

地中熱ヒートポンプシステム オープンループ導入ガイドライン

第 1 版

2017 年 3 月

特定非営利活動法人 地中熱利用促進協会
一般社団法人 全国さく井協会

はじめに

地中熱ヒートポンプシステムには、地中熱交換器を用いるクローズドループと地下水を用いるオープンループがあり、それぞれにいくつかの方式がある。地中熱利用促進協会ではこれらのうち最も設置件数の多いクローズドループのボアホール方式について、施工管理マニュアルを2015年に出版しシステムの品質確保に努めているが、件数的にはクローズドループには及ばないものの、設備容量で見るとほぼ同等の普及規模となっているオープンループシステムの品質確保も大きな課題である。また、オープンループでは地下水を利用するため、環境負荷に対してはクローズドループ以上に留意しなければならない。

地中熱利用促進協会ではクローズドループの施工管理マニュアル出版後すぐに、技術基準分科会でオープンループの課題の検討を始めた。クローズドループのマニュアルの作成には5年を費やしていることを踏まえ、オープンループについてはマニュアルの作成を目標にしつつも、当面は普及に必要な留意点をまとめたガイドラインを作成することとし、還元方式と放流方式の基本的なシステムを取り上げた。ガイドラインの検討にあたっては全国さく井協会の協力を頂き、一部の項目を執筆分担していただいている。

このガイドラインの作成に前後して、水循環基本法が成立し水循環基本計画が策定されるという国の大きな動きがあった。当然のことながら地下水を扱うこのガイドラインは、基本法と基本計画の考え方に沿い国民共有の財産である地下水が持続的に利用できるように配慮することを前提にしている。また、環境省の「地中熱利用にあたってのガイドライン」では、環境資源としての地中熱の持続的利用についての留意事項を述べており、とくにオープンループについてはモニタリングを詳細に記している。協会で作成したこのガイドラインは、環境省のガイドラインとも整合する内容にしている。

一方、再生可能エネルギー利用の観点からは、建築物省エネ法が2015年に公布となり、2017年から建築確認申請時に設計一次エネルギー消費量の省エネ基準への適合義務化が始まる。地中熱利用に関しては2016年4月からクローズドループ（ボアホール方式と水平埋設方式）の計算プログラムが公開されているが、オープンループについてはこれからである。建築研究所によるクローズドループの省エネ基準一次エネルギー消費量算定プログラムの作成には、クローズドループにかかる技術基準が必要であったように、オープンループの省エネ基準の場合も技術基準が求められている。このガイドラインはこのような省エネ政策にも応えられるものであることを願っている。

このガイドラインの作成にあたり、全国さく井協会の皆様をはじめ多くの方にお世話になりました。ご協力いただいた皆様に厚く御礼申し上げる次第である。

2017年3月

特定非営利活動法人 地中熱利用促進協会
理事長 笹田政克

<目 次>

1 序論	
1.1 ガイドラインの目的.....	1
1.2 ガイドラインの適用範囲.....	2
1.3 オープンループの概要.....	3
1.4 用語の定義.....	4
2 オープンループの計画	
2.1 地下水利用上の留意点.....	5
2.2 オープンループの導入可能性調査（資料調査）.....	7
2.3 地下水現地調査.....	8
2.4 オープンループの選定.....	9
3 オープンループの設計	
3.1 揚水井の設計.....	11
3.2 放流方式（放流型）の設計.....	14
3.3 還元方式（還元井型・浸透柵型）の設計.....	14
3.4 熱源設備の設計.....	17
4 オープンループの施工	
4.1 揚水井の施工.....	19
4.2 還元井の施工.....	22
5 オープンループの運用	
5.1 設備の維持管理.....	23
5.2 環境保全.....	25
参考・引用文献	25

執筆分担：地中熱利用促進協会 第1章、第2章、第5章

全国さく井協会 第3章、第4章、第5章

検討期間：2014年8月～2017年3月

1 序論

1.1 ガイドラインの目的

オープンループの地中熱ヒートポンプシステムは、地下水が採取可能な地域において有効な地中熱利用方法である。その一方で、地下水は適正に利用しないと、地下水位低下や地盤沈下、沿岸域では塩水化などの障害を引き起こすことがある。そこで、本ガイドラインは、地下水の管理と保全に配慮しながら、オープンループによる地中熱利用を推進することを目的とする。

〔解説〕

オープンループは、地中熱利用ヒートポンプシステムの熱源に地下水を直接利用するものであり、地下水を採取できる地域において導入が可能となる。

この方式では、地中熱源として地下水を汲み上げて、地下水が持つ熱エネルギーを連続的に利用する。地下水の温度は、年間を通じてほぼ一定であり、揚水量を調整することで熱負荷に応じた採熱量を人為的に管理できる等の利点が期待される。したがって、クローズドループのように運転時間により熱源温度が変動せず、熱源として安定した出力を維持できる。この利点から、熱利用システムのインシヤルコストの低減や大規模化に適した方式と言える。また、国内では農業や工業等の地域産業に広く地下水が利用されてきた歴史があり、古くから地下水は身近な熱源として理解されており、その位置付けからの利用が期待できる。

