

エコリチャージの復水効率向上に関する開発

柳 博文*1・栗栖 基彰*2・西村 知晃*3

概 要

地下水位の高い条件下での掘削工事において地下水を低下させる場合、地下水を下水道に放流すると莫大な費用が発生するため、注水井で地下に還元するリチャージ工法がある。その中に、汲み上げた地下水を高圧注水により地盤に還すことで、効率的に地下水涵養を図るエコリチャージ工法がある。本工法は、線路下横断工事の地下水対策として採用されているが、上部層が軟弱な地盤において、注水井周りから地下水の漏出が確認された事例があった。

そこで、エコリチャージ工法の更なる注水効率の向上と地下水の漏出防止を図るため、軟弱な上部粘性土層への改良体造成、注水層地盤の噴射攪拌による注水能力の確認を行った。ここでは、開発概要と現地における注水試験の結果について報告する。

キーワード：地下水位低下・リチャージ・揚水・線路下横断

IMPROVEMENT OF WATER RECHARGE EFFICIENCY OF ECO RECHARGE

Hirofumi YANAGI *1, Motoaki KURISU *2, Tomoaki NISHIMURA *3

Abstract

When groundwater levels are reduced in excavation projects when groundwater levels are high, discharging of groundwater into the sewage system would involve enormous costs. The recharge method solves this problem by returning ground water into the ground using injection wells. A variation of the recharge method is an eco-recharge method, which facilitates efficient recharging by returning the pumped water into the ground using high-pressure injection. This method is adopted as a groundwater countermeasure in construction when crossing under tracks, but there were cases of groundwater leaks from the area around the recharge well in the ground with a soft upper layer. In order to further improve the injection efficiency of the eco-recharge method and prevent groundwater leaks, the authors improved the ground soil to ensure the applicability of the method in soft and cohesive upper soil layers and confirmed the injection capacities through jet mixing in the injection layer ground. This paper presents an overview of the development process and reports on the results of the injection tests.

Keywords: groundwater level reduction, recharge, pumping, crossing under tracks

*1 Manager, Foundation / Structure Group, Research and Development Center, Construction Technology General Center

*2 Manager, Under Ground Structure Group, Civil Engineering Technology Department, Civil Engineering Division

*3 Under Ground Structure Group, Civil Engineering Technology Department, Civil Engineering Division

エコリチャージの復水効率向上に関する開発

柳 博文*1・栗栖 基彰*2・西村 知晃*3

1. はじめに

地下水位の高い条件下での掘削工事において地下水を低下させる場合、地下水を下水道に放流すると莫大な費用が発生するため、注水井で地下に還元するリチャージ工法がある。その中に、汲み上げた地下水を高圧注水により地盤に還すことで、効率的に地下水涵養を図るエコリチャージ工法（循環型地下水制御工法）^{1),2),3)}がある。

本工法は、JR 横須賀線および東海道新幹線と都市計画道路との立体交差化に伴い、線路下にて非開削工法にて道路函体を構築し、現在の踏切を除却する線路下横断工事の地下水対策として採用されているが、上部層が軟弱な地盤において、注水井周りから地下水の漏出が確認された事例があった。

そこで、エコリチャージ工法の更なる注水効率の向上と地下水の漏出防止を図るため、軟弱な上部粘性土層への改良体造成、注水層地盤の噴射攪拌による注水能力の確認を行った。ここでは、試験概要と現地における注水試験の結果について報告する。

2. エコリチャージ工法の概要

本工法の概要を図-1に示す。揚水した地下水を重力により復水する従来のリチャージ工法では、注水量をコントロールできないため、期待通りの効果が得られず、揚水した地下水を下水などに排水するが多かった。本工法では、揚水した地下水を加圧して地盤に戻すことで、注水量を増加させ、下水などへの排水を少量にするものである。注水圧の増減により注水量を

