

# 直接注水による消雪井戸の性能変化に関する研究

地盤工学研究室 永井 健太郎  
指導教員 豊田 浩史

## 1. はじめに

近年、限られた地域に対して短時間に多量の雨を降らせる集中豪雨が多発している。この集中豪雨は、台風などと異なり予測が困難であるため、土砂災害や洪水などの災害が起きやすい。新潟県内での集中豪雨では、平成16年7月と平成23年7月に発生した新潟・福島豪雨で、信濃川水系である五十嵐川や刈谷田川や中ノ島川の堤防が決壊し、三条市、長岡市、見附市など、広範囲で浸水の被害が発生した。

見附市は豪雪地帯であることから、道路除雪の有効な手法である消雪パイプが普及しており、消雪用井戸が多数存在する。しかし、消雪パイプは克雪対策としては有効であるが、地下水の大量汲み上げによる地下水位低下や地盤沈下などが大雪の年には問題となる。

そこで本研究室では、低コストで早期且つ機動的な雨水対策であり、且つ地下水涵養や地盤沈下防止などの環境対策にもつながる手法として、雨水を消雪井戸へ注入することを提案する。

## 2. 既往の研究

本研究室では、本手法の実用化に向けて丸山<sup>1)</sup>と松本<sup>2)</sup>により実際の消雪井戸を利用し、注水試験を行っている。その成果として、①消雪井戸への注水能力について現地実証された。②屋根排水による雨水の注水について現地実証された。③雨水水質は地下水水質に比べ、良好であることが確認された。④注水による周辺地下水への影響は軽微であることが確認された。しかし、井戸の違いによる注水能力の適性評価、井戸の目詰まり機構の実態把握等の課題が残った。本研究では、上記の課題を検証するため注水試験と揚水試験を行った。

また、本研究室では2010年12月から継続して地下水の長期的な水質変動の測定を行っている。測定を行っている場所は、新潟県見附市の今町地区にある今町中学校敷地内の観測井戸である。測定結果を図-1に示すが、2011年3月11日に発生した東日本

大震災の影響で井戸が震動で乱されたためか、濁度は、地震が発生した直後に値が大きく上昇している。理由は不明確であるが、地下水位は地震発生日前後で低下する挙動を示している。消雪パイプの稼動があった可能性もあるため、地震の影響かは不明である。

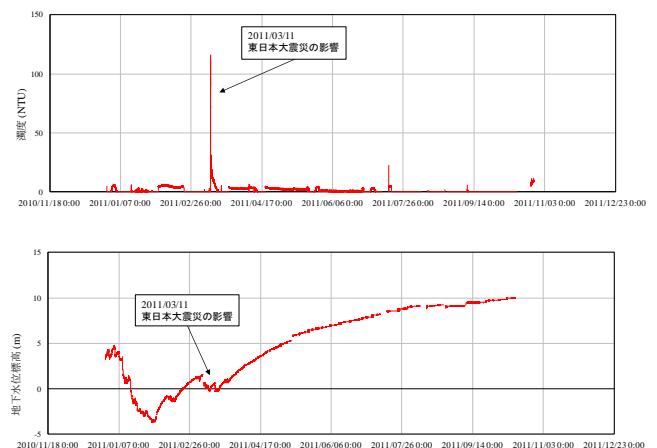


図-1 見附市今町地区の水質・水位変動

## 3. 試験概要

### 3.1 注水試験

消雪井戸を利用した地下帯水層への注水試験は、新潟県見附市の今町中学校近辺にある消雪井戸を利用して行った。

消雪井戸への注水は、今町中学校のプールに水道水を溜めておき、そこから水を井戸に注水するという方法で行った。プールからはエンジンポンプを用いて水を汲み上げ、電磁流量計とバルブで注水量を調節しながら注水を行った。試験対象井戸は、注水井戸を Well-23、観測井戸を Well-69, 323 とした。注水試験中の水質・水位測定には、自動計測可能な水位・水質計とロープ式水位計を使用し、注水井戸のストレーナー観察にはボアホールカメラを使用した。