ここで、水循環システムの主要な構成要素となる地下水は、自然界において、その起源は降水である。地表に到達した降水の一部は地中の帯水層に涵養され、地下水盆の中を流動し、やがて流出する。この循環（とくに地下水流動系）の中で、供給量（地下水涵養量）と収支的にバランスのとれた適正な水量を利用することができれば、持続可能な資源（熱エネルギー源）、つまり再生可能エネルギーと見なすことができる。

しかしながら、地下水の過剰揚水などによりその水収支バランスが崩された場合、地下水位低下による井戸涸れや地盤沈下、沿岸部での地下水塩水化など様々な地下水障害を引き起こすことがある。平成27年7月に閣議決定された水循環基本計画においても、「地盤沈下、地下水汚染、塩水化などの地下水障害の防止や生態系の保全等を確保しつつ、地域の地下水を守り、水資源等として利用する『持続可能な地下水の保全と利用』を推進する。」と明記されている¹⁾。

以上のとおり、普及が期待される一方で、導入時に留意すべき事項も多いオープンループの地中熱利用ヒートポンプシステムについて、本ガイドラインでは、その導入が地下水障害を引き起こさないために配慮すべき事項について示す。

また、井戸設備、熱源設備においては、地下水を利用することによるスケール（地下水の化学成分による沈着物）の発生や目詰まりなど、クローズドループでは問題とならない設備障害が発生する可能性がある。そこで、設備を安定的に運用するため、その配慮すべき事項についても本ガイドラインで示す。

1.2 ガイドラインの適用範囲

本ガイドラインは、オープンループの地中熱利用ヒートポンプシステムの熱源側（一次側）の計画、設計、施工、運用において配慮すべき事項を対象とする。

〔解説〕

本ガイドラインは、オープンループの熱源側（一次側）に限定して配慮すべき事項を示したものであり、具体的な調査方法、計算方法、施工事例などは含まない。また、ヒートポンプ及び空調機器等の二次側の詳細については、「地中熱利用ヒートポンプシステム施工管理マニュアル」（地中熱利用促進協会編、オーム社、H26.12、以下「施工管理マニュアル」と呼ぶ）を参照してもらいたい。

地中熱利用方式の分類上における本ガイドラインの適用範囲を図 1-1 に示す。ここで、「水循環」のオープンループは、地下水を融雪用あるいは空調用の放熱パネルに利用するものであり、ヒートポンプを利用しないことから本ガイドラインの対象ではない。しかし、地下水保全の考え方、揚水井及び還元井の施工方法など本ガイドラインで共通となる事項も多いので、参考にしてもらいたい。

