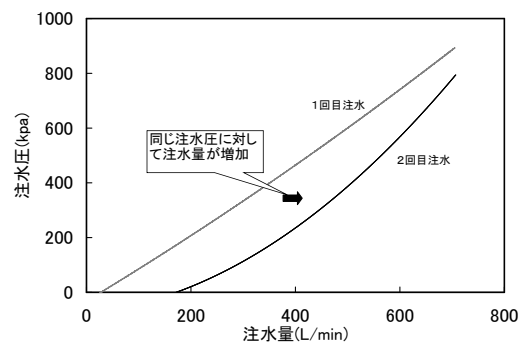
図—6 に1回目と2回目の注水における注水圧と注水量の関係をしめす。ここでは、注水圧と注水量の関係はほぼ比例関係になっている。この関係を把握することは、注水量や注水井の必要本数などを決定する上で非常に重要である。しかしながら、地盤によってこの関係は大きく変わるものと思われ、今後、それぞれの現場における注水試験のデータを蓄積し、この関係について把握して行く必要があると考えられる。また、1回目と2回目の注水を比べると、2回



図—4 注水圧と注水量の経時変化（1回目）



図—5 注水圧と注水量の経時変化（2回目）



図—6 注水圧と注水量の関係

目の方が同じ注水圧に対して注水量が増加している傾向があることから、注水圧を変動させることにより、注水量を増加させることができる可能性がある。

5. 連続運転試験

5. 1 試験概要

注水井構造の確認試験後、透水性能の経時変化や運転システムの有効性、および地下水位変

動状況を確認することを目的として、連続運転試験を約4週間行った。連続運転試験の井戸配置図を図一7に示す。揚水井1本と、先の注水井構造確認試験と同形式の注水井2本および観測井19本を図のように配置した。図中の破線で示したラインをA, B, Cラインとした。注水システムについては、揚水した地下水を1つの加圧ポンプを使い、2本の注水井で注水を行った。揚水された地下水はサンドセパレータなどの濾過装置により砂分を分離し、受水槽に貯水する。そこから注水ポンプを使って2本の注水井に分担して注水される。それぞれの注水井の注水量はバルブによる調節が可能となっている。計測は、揚水量、注水量、注水圧、および各観測井の地下水位を自動計測し、それぞれのデータをパソコンの画面上に表示し、管理を行った。

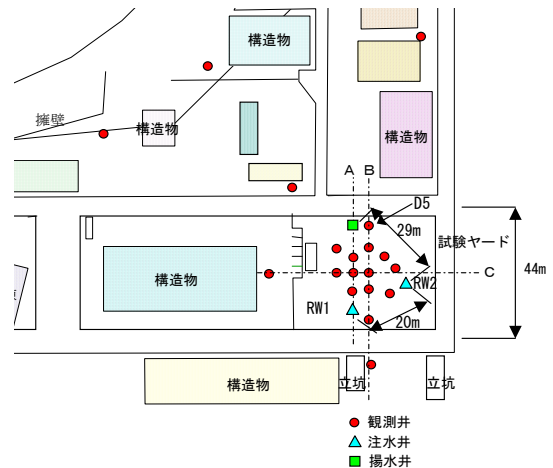
5. 2 試験結果

揚水・注水の流量経時変化を図一8に示す。試験結果では、2本の注水井で注水量に差異を生じているが、バルブ調整により注水井の注水量を調整することにより、同程度の注水量となるようにした。また、長期の連続注水において、注水により帯水層内の細粒分が移動し、注水圧・動水勾配に応じた目詰まり現象が懸念されたが¹⁾²⁾、今回の試験では顕著な目詰まりは確認されず、2本の注水井合計の、注水量の減少は見られなかった。

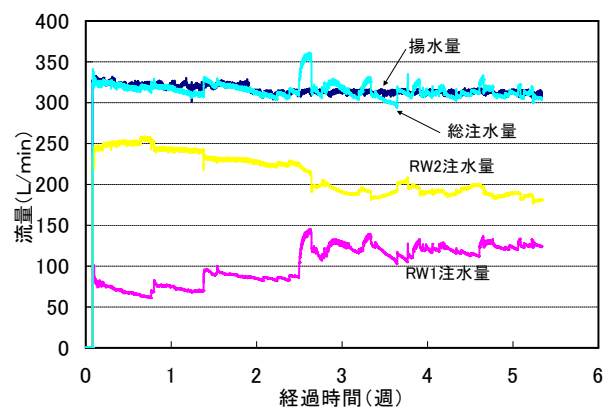
図一9に注水圧の経時変化をしめす。試験開始時は、注水圧が450 kPa程度まで上昇したが、最終的には約130 L/minの注水を、約350kPa程度の注水圧で行うことができた。