制御できるほか、1本当たりの注水量を増加させることで稼働させる注水井の本数を減らすことが可能になる。また、下水道への排水を少なくすることでコストの縮減になる。

3. 試験目的および概要

地盤と注水井界面からの漏水防止、また復水効率の向上あるいは回復を目的に試験を行った。

試験は、以下の2ケースについて実施した。

Case1: 漏水が発生した既設注水井①（注水箇所：武蔵野礫層）での試験

この試験では、不透水層であった上部粘性土付近に地盤改良体（以下、遮水体）を造成し、かつ既設注水井のストレーナー付近の地盤（武蔵野礫層）に高圧噴射して地盤を乱した。この対策を行うことで、注水井の復水効率の回復と地上への漏水の防止が可能であるかを確認した。

Case2: 新規に設置した注水井②（注水箇所：東京礫層）での試験

注水する地盤（東京礫層）を高圧噴射で乱した後、新規に注水井を構築し、復水効率の向上

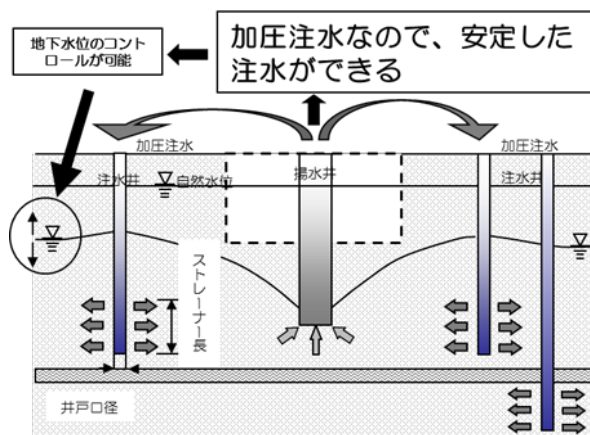


図-1 エコリチャージ工法の概要

*1 建設技術総合センター 研究開発センター 基礎・構造グループ グループリーダー

*2 土木本部 土木技術部 地下構造グループ グループリーダー

*3 土木本部 土木技術部 地下構造グループ

が可能であるかを確認した。

4. 現場試験

4.1 試験場所の地盤条件と注水井構造

表-1に、リチャージに用いる注水井の構造概要を示す。注水井は、φ60.5mm 鋼管を使用した小口径井戸であり、圧力管理により先端2m の特殊ストレーナー管から加圧注入を行うものである。図-2にこの注水井の井戸構造図と、試験を実施した現地の地盤条件を示した。地表面より約-5m から約-11m 地点に武蔵野礫層(透水係数 $k=3.0 \times 10^{-2} \text{cm/s}$)、約-26m～約-33m 地点に東京礫層($k=2.9 \times 10^{-3} \text{cm/s}$)が介在している。これらの礫層に対して2パターンの開発を実施し、注水試験を行うことでその効果を確認する。

4.2 既設注水井①の試験 (Case1)

工事における注水開始に先立ち、注水試験を実施したところ、一部の注水井で井戸周囲からの漏水が確認された。そこで、この付近において追加で地質調査ボーリングを行ったところ、図-2に示すように、腐植土層が堆積し、当初想定していた不透水層(以下、粘土層)が薄くなっていることがわかった。そのため、十分な遮水効果が得られず、井戸周辺に水みちができたことが、漏水の原因であると推定した。そこで、漏水した既設注水井①を使って、地表面より-4m 付近の粘土層から遮水のための遮水体1.5m 厚を造成し、さらに注水を行うストレーナー部分の透水性をよくするために、高圧噴射攪拌(CJG 工法の地盤改良兼用機を用いた高圧水噴射)を行って地盤を乱すことで、加圧注水による地上への漏水防止効果を試験的に確認する

表-1 注水井の構造概要

削孔管	φ116mm × 18.7mm
注水管	鋼管(φ60.5mm × t=3.8mm) (SGP50A)
ストレーナー管	50A
フィルター材	2号珪砂
止水材	セメントミルク $\sigma_c=25\text{N/mm}^2$