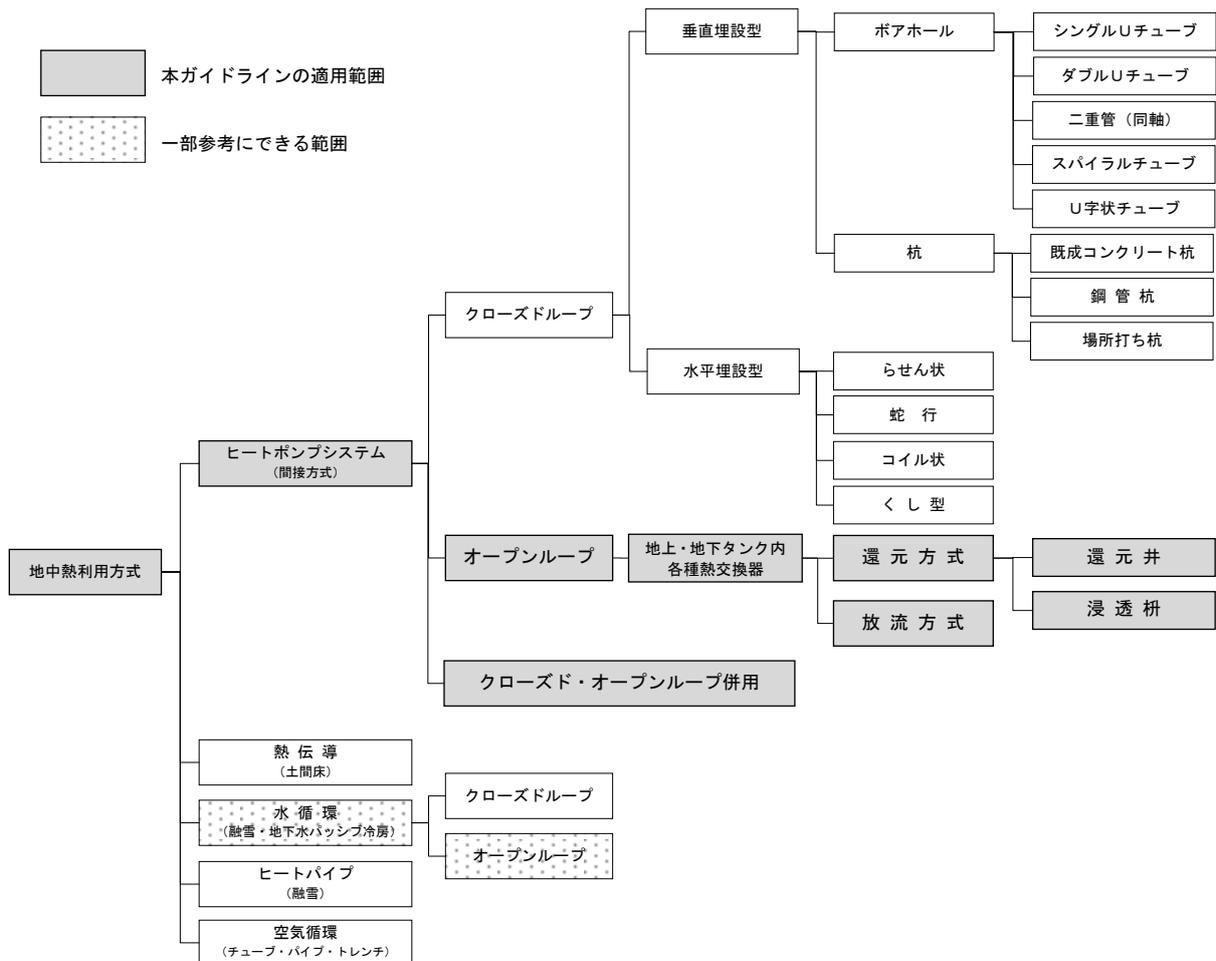


図 1-1 地中熱利用方式の分類と本ガイドラインの適用範囲

1.3 オープンループの概要

オープンループは、熱交換後の地下水の処理方法により放流型、還元井型、浸透枡型に区別される。放流型は、熱交換後の地下水を地上で排水するもの、還元井型は帯水層へ還元するもの、浸透枡型は地表付近から地中へ浸透させるものをいう。

〔解説〕

(1) オープンループの形態

地中熱ヒートポンプシステムのクローズドループとオープンループ（放流型・還元井型・浸透枡型）の概念図を図 1-2 に示す。クローズドループは、地中に埋設した熱交換器に不凍液等を循環させることにより、地中で採熱または放熱を行う方式である。一方、オープンループは、地下水を汲み上げて地上の熱交換器で熱交換する方式であり、熱交換後の地下水は、水路や下水道に放流（放流型）、還元井を利用して帯水層へ注入（還元井型）、あるいは浸透枡や浸透池などを利用して地中へ浸透させる（浸透枡型）などの方法がある。