注水試験では、消雪井戸内に揚水ポンプが設置してある状態と、設置していない状態の2つのケースを実施し、注水能力の比較を行った。

### 3.2 揚水試験

消雪井戸を利用した地下帯水層からの揚水試験は、注水試験と同じ新潟県見附市の今町中学校近辺にある消雪井戸を利用して行った。使用する試験器具などは注水試験と同じである。揚水量の調節および測定は、三角堰を利用して行った。なお、この揚水試験は注水試験の約2週間後に行った。

## 4. 試験結果

### 4.1 注水・揚水井戸および観測井戸の水位変化

揚水ポンプありでの注水試験結果を図-2、揚水ポンプなしでの注水試験結果を図-3、揚水試験結果を図-4に示す。全ての試験とも、注水（揚水）井戸と観測井戸を比較してみると、観測井戸に比べ注水（揚水）井戸の方が水位上昇は大きく、注水による周辺影響は軽微であることが確認された。しかし、注水井戸の注水量と水位上昇量の関係には揚水ポンプありとなしで大きな違いが生じた。

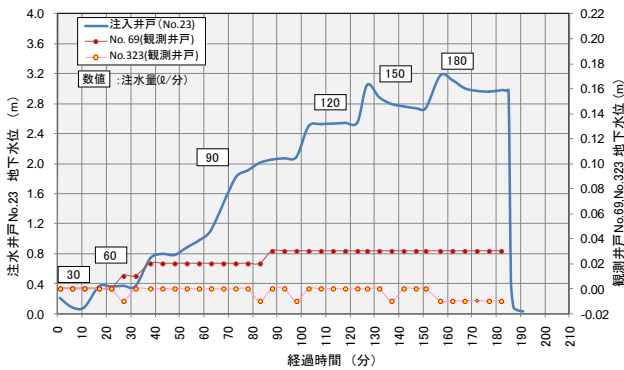


図-2 注水試験結果（揚水ポンプあり）

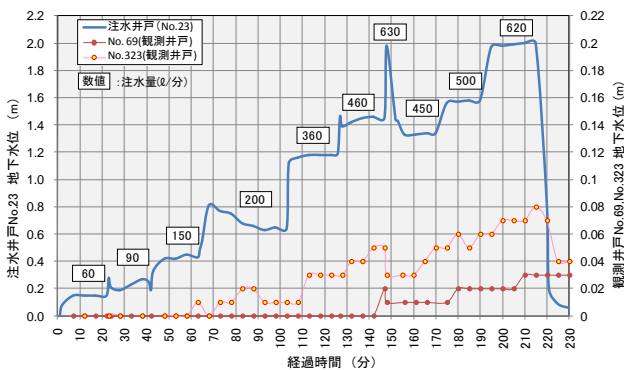


図-3 注水試験結果（揚水ポンプなし）

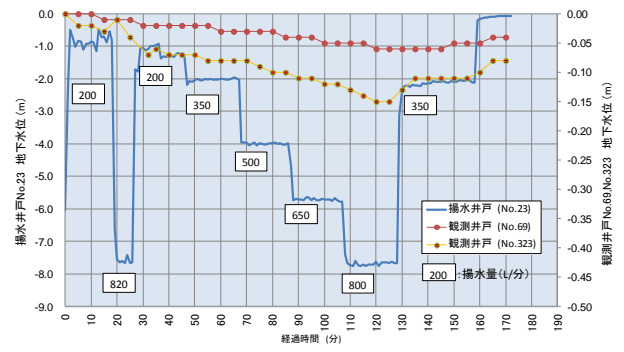


図-4 揚水試験結果

### 4.2 注水井戸深さ方向の水質測定結果

注水井戸深さ方向の水質測定の項目はpH、溶存酸素、電気伝導率、濁度、水温の5項目である。図-5に溶存酸素と水温の測定結果を示す。ストレーナー周辺の溶存酸素は、注水前はゼロであったが、注水により値が増えている。水温は、注入したプール水と一時的に置き換わることにより水温が上がり、その後ストレーナー周辺で水温が下がってきているが、2週間経過しても注水前の水温までは戻っていないことが確認できる。