ことにした。遮水体の施工については、高圧噴射水攪拌と同一機械を使用し、粘土層付近へのセメント系固化材吐出により造成した。有効径は、対象の地層および施工条件により決定し、遮水体は2.0m、高圧噴射攪拌は1.0m とした⁴⁾。遮水体造成後1週間の養生期間をとり、注水を開始した。

4.3 新規注水井②の試験 (Case2)

図-2に示すように、注水層である地表から-29m 付近の砂礫層(東京礫層)に対して高圧(40MPa)での水噴射攪拌を行うことで、注水層地盤を乱し、透水性向上を図るものである。施工方法としては、Case1と同じ機械を使用して、井戸設置前に注水深度まで削孔、三重管ロッド先端に装着したモニターより超高压水と圧縮空気を噴射させながら、回転・引き上げることで地盤の攪拌(切削)を行う。この際、攪拌による地山の崩壊を防止するため、初期噴射時に増粘剤を添加して施工を行った。その後、地盤を乱した位置にストレーナーが配置されるように注水井を設置した。

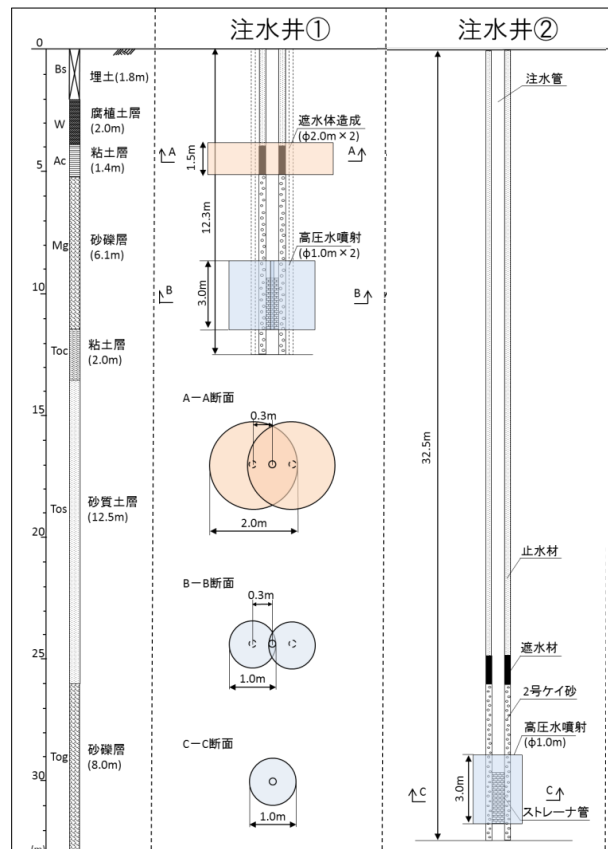


図-2 現地地盤条件と試験井戸構造

5. 現場試験結果

5.1 既設注水井①の試験

図-3に加圧注水を行った注水量と注水圧の経時変化を示す。試験前は注水できなかった(注水量 0L/min)が、注水圧 50~200kPa の間で注水可能となり、注水試験期間中の最大注水量は 240 l/min となった。このことは、遮水体の造成と高圧噴射水攪拌により、地上への地下水の漏水防止と地盤の透水性の向上に一定の効果があったと考えられる。また、図-4に注水量と注水圧の関係を示す。比較として、漏水のなかった同じ構造の注水井Aのデータをプロットした。注水井①の注水性能は注水井Aと同等以上になっていた。これらのことは、漏水した注水井を再生でき、エコリチャージの適用範囲を拡大できる可能性を示唆している。しかしながら、同じ注水圧であっても注水量にばらつ

