

# 加圧注水を併用したリチャージウェルによる復水工法の高効率化と適用範囲拡大 Efficiency Improvement and Application Expansion of Recharge Wells Using a Pressurizing Method

富安 祐貴 Yuki Tomiyasu  
 山田 祐樹 Yuki Yamada  
 吉本 和哲 Kazuaki Yoshimoto  
(ロボティクス生産本部)  
 児島 理士 Rihito Kojima

## 1. はじめに

掘削を伴う工事においては、掘削底の作業性や地盤の安定性を確保するために、仮設の井戸であるディープウェルを設置し、地下水位を低下させることが多い。地下水位の低下による敷地周辺への弊害が懸念される場合や、場外への排水量を削減する必要がある場合は、Fig. 1 に示す復水工法が採用される。復水工法では、ディープウェルで汲み上げた地下水を、同じく仮設の井戸であるリチャージウェルによって地中に注水する。しかし、地盤や工事の条件によっては、復水工法を採用できない、あるいは、採用しても採算性が見込めない場合があり、地下水対策の合理化技術が求められていた。

そこで筆者らは、リチャージウェルの注水量を加圧により増大させ、復水工法の適用範囲拡大にも繋がる工法を開発した。本報では開発した工法の特長や適用効果について紹介する。

## 2. 従来の地下水位低下工法の課題

1 章で述べたディープウェルによる地下水対策を採用する上では、次の点が課題となり易い。

- ・ 周辺の地下水の枯渇や、地盤および地下鉄等の地下構造物の沈下を引き起こす場合がある。
- ・ 敷地周辺の下水設備の有無や条件により、場外への排水量が制限される場合がある。
- ・ 公共下水への排水費用が高額となる場合がある。

これらの課題に対応する方法の一つが、同じく 1 章で述べた復水工法であるが、復水工法を適用するためには以下の条件を満たす必要がある。

- 1) 注水に適した地層（透水性が高く、地下水位が低い地層）が存在する。
- 2) 工事敷地内に井戸を設置する空間を確保できる。

こうした条件に適合せず、復水工法によって十分な注水流量を確保できない場合は、山留め壁（遮水壁）をより深くまで根入れさせる、地盤改良を併用する、など、コスト・工期の増大を招く対策を採用する必要があった。

## 3. 開発工法の概要

そこで筆者らは、従来の注水と加圧による注水を切り替え、リチャージウェルの注水流量を増大させる、加圧

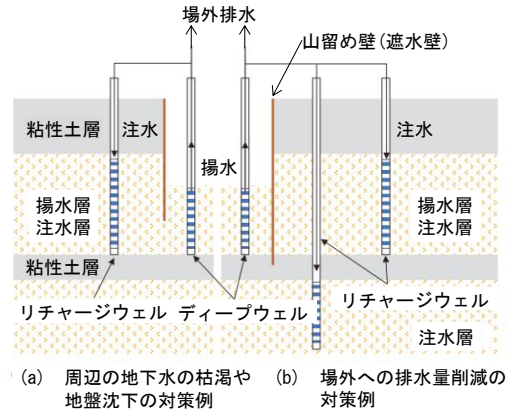
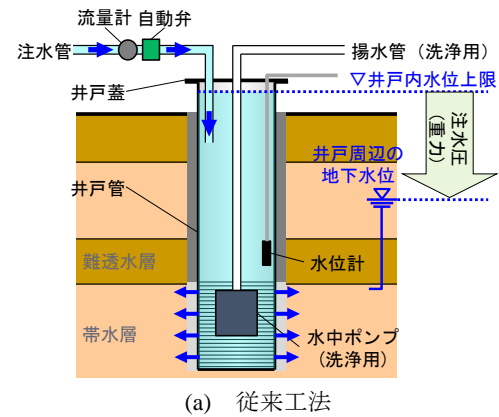
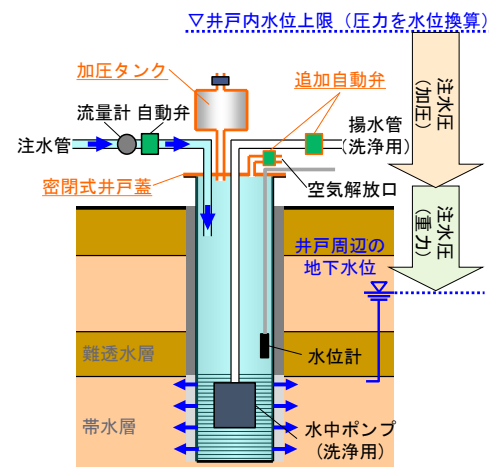