最終的には総流量約15000m³の地下水を放流することなく揚注水できた。これにより、このシステムによる連続運転が十分可能であることが確認できた。

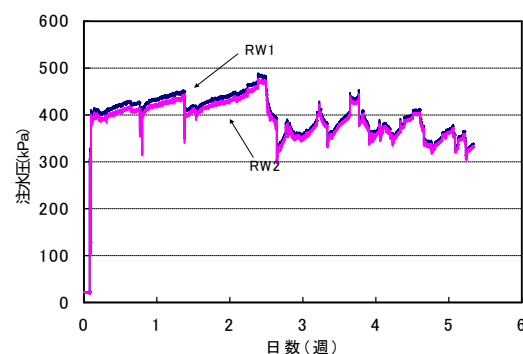
図一10～12にA, B, C各ラインにおける地下水位の変動状況および計算結果を示す。A, B, C各ラインは図一7で示した破線のラインの地下水位状況を表している。図中には、事前に行った現場透水試験等を基にして井戸理



図一7 井戸配置図

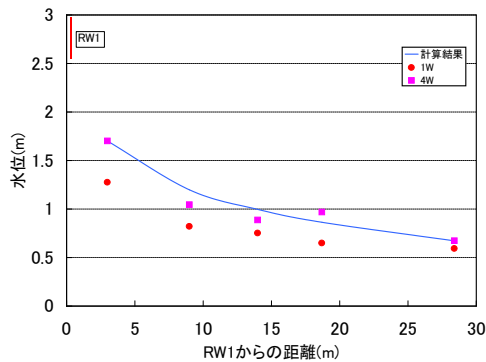


図一8 流量の経時変化

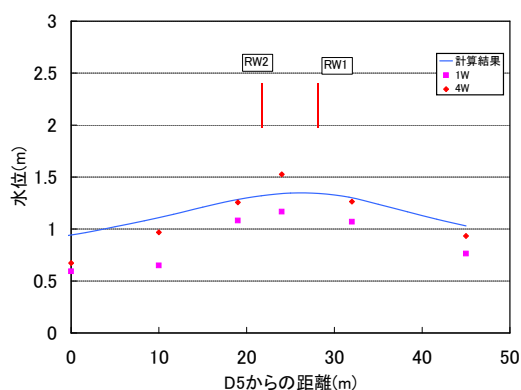


図一9 注水圧の経時変化

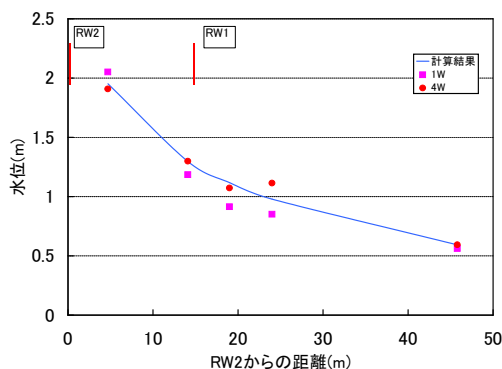
論による非定常計算を行った結果（1週目）も合わせて示している。いずれのラインにおいても、おおよそ20cm～40cm程度の水位の動きはあるが、おおむね地下水位は安定している。計算結果は、ほぼ定常状態になったと考えられる1週目の地下水位ラインである。試験結果と比較すると、若干大きくなっているが、概ねその傾向は一致している。これにより、ほぼ一様な地



図一 1 0 Aラインの地下水位状況



図一 1 1 Bラインの地下水位状況



図一 1 2 Cラインの地下水位状況

盤ではあるが、井戸理論による非定常の計算で、地下水位ラインのおおよその推定が可能であることが確認できた。

6. まとめ

今回、循環型地下水制御工法（エコリチャージ

ジ）の開発において、リチャージ工法の復水効率の向上と、運転システムの構築を目的として、簡易的な小口径注水管による注水井構造確認試験および揚水・注水連続運転試験を実施した結果、以下のことが確認できた。

- 1) 注水井構造確認試験においては、最大注水量700L/minを注水し、水圧900kPaまでかけることができ、砂層において高圧での注水が可能であることを確認した。
- 2) セメントシールの止水性については、注水圧900 kPaの注水時でも地下水の逆流は見られなかった
- 3) 連続運転試験の結果、総量約15,000m³の揚注水ができ、連続した運転が可能であることがわかり、目詰まりの影響もほとんど無いことが確認できた。
- 4) 地下水位の変動については、非定常の計算によりおおよそ地下水位の変動を再現することが可能であることを確認した。これにより、所定の地下水位を得るために、効率的な井戸の配置を検討することができると考えられる。

以上のことから、簡易的な小口径注水井構造を使った揚水・注水の運転システムの有効性が確認され、復水効率を向上させる高圧注水の循環型地下水制御工法（エコリチャージ）の実施工への適用が可能となった。

今後は、実施工において、エコリチャージのシステムの更なる向上を図って行く予定である。

参考文献

- 1) 鬼木剛一ほか：復水工法における注水量の時間依存性の評価について，土木学会第47回年次学術講演会論文集第3部，pp. 1156-1157，1992. 9
- 2) 川端淳一ほか：目詰まり現象における最適動水勾配に関する実験的研究，土木学会第48回年次学術講演会論文集第3部，pp. 1066-1067，1993. 9