なお、地下水（湧水も含む）の温度によっては、必ずしもヒートポンプを必要としない場合もあり、これは、水循環のオープンループに分類される（図 1-1）。

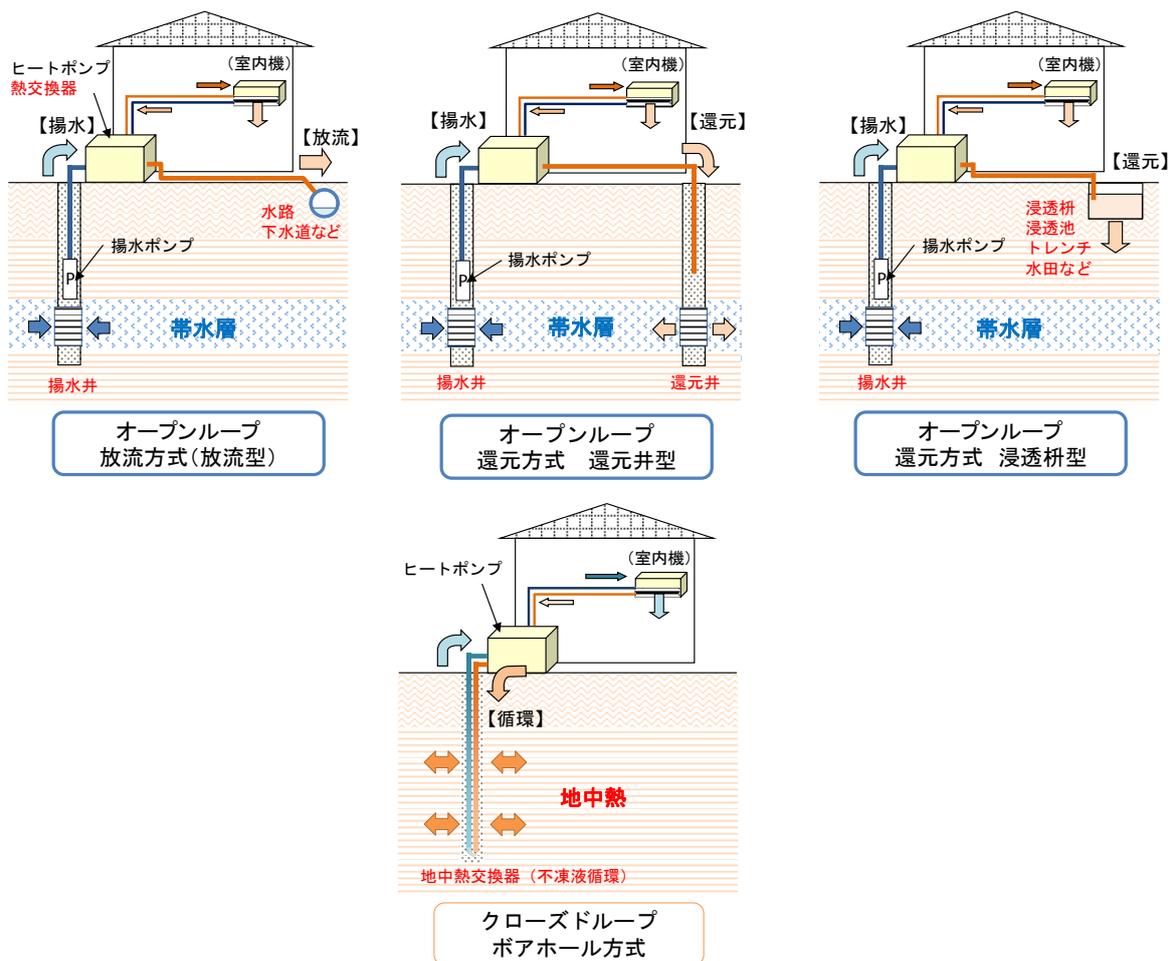


図 1-2 オープンループとクローズドループの形態

(2) 導入上の留意事項

オープンループ導入における留意事項として以下の点などがある。

- ・揚水を行う帯水層へ供給される地下水量（降雨や河川等からの供給）と所定地域内の揚水量のバランス（地下水流動系内における水収支）
- ・揚水井1本当たりにおける適正な揚水量（井戸の適正揚水量）
- ・揚水された地下水に含まれるガスや化学物質の性状によって生じる地上の機械設備類への腐食、スケール等の影響
- ・熱利用後の処理に関しては、放流型では下水処理設備や放流に係る規制等への適用、還元井型では還元井の還元能力や還元量等
- ・揚水設備、還元設備及び熱源設備の維持管理

1.4 用語の定義

本ガイドラインで取り扱う用語は、以下に示すように定義する。

【オープンループ地中熱ヒートポンプシステム】

地下水を熱源水として、空調、給湯、融雪等に利用する水熱源ヒートポンプシステムをいう。地下水は、揚水井、自噴井、湧水、トンネル湧水などから供給される。熱源として使用した後の地下水の扱いにより、放流型、還元井型、浸透枡型に区分される。本ガイドラインでは単に「オープンループ」ともいう。

【還元】

揚水による水位低下を防ぐため、揚水した地下水を元の帯水層、あるいは上下の帯水層に還すこと。

【還元井型】

熱交換後の地下水を還元井あるいは注入井と呼ぶ井戸から帯水層に注入する方法をいう。還元型ともいう²⁾。

【涵養】

一般に、降水、湖沼水・河川水、貯水池・浸透枡などの水が地下へ浸透することをいう。涵養が起こる場所を涵養域といい、逆に、地下水が地下から地表面に向け湧き出す地域を流出域という³⁾。

【逆洗】

還元井型の設備において、還元井の目詰まりなどの除去を目的として、通常、地下水を注入する還元井で、逆に揚水を行う作業をいう。ここでは、井戸内でノズルより高圧水を噴出させ、スクリーン部を洗浄する「ジェット洗浄」とは区別する。

【浸透枡型】

熱交換後の地下水を浸透枡、浸透池、浸透側溝（トレンチ）、水田などにより、地表面から地中に浸透させる方法をいう。浸透型ともいう²⁾。

【帯水層蓄熱方式】

還元井型と構造的には同一であるが、還元した地下水による蓄熱効果を積極的に利用するシステム。冷房時に発生する温水を還元井から注入し帯水層の中に温水域をつくり、暖房時にこの温水域から揚水し熱源とする。逆に、暖房時に発生する冷水により帯水層に冷水域をつくり、冷房時の熱源とする。冷房時と暖房時で、揚水井と還元井が入れ替わる。Aquifer Thermal Energy Storage(ATES)と呼ばれる。