きがあったことから、この変動を小さくし、安定した注水を行うことができるようにすることが課題になると考えられる。

5.2 新規注水井②の試験

注水層へ高圧水噴射攪拌を行った井戸について、試験開始後1ヶ月の注水結果を図-5に示す。注水効果を確認するため、噴射攪拌を行っていない近傍設置の注水井Bの結果も合わせて示した(注水層は東京礫層で同一)。注水開始直後は、噴射攪拌なしの井戸で約 70l/min であったのに対し、高圧水噴射攪拌を行った井戸では約 280l/min と、約4倍の注水効率が確認された。

その後圧力ほぼ一定で注水を続けたところ、注水量は徐々に低下し、稼動20日時点で注水量が約 130l/min となった。しかし、この時点においても近傍注水井と比較し注水量は約40%増であった。また、図-6に注水圧の経時変化を示

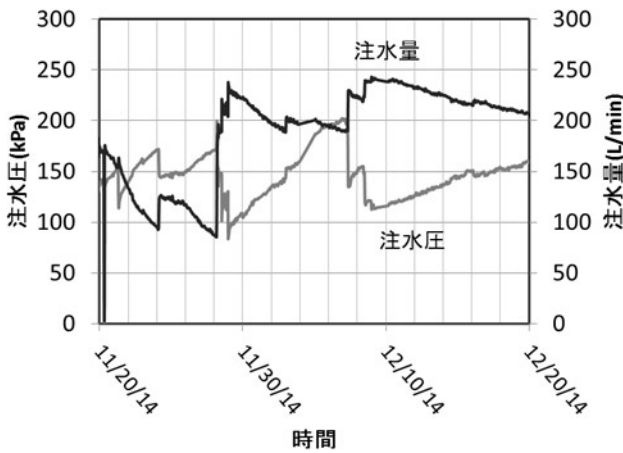


図-3 注水量と注水圧の経時変化

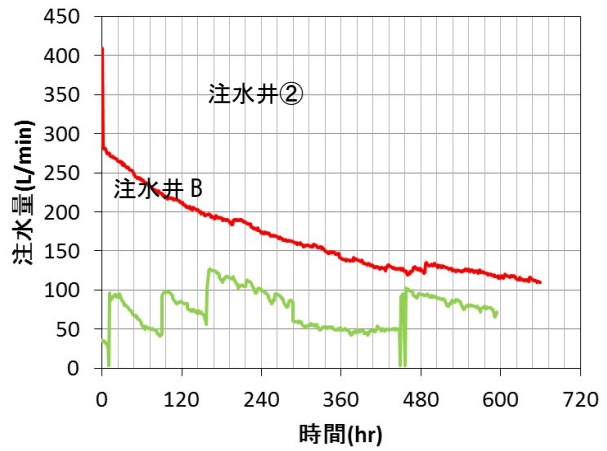


図-5 注水量の経時変化

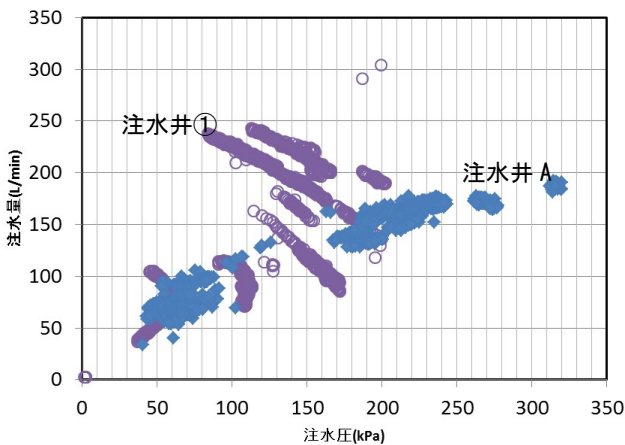


図-4 注水量と注水圧の関係

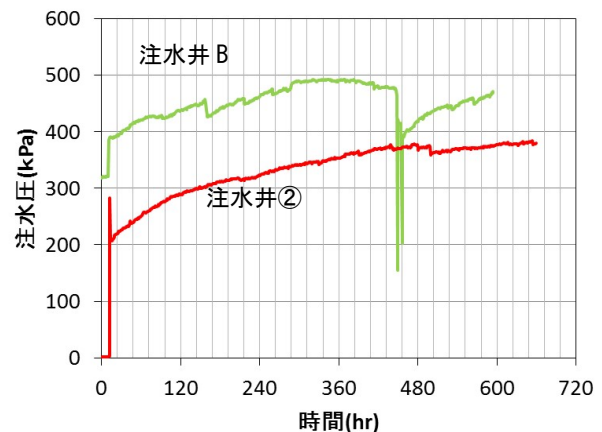


図-6 注水圧の経時変化

す。それぞれ圧力管理により注水を行っているが、全体的に注水井②の圧力は近傍注水井 B より小さくなっており、注水井 B で平均 430kPa、注水井②で平均 350kPa と高压水噴射攪拌による効果が表れている。

6. 井戸の目詰まり

本注水試験において、時間の経過に伴う注水能力の低下がみられた。原因を検証するため、地上に設置した注水ポンプ内の状況を確認した。写真-1 は稼動 36 日経過後のポンプ内である。注水ポンプ内側で付着物(3mm 程度)が確認された。付着物の成分を調査した結果、主成分を酸化鉄とした鉄バクテリアであることが明らかとなった。これは、地下水に含まれる鉄イオンが酸素と結合することによって発生・堆積するものであり、この鉄バクテリアが注水を行うスクリーン管の目詰まりを生じさせることで、注水量の低下が発生したと考えられる。

7. まとめ

今回の試験から得られた結果を以下に示す。