Fig. 1 復水工法の概要<sup>1)</sup>  
Outline of Recharge Method



(a) 従来工法



(b) 開発工法

Fig. 2 従来工法と開発工法の構成  
Composition of Prior Method and Developed Method

併用型注水工法（以下、開発工法）を開発した。

Fig. 2 に従来工法と開発工法の構成を、Photo 1 に開発工法を適用したリチャージウェルを示す。

Fig. 2 (a) に示すように、従来のリチャージウェルは、井戸管、井戸蓋、注水管、水中ポンプ、揚水管で構成されている。注水管を経由して井戸内に溜められた水は、井戸周辺の地下水位との差圧、すなわち水の自重によって地中へ注水される（以下、重力注水と呼ぶ）。したがって、地下水位が高くなるほど注水可能な流量は少なくなる。なお、注水管には流量計と自動弁が、井戸内には水位計が設置されているが、これらは注水流量のコントロール等に用いるものである<sup>2)</sup>。

一方、Fig. 2 (b) と Photo 1 に示す開発工法では、これらに加えて、「加圧タンク」、「密閉式井戸蓋」、「追加自動弁」を設置する。これらの追加設備によって、重力注水と圧力を加えた状態の注水（以下、加圧注水と呼ぶ）を適宜切り替えることが可能となる。加圧注水を行うと、井戸の内圧と井戸周辺の地下水位の差圧が従来（井戸内に溜められた水の自重）よりも大きくなるため、井戸 1 本あたりの注水流量が増大する。したがって、2 章の適用条件 1) が厳しい場合においても、少ない井戸本数で必要な注水流量を確保できる。

リチャージウェルの注水流量が不足する場合、従来は、

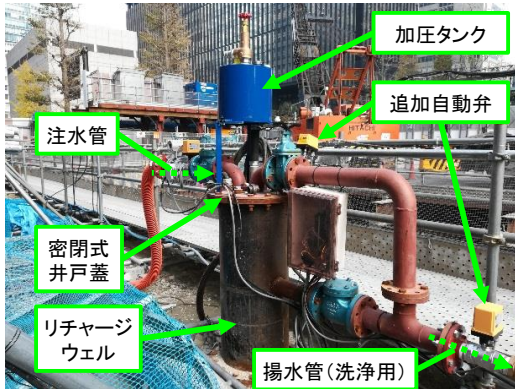


Photo 1 開発工法を適用したリチャージウェル  
Recharge Well Applied Developed Method

井戸管を地上数 m の高さまで立ち上げて地下水位との差圧を確保していた。この方法ではリチャージウェルのメンテナンス専用の足場が必要となるため、現場の作業性の低下に繋がっていた。一方、開発工法では、加圧注水によって注水流量を確保しつつ、足場が不要となる地上 1m 程度の高さまでリチャージウェルを低空頭化することができる(Fig. 3)。また、さらなる低空頭化によりリチャージウェルの上端を地下化し、地表レベルの動線を確保する用途も考えられる。開発工法では最大で水位 10m 相当の加圧が可能であるため、例えば、従来工法で地上 7~8m 程度までリチャージウェルを立ち上げなければならなかった条件下でも、地下 1 階レベルまでリチャージウェルを低空頭化することが可能である。以上のように、開発工法によって、2 章の適用条件 2) が厳しい場合においても復水工法を採用し易くなる。