【放流方式（放流型）】

熱交換後の地下水を河川、水路、下水道などに放流する方法をいう。放流型ともいう²⁾。

その他の用語は、以下の書籍・資料等にもまとめられているので参照してもらいたい。

- ・地下水用語集（(公社)日本地下水学会編、理工図書、2011）
- ・地中熱利用にあたってのガイドライン改訂版（環境省 水・大気環境局、H27.3）
- ・官庁施設における地中熱利用システム導入ガイドライン（案）（国土交通省 大臣官房官庁営繕部 設備・環境課、H25.10）

2 オープンループの計画

2.1 地下水利用上の留意点

オープンループは地下水の揚水を伴うことから、地域や揚水量によっては、周辺への地下水位低下、地盤沈下、地下水塩水化など地下水障害の原因となることがある。また、地下水を還元する場合でも、地下水位上昇、温度変化、水質変化などが周辺に影響を与える可能性がある。また、導入計画地に土壌・地下水汚染等の問題が万が一にもあるような場合、井戸掘削がその汚染を拡散させる可能性も考えられる。

設備面においても、スクリーン（採水部）の目詰まりやスケール付着による井戸や熱交換器の性能劣化が発生するリスクがある。

したがって、オープンループの計画にあたっては、地域の地下水環境と地下水利用に当たっての留意点について多面的に検討することが求められる。

〔解説〕

オープンループによる地下水利用は、地下水環境や機械設備類に障害を与える要因が多少なりとも存在する。よって、予め生じうる地下水障害や設備障害の現象と原因を正しく理解することが重要であり、事前にその内容を把握・解析・評価し、未然防止対策をとることができれば、地下水を適切に熱源利用するオープンループ地中熱ヒートポンプシステムの設計が可能となる。

(1) 地下水障害

地下水は大きな地下水流動系（地下水盆）の中で涵養、流動、流出の過程をとる（図 2-1）。この流動系の中において、涵養・流動量を上回る集中的な地下水採取が行なわれると、地下水位の

低下が発生し、深度の浅い井戸から井戸涸れが発生する。また、地下水位低下地域に軟弱な粘土層が分布していると地盤沈下が発生する可能性があり、さらに、海岸付近であれば地下水塩水化を引き起こす恐れもある。ただし、このような地下水位低下に起因する地域単位での地下水障害は、単独の地下水利用設備が発生させるものではなく、地域全体における地下水利用状況に起因するため、地域が一体となり地下水利用の適正化に取り組む枠組みが必要となる。

一方で、地下水位低下を抑えるために還元井を設置する場合においても、熱交換後の地下水を地下へ注入することで帯水層の温度変化や水質変化が生じる可能性がある。この水温変化を帯水層蓄熱方式という形で活用する方法はあるものの、まずは既往の地下水利用への影響の有無に留意すべきである。なお、諸外国においては、地下水の熱交換前後の温度差を 6～11℃程度以内とし、冷熱として還元する地下水の最低温度を 2～5℃、温熱として還元する地下水の最高温度を 20～25℃とした基準値または推奨値を設定している事例がある⁴⁾。

また、導入計画地で土壌・地下水汚染があれば、揚水した地下水の還元や放流を行なえない可能性があるほか、熱利用のために設置する井戸を介して汚染された地下水が複数の帯水層へ拡散・移動する可能性があるため、十分な注意が必要である。