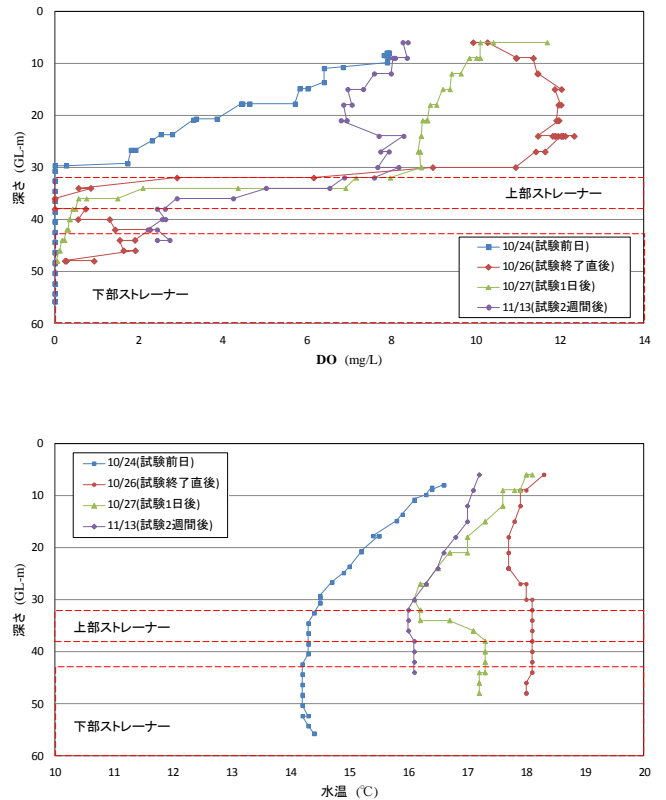


図-5 水質測定結果（上：溶存酸素、下：水温）

### 4.3 可能注水量と透水係数

図-6に注水井戸の水位上昇量と注水量の関係を示す。このグラフの近似直線から推定される注水量と水位上昇量の関係より、可能注水量を算定すると、揚水ポンプありでの可能注水量は180L/min、揚水ポンプなしでの可能注水量は約1000L/minとなった。

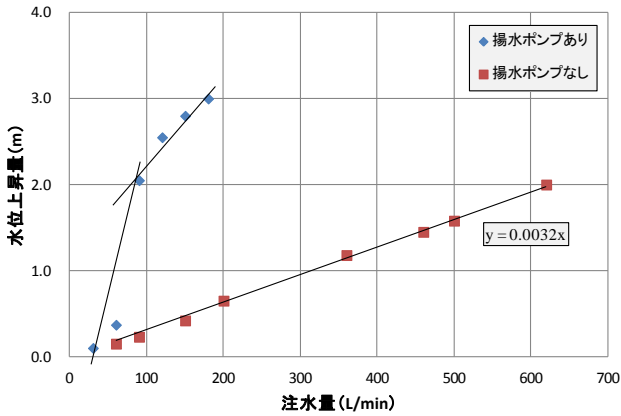


図-6 注水量と水位上昇量の関係

透水係数は、注水量と水位変化量から単孔を利用した透水試験による定常法<sup>3)</sup>により求める。図-7に注水井戸で得られた透水係数を示すが、比較のためH20年に見附市役所横の消雪井戸（同井戸径）で得られた値も示してある。その結果、ポンプありとなしでの透水性の低下の割合が異なる結果となっている。これは、地盤本来の透水性が高いほど井戸に水が入りやすくなるため、ポンプによるクリアランス不足で、注水能力低下の割合が大きくなるためである。今町中学校周辺と見附市役所周辺では地盤の透水係数に大きな違いがあり、透水係数の大きな地盤においては、井戸径が小さくポンプを付けたままでは、注水能力が大幅に低下することがわかる。