#### 4. 開発工法の仕組み

##### 4.1 注水時の流れ

開発工法では、主に追加自動弁の動作により重力注水と加圧注水を切り替える。注水の流れは、Fig. 4 および下に示す通りである。

【Step 1: 重力注水】注水管、揚水管、空気解放口の自

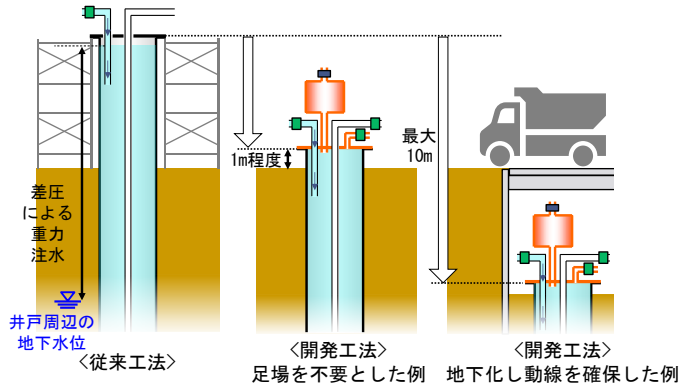


Fig. 3 開発工法による空間の有効活用  
Spatial Use by Introducing Developed Method

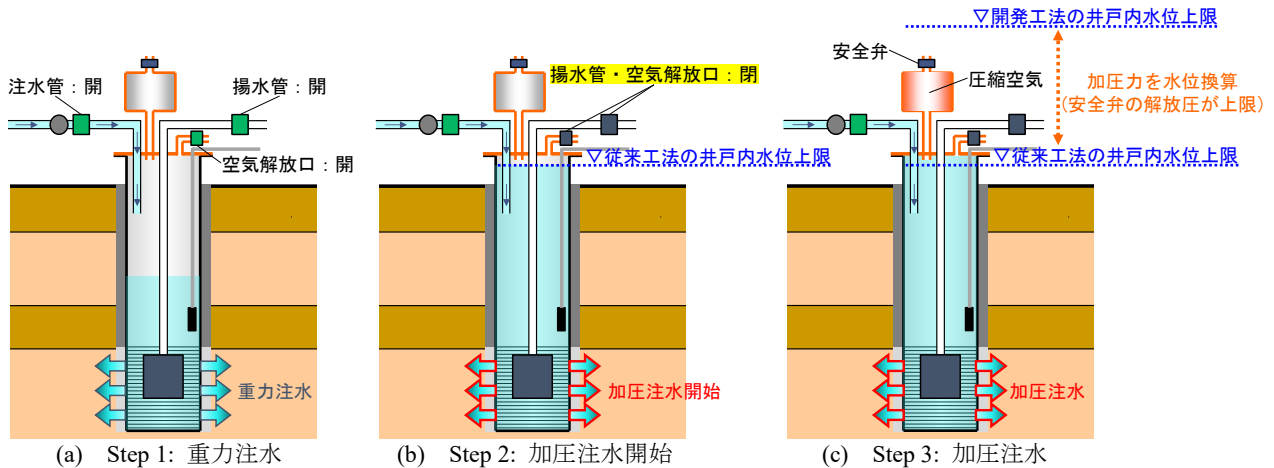


Fig. 4 開発工法における注水の流れ  
Recharge Process of Developed Method

動弁を開いた状態で、従来工法と同様に重力注水を行う。

【Step 2: 加圧注水開始】注水の継続によって井戸内の水位が上昇し、井戸の上端付近に達したことを水位計が検知すると、揚水管・空気解放口の自動弁が閉じ、井戸が密閉状態に切り替わる。従来工法では、この時点で水が井戸上端からオーバーフローし始めるため、これ以上注水を継続することはできない。

【Step 3: 加圧注水】密閉状態で注水を継続すると、井戸内の圧力が上昇し、井戸内に残った空気は加圧タンク内で圧縮される。このときの加圧力によって従来工法よりも大きな注水流量が得られる。ただし、加圧タンクには安全弁が設けられており、所定の圧力以上には加圧されない。また、圧縮された空気が加圧タンク内に集約される仕様になっているのは、確実な気密性・耐圧性により井戸内の圧力と安全性を確保するためである。

## 4.2 揚水洗浄時の流れ

一般に、リチャージウェルで長期的に注水を継続すると、井戸周辺のフィルター材や地盤に細粒分などが蓄積し、目詰まりが生じる。目詰まりが生じると注水時に井戸内の水位が急速に上昇するようになり、結果的に注水可能な流量が減少してしまう。そのため、リチャージウェルでは定期的に揚水洗浄を行い、井戸周辺の細粒分を除去する必要がある。開発工法では、この揚水洗浄においても井戸内の圧力を利用する。揚水洗浄の流れは、Fig. 5 および以下に示す通りである。

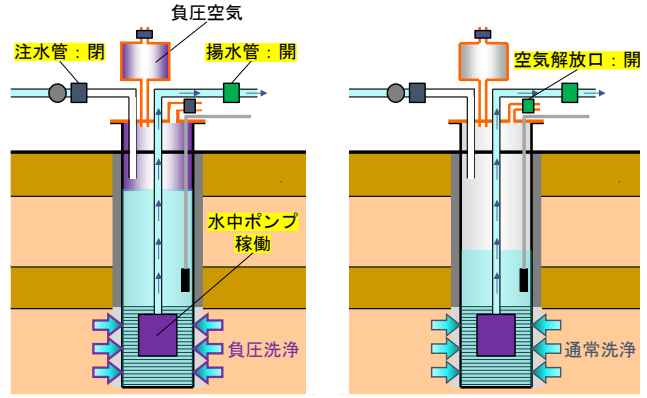
【Step 4: 負圧洗浄】加圧注水中に目詰まりが進行し、圧力が所定の値に到達すると、注水管の自動弁が閉じ、揚水管の自動弁が開く。さらに、水中ポンプが稼働して揚水洗浄を開始する。このとき、空気解放口の自動弁は閉じたままであるため、井戸内は揚水によって負圧状態となる。これにより、通常の大気圧下での揚水洗浄よりも強力に細粒分を除去する。