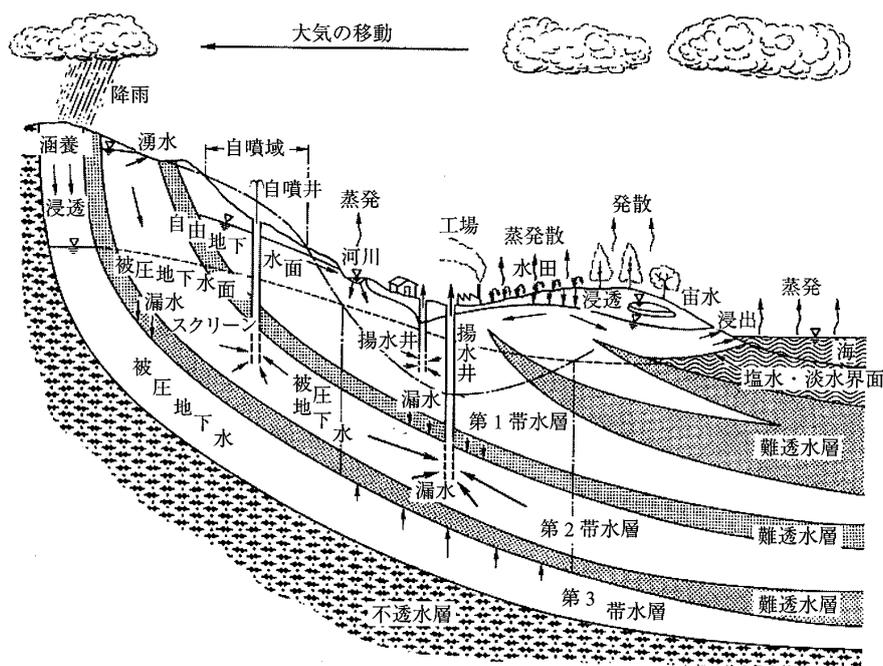


図 2-1 水文循環と地下水⁵⁾

(2) 機械設備障害

オープンループの機械設備類で生じる障害として、スクリーン（採水部）の目詰まりによる揚水井の揚水能力低下、還元井などの浸透能力低下、熱交換器及び配管内のスケール付着による流量・熱交換能力低下などがある。これらの障害は主に地下水の水質に起因するものであり、計画段階において調査及び対策方法の検討が必要となる。

2.2 オープンループの導入可能性調査（資料調査）

オープンループの導入可能性については、地下水規制に関する法令、さく井資料、地質・地下水に関する文献、地下水障害発生状況などに関する資料を収集・整理し、導入計画地における地下水の賦存状態、採取の可否、放流または還元の可否などから判断する。

〔解説〕

オープンループは国内の多くの地域でその導入が期待されるが、具体的な導入可能性については、以下の項目について資料収集と評価を行い総合的に判断する。なお、還元井型を採用する場合には、資料調査から把握される地域の地下水環境を踏まえて、導入計画地において還元が可能な地下水浸透域であることに留意が必要である。

(1) 地下水規制

導入計画地において、法令等により地下水採取に制限がないか確認する。地下水は地域により、採取禁止、許可制、届出制となっている場合があるため、関連法（工業用水法、ビル用水法）、地方自治体の条例等を確認する必要がある。なお、自治体によっては条例により節水の責務や揚水量報告を課している場合もあるので合わせて確認するほか、地下水採取規制地域であっても小口径のポンプであれば揚水可能な場合もあるため、設備で必要となる地下水利用量と照らし合わせて確認する。また、地下水還元の可否についても地方自治体等を確認する必要がある。

なお、これらの地下水規制等については、環境省のホームページに「地下水採取規制に関する条例等」としてまとめられているので参考にするとよい。

(2) さく井資料

導入計画地周辺のさく井資料工事報告書や井戸台帳を入手する。さく井工事報告書には、地質、井戸構造、地下水位、地下水温、揚水試験記録、揚水量、水理定数、水質分析結果、設置ポンプ仕様などの情報がある。これらの情報を基に水理地質断面図等を作成し、設置する井戸構造、揚水井から採取可能な地下水量（見込み揚水量）などを検討するとよい。

なお、地下水は帯水層の形態により賦存状態に違いがあり、適切な位置に井戸を掘削し、揚水試験、水質試験等を行わないと利用可能な地下水量や水質を確定することが難しい。平野部に広く分布する帯水層を対象とした井戸の場合は、同じ帯水層内であれば、近傍の既設井戸のデータから揚水量や水質等の推定が可能である。一方で、山間部における岩盤内の帯水層（割れ目に賦存する裂か水）の場合は、近傍の既設井戸のデータとは異なる場合があるため留意が必要である。

(3) 地質・地下水に関する文献

地形図、地質図、水文環境図、調査ボーリング記録、地下水調査報告書（地下水利用適正化調査、地下水利用実態調査など）など関連する文献等を収集する。

(4) 地下水障害発生状況

導入計画地域における地下水障害の発生状況を確認する。地下水位や地盤沈下の状況は、環境

省全国地盤沈下情報ディレクトリとして公開されているほか、都道府県や市町村からも公開されていることがある。また、土壌・地下水汚染の状況も地下水水質調査結果として地方自治体から公表されていることがあるので参考にする。

2.3 地下水現地調査

導入可能性調査によりオープンループ方式の導入が可能と判断した場合、導入計画地において、立地条件調査、周辺井戸調査を行なう。また、必要に応じて揚水試験、水質試験、地質調査、試掘調査、地下水影響調査、還元試験を行う。

〔解説〕

(1) 立地条件調査

導入計画地でさく井工事が可能であるか確認する。具体的な確認項目は、使用するさく井機械等の設置スペース、機械搬入路、工事用水、架線・地下埋設物の有無、周辺家屋の隣接状況（騒音・振動対策）、地下水放流先などである。なお、下水の排除方式（合流、分流）については下水道管理者に確認する。

(2) 周辺井戸調査

導入計画地周辺における既設井戸の有無や仕様を確認し、掘削地点、掘削深度を決定する際の参考とする。具体的な調査項目は、井戸の有無、位置、所有者、掘削年、用途、井戸構造（深度、口径、スクリーン位置）、ポンプ仕様（地上・水中、吐出口径、定格出力、揚程一揚水量、ポンプ位置）、使用期間、井戸障害の有無（井戸涸れ、井戸管抜け上がり（地盤沈下））などとし、地下水位と地下水温が測定可能であれば測定を行い、揚水設備設計の参考とする。