Case1：既設注水井①の試験（高压水噴射攪拌+遮水体造成）

- ① 当初、漏水により注水不能となっていた既設井戸において、注水圧 0.05~0.2MPa の間で注水することができた（最大注水量約 240ℓ/min）。高压水噴射攪拌、上部層の改良体造成には一定の効果が得られた。
- ② 運転開始時から注水量は徐々に低下し、注水圧は徐々に増加する傾向がみられた。



写真-1 鉄バクテリア付着状況(稼動 36 日後)

- ③ 所々で急激に圧力が低下し、注水量が増加する減少がみられた。
- ④ 運転を開始してから最大で注水量 240 ℓ/min 程度を注水することができた。

上記のことから、今回の開発内容である高压噴射による地盤の乱し、上部層への改良体の造成は復水効率を向上させたと考えられる。

Case2：新規注水井②の試験

- ① 試験開始時は、注水圧 0.2MPa で 200 ℓ/min の注水ができたが、時間の経過とともに徐々に注水量は低下した。
- ② 近傍の注水井と比較すると、同等の注水量でも地盤を乱した方が注水圧は小さかった。

上記のことから、地盤を乱したことで初期の透水性能が改善されたこと、注水圧が近傍の井戸より小さくなっていることは復水効率を向上させたと考えられる。

以上のことから、帯水層の上の遮水層が薄い場合でも、遮水体の造成、高压噴射水攪拌により、注水量の向上、地上への漏水防止に一定の効果をある可能性を示唆したことで、エコリチャージの適用範囲の拡大に繋がると考えられる。

今後、注水能力の低下についても検討を重ね、エコリチャージ工法の効率化を図っていく予定である。

参考文献

- 1) 小泉秀之, 桑原清, 柳博文: 効率的なりチャージウェルの開発—高压注水試験—, 土木学会第 60 回年次学術講演会 6-210, pp.419-420, 2005.9
- 2) 桑原清, 小泉秀之: 復水効率を向上させた新しいリチャージ工法の開発, トンネルと地下, 第 37 巻,10 月号, pp.771-778, 2006
- 3) 香月一仁, 桑原清, 柳博文, 中井寛: 循環型地下水制御工法(エコリチャージ)における高压注水試験, 土木学会第 61 回年次学術講演会 6-232, pp.463-464, 2006.9
- 4) 日本ジェットグラウト協会: 技術資料ジェットグラウト工法技術資料, 2003.10