【Step 5: 通常洗浄】負圧洗浄により井戸内の圧力が所定の値まで低下すると、空気解放口の自動弁が開き、通常の大気圧下での揚水洗浄に切り替わる。これにより井戸内の水位を一度低下させ、水中ポンプを停止した後Step 1 の通常注水に戻る。

## 5. 開発工法の適用効果

### 5.1 注水流量の増加の確認

Fig. 6 に、開発工法を適用した井戸の段階注水試験結果を示す。試験では、段階的に注水流量を増加させ、井戸内水位を記録した。なお、加圧注水時の水位は、井戸内の圧力を水位に換算した値である。図より、注水流量 500L/min(0.5m<sup>3</sup>/min)の段階で、水位が井戸上端レベルである GL+1.0m を超えたことが分かる。従来工法では、この前段階の 400L/min(0.4m<sup>3</sup>/min)程度が注水流量の限界となる。しかし、開発工法では、その後も加圧状態で注水を継続可能であり、500L/min(0.5m<sup>3</sup>/min)以上の注水が可能であった。以上の試験結果より、加圧注水によって井



(a) Step 4: 負圧洗浄 (b) Step 5: 通常洗浄

Fig. 5 開発工法における揚水洗浄の流れ  
Washing Process of Developed Method

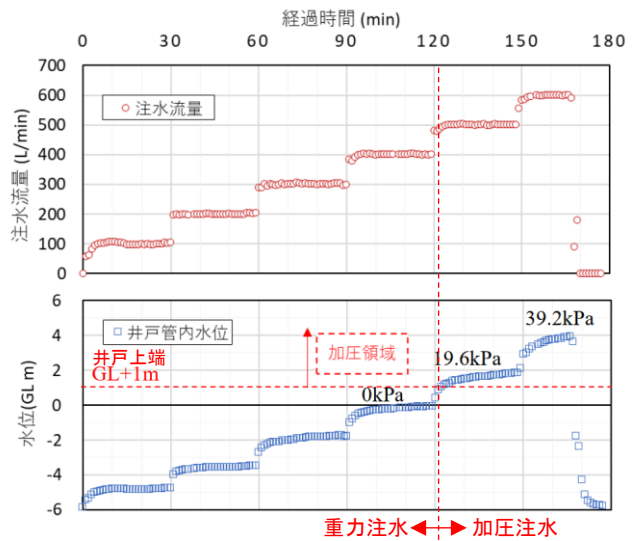


Fig. 6 開発工法を適用した井戸の段階注水試験結果<sup>3)</sup>に加筆  
Recharging Test Introducing Developed Method

戸 1 本あたりの注水流量が増大することが分かる。

### 5.2 場外への排水量を削減した適用例

ここで、開発工法の適用例として現場 A について述べる。現場 A では、盤ぶくれ対策としてディープウェルを施工し、地下水位を低下させた。また、これに伴う場外への排水量を削減する目的で復水工法を採用した。

現場 A では、山留め壁の外周に 11 本のリチャージウェルを施工した。Fig. 7 に、例として、リチャージウェルのうち 1 本の注水流量と井戸内水位の推移を示す。80L/min(0.08m<sup>3</sup>/min)で注水を開始したところ、次第に井戸内水位が上昇し、開始から 5 日後に加圧注水へ移行した。その後、揚水洗浄を行いながら加圧注水を継続し、注水流量は一定値を維持することができた。Fig. 8 には、各リチャージウェルの累積注水量の内訳を示す。Fig. 8 に示すように、加圧注水量の比率は 0~34% となっており、井戸によって異なる結果となった。これは、重力注水だけでは処理が追い付かないリチャージウェルのみ加圧注