(3) 地質調査

導入計画地が丘陵地や山地にある場合には、平野部に比べて地質構造が傾斜などにより複雑となり、帯水層の連続性の把握が難しいことがある。このよう場合は、周辺の地質調査を行ない分布する地層の層相・構造等を確認し、地質図、さく井資料、ボーリング資料などと合わせて水理地質解析を行うことが望ましい。

(4) 試掘調査

導入可能性調査や地質調査を実施しても地下水が採取可能か否かの判断がつかない場合、あるいは可能揚水量の正確な把握が必要な場合は、試掘調査を実施することが望ましい。試掘調査では、地質の確認、電気検層（比抵抗検層）、段階揚水試験及び解析（限界・最大・適正揚水量の決定）、連続揚水試験・回復試験（水理定数の算出）、地下水位、地下水温、水質試験などを行う。

(5) 水質試験

水質試験項目は、水環境保全と機械設備保全の二つの観点から実施する。水環境保全の点から

は、水質汚濁防止法の排水基準や下水道法の排出水の排除基準などで定める有害物質が基準値を上回った場合、その有害物質の処理を行わない限り、計画施設が同法の対象外であってもその放流や還元は避けることが望ましい。なお、基準値については地方自治体への確認が必要となる。

一方、機械設備の点からは、地下水による設備の腐食やスケールなどの発生を防止する目的から、冷凍空調器用水質ガイドライン（(財)日本冷凍空調工業会）の水質基準に適合していることが望ましい。なお、これらの水質に関しては、「地中熱利用にあたってのガイドライン改訂版」（環境省 水・大気環境局、平成 27 年 3 月、p.30-31、以下、「環境省地中熱ガイドライン」と呼ぶ）を参照してもらいたい。

(6) 地下水影響調査

周辺井戸調査で、導入計画地周辺に既設井戸が存在し、帯水層の性質（形態、透水性など）や計画揚水量から判断して周辺井戸に影響を与える可能性がある場合は、計画段階において、地下水シミュレーション等により地下水位の低下量と影響範囲を概算で予測することが望ましい。また、併せて、試掘井や本井戸の施工に合わせ、実際に周辺の既設井戸における地下水位の低下量を確認する影響調査（干渉試験）を実施することが望ましい。

(7) 還元試験

還元井型のオープンループを検討する場合は、還元試験を実施して還元井の能力を把握する。還元試験は、段階還元試験、連続還元試験を行い、これにより、設備運用時に設備の計画必要水量を継続して還元できる井戸構造と本数を決定する。ここで、還元井の利用に伴い、次第に還元能力が低下することがあるので留意する必要がある。

還元井を設置する場合は、熱交換後の地下水の注入先（揚水井と同一の帯水層とするか、別の帯水層とするか）、揚水井と還元井の距離（熱干渉が生じる可能性があるか）、注入する帯水層の地下水位（注水が可能か）の状況等を検討し、最適な還元井の深度や本数を設計することが重要である。また、還元井は目詰り等の発生も懸念されるため、短時間の還元試験において、正確な還元量を把握することは難しい点にも注意が必要である。

2.4 オープンループの選定

オープンループは、導入計画地において地下水採取が可能で、放流または還元先が確保され、地下水の水質に問題がない場合に採用することができ、これらの条件が揃わない場合はクローズドループを採用することになる。また、オープンループにおいて、下水道または水路等に放流できる場合は放流方式（放流型）を、放流先が確保できない場合や、地下水保全の上で還元させることが望ましい場合などは還元方式（還元井型、浸透枘型）を選定する。

〔解説〕

オープンループの選定においては、まず、オープンループが導入可能かについて評価し、導入可能な場合は、地下水の放流あるいは還元の可否により、放流方式か還元方式（還元井型、浸透

柵型)を選定することになる。図 2-2 にクローズドループを含めた地中熱利用方式選定の流れを示す。なお、検討に当たっては、「2.2 オープンループの導入可能性調査 (資料調査)」、「2.3 地下水現地調査」の結果を充分反映させる。

なお、特に制約がない場合は、放流方式の方が還元方式に比べて経済性が高く、維持管理が容易である。ただし、放流方式では、下水処理に要する費用がシステムの経済性と維持管理の評価に大きな影響を及ぼすことがあるので留意する。一方、還元方式では、還元井の設置、還元設備等のメンテナンスに費用が掛かることに留意する。

① オープンループ導入可能性の評価

以下の点に該当する場合にオープンループの導入は可能となるが、当てはまらない場合はオープンループの導入はできないためクローズドループの検討に移る。ただし、地下水に基準値以上の有害物質が含まれる場合においても、その除去など適切な処理が可能な場合は、オープンループの導入可能性は残される。