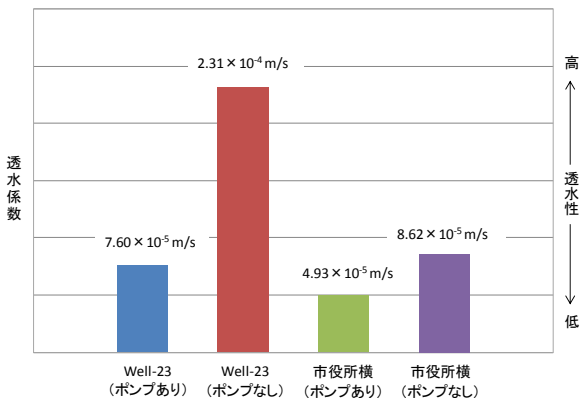


図-7 透水係数の比較

### 4.4 井戸の注水能力の評価

井戸能力の評価として、比湧出量・比注水量をしてみる。また、段階注水（揚水）試験では、注水量（揚水量）と水位変化量の関係を両対数グラフにプロットして井戸能力を解析する。評価結果と解析結果を図-8, 9に示すが、通常は注水能力より揚水能力が高いとされているが、今回の注水試験では揚水能力を大きく上回る注水が行われた。これは、揚水試験にもポンプと井戸径のクリアランスの小ささが影響してしまっている可能性がある。また、注水時における揚水ポンプありとなしでの能力低下は約80%にも及ぶ。

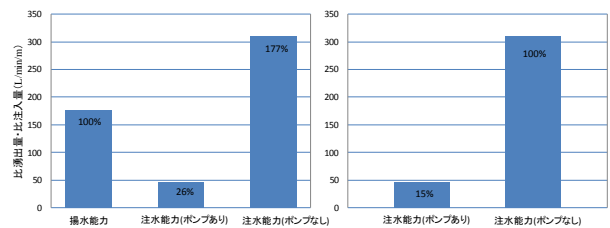


図-8 比湧水量と比注水量

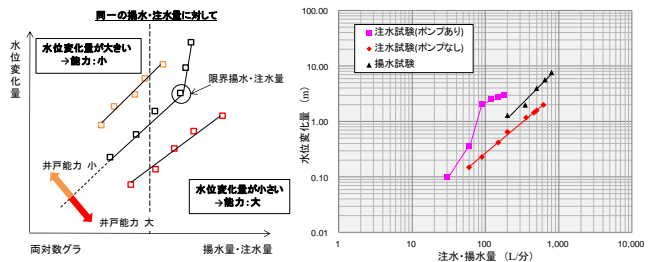


図-9 井戸能力の解析方法と解析結果

### 4.5 井戸の目詰まり機構の実態

まず、ボアホールカメラによるストレーナーの観察は、注水試験の前日と、試験の1日後、さらに試験2週間後の計3回行った。撮影の結果、試験前および試験1日後では、井戸全体が比較的綺麗な状態であることが確認された。しかし、試験の約2週間後では、スクリーン上層部・下層部ともに褐色の浮遊物が壁面に付着する、あるいは井戸内部で浮遊している状態が確認された。

次に、注水井戸において前述のボアホールカメラによる観察と同時期に地下水を採水し、水質分析を実施した結果、注水井戸から採水された地下水には、井戸の目詰まりの原因物質である鉄バクテリアが検出された。図-10に採水した試料に含まれる鉄バク