水へ移行したためである。現場 A 全体としては、開発工法の適用により 1 割程度、注水量が増加した。

一般に、リチャージウェルの性能は地盤条件によってばらつきが生じやすく、実際の注水量が計画時の想定を下回るケースも多い。開発工法は、従来のリチャージウェルに追加設備を後付けするのみで成立するため、井戸の施工が完了した後に、注水量が不足する箇所のみを開発工法で補う、といった適用方法も考えられる。

### 5.3 敷地の制約に対応した適用例

次に、敷地の制約が厳しい条件下で復水工法の適用を可能とした現場 B について述べる。同工事においても、盤ぶくれ対策としてディープウェルによる地下水位の低下が必要であった。これに伴い、場外への多量の排水が予測されたが、敷地の余裕が少ないため山留めの外側にはリチャージウェルを 1 本しか設置できない状況であった。また、現場 B では逆打ち工法を採用しており、先行施工した 1 階床を車両動線や資材置場として利用する計画であった。そのため、山留めの内側に従来工法のリチャージウェルを設置すると、井戸の上端が 1 階床上から突出し、工事全体の作業性を大きく低下させることとなる。そこで、開発工法を適用し、山留めの外側の 1 本に加えて、山留めの内側の地下に低空頭化しリチャージウェルを 7 本設置した (Photo 2)。その結果、1 階床上の空間を仮設計画に活用しながら、合計 8 本のリチャージウェルで注水を行うことが可能となった。

## 6. おわりに

加圧注水を併用したリチャージウェルによる開発工法は注水流量を増大させ、また、従来は困難だった条件下でも復水工法の適用を可能とするものである。今後も掘削を伴う工事に開発工法を展開し、必要な改善を加えることで地下水対策のさらなる合理化に貢献していきたいと考えている。

### 参考文献

- 1) 山田, 元井, 富安: 地下水リチャージ工法の課題と現状, 基礎工, Vol.49, No.6, pp.18-21, 2021.6
- 2) 山田, 森尾, 山本, 古屋, 沼崎, 吉本: ICT を活用した地下水管理技術, 大林組技術研究所報,

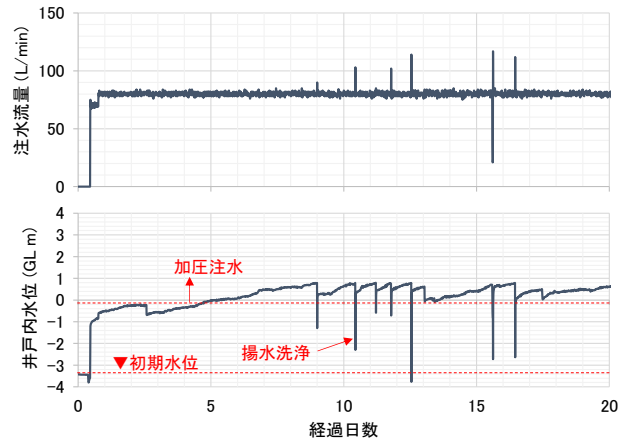


Fig. 7 注水流量と井戸内水位の推移 (現場A)  
Recharging Flow Rate and Water Level (Site A)

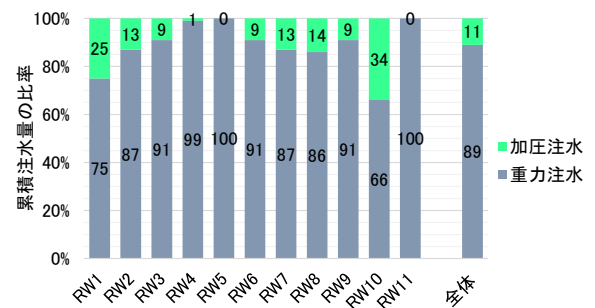


Fig. 8 累積注水量の内訳 (現場A)  
Breakdown of Total Recharged Quantity (Site A)

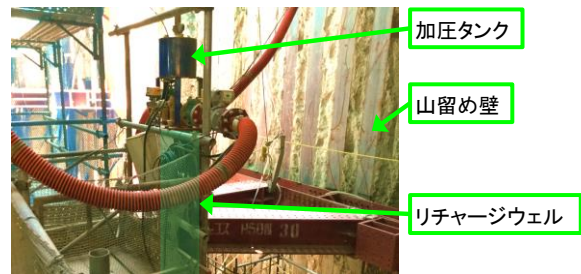


Photo 2 地下に低空頭化しリチャージウェル (現場B)  
Recharge Well Laid Underground (Site B)

No.78, 2014.12

- 3) 児島, 山田, 富安: 加圧注水が可能なりチャージウェルの段階注水試験, 2021年日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.401-402, 2021.9