テリア個数を示すが、注水により供給された酸素によって鉄バクテリアが増殖していることが分かる。

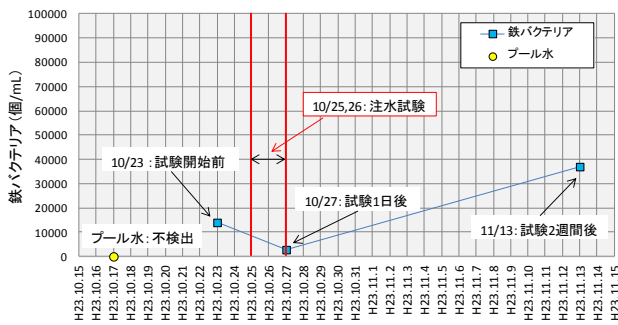


図-10 鉄バクテリア

#### 4.6 揚水による目詰まりの解消

Well-23 では、H21 年にも揚水試験が行われている。図-11 に今回 (H23)、H21 年、S61 年建設当初の揚水試験の解析結果を示す。Well-23 では H22 年に注水試験が行われており、その時にも鉄バクテリアが発生していると思われるが、H21 年と今回 (H23) では井戸能力に変化は見られない。これは、冬季の消雪井戸の稼働によって揚水され、井戸内の鉄バクテリアが排出されたと考えられる。図-12 は揚水試験中の井戸水で、左から揚水直後、5 分後、20 分後、45 分後となっており、十分な揚水が行われた後は、井戸水が綺麗になっているのがわかる。

また、S61 年からの能力低下は、井戸の建設から相当年数経過しているための経年的な能力低下と考えられる。

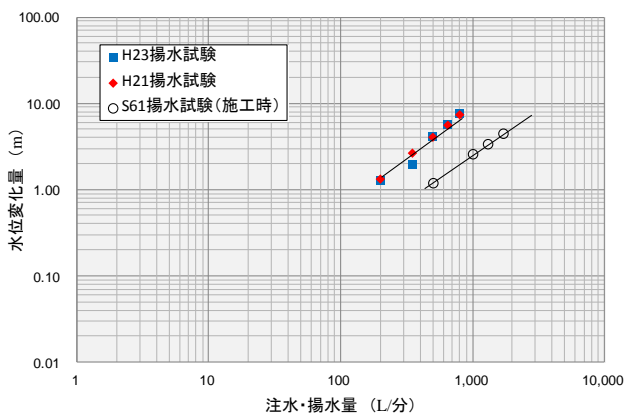


図-11 井戸能力の解析結果の比較



図-12 揚水試験中の地下水

#### 5. 結論

1. 注水による周辺井戸の水位上昇は僅かなものであり、注水終了後は速やかに地下水位が低下する。
2. Well-23 の可能注水量は、揚水ポンプありで 180L/min、揚水ポンプなしで 1000L/min であることが分かった。
3. 揚水ポンプありの注水能力低下は、地盤本来の透水係数により異なり、透水性が高いほどポンプが残っていることによる注水能力低下が大きくなる。
4. 注水により、溶存酸素が供給され、目詰まりの原因物質である鉄バクテリアが発生するが、揚水によって排出することが可能である。

#### 6. 今後の課題

1. 今回と同様の注水試験を別の井戸で実施し、正確な注水能力および場所や井戸径による違いを検討する。
2. 複数井戸での同時注入試験を実施し、周辺影響を検討する。
3. 目詰まりによる透水性の低下を定量的に検討する。
4. 具体的な雨水収集方法・注水方法を検討する。

#### 謝辞

注水・揚水試験の際には、見附市役所、今町中学校よりご配慮いただきました。また、(株)アートンシビルテクノ、日本工営(株)の方々から様々なご支援を得ることができ、実験を実施することができました。ここに謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 丸山達也：消雪井戸を利用した雨水の地下水涵養に関する基礎的検討，長岡技術科学大学学士論文，2009.
- 2) 松本陽介：消雪井戸への雨水注入による地下水位・水質の変動，長岡技術科学大学大学院工学研究科修士論文，2011.
- 3) 地盤工学会地盤調査法改訂編集委員会：地盤調査の方法と解説，pp.379-380，2004.