- ・地下水に基準値以上の有害物質が含まれない場合 (排水基準、排除基準など)
- ・計画する井戸と揚水設備が地下水採取規制等で定める対象に該当しない場合など

② 放流方式 (放流型) の適用条件

オープンループ放流方式は、以下の点に該当する場合に導入可能となる。

- ・地下水の放流先が確保できる場合
- ・還元施設の設置箇所が確保できない場合
- ・導入計画地が地下水の流出域に位置し、還元井からの地下水還元が困難と考えられる場合など

③ 還元方式 (還元井型・浸透柵型) の適用条件

オープンループ還元方式は、以下の点に該当する場合に導入可能となる。ここで、上記①の検討により地下水揚水が可能であったとしても、放流方式または還元方式の導入が不可能な場合は、クローズドループの計画に移ることになる。

- ・地下水に基準値以上の有害物質が含まれない場合 (特定地下浸透水の基準など)
- ・地盤沈下や塩水化などの地下水障害が顕在化していて放流ができない場合
- ・地下水の放流先が確保できない場合
- ・浸透柵型は、地表付近に透水性の良い地盤が存在し、揚水した地下水を安定的に浸透させることが可能な場合など

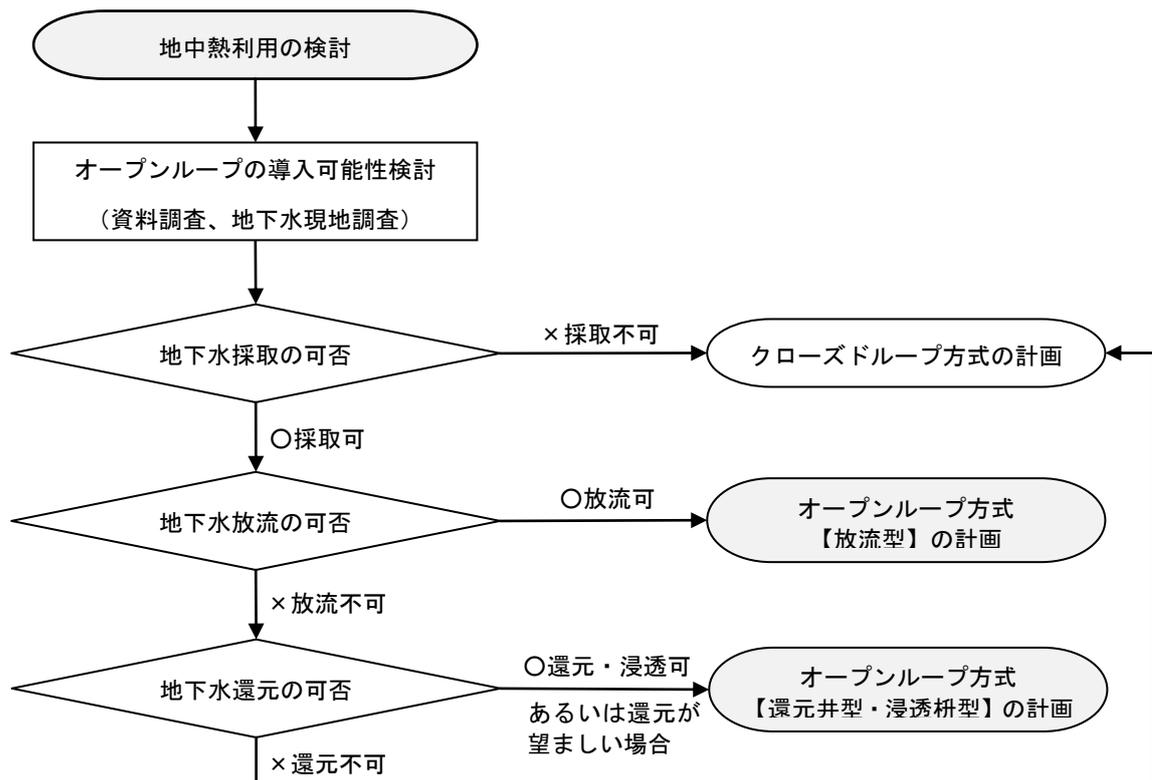


図 2-2 地中熱利用方式選定の流れ

3 オープンループの設計

3.1 揚水井の設計

揚水井の設計では、地中熱ヒートポンプで必要となる水量と地下水温を決定したうえで、その水量が確保できる帯水層の選定、井戸仕様の検討、掘さく方法の決定を行う。井戸仕様については、掘さく深度、掘さく孔径、ケーシングパイプ・スクリーンの材質、スクリーンの設置位置、充填砂利、遮水方法、見込み揚水量などについて検討を行う。

[解説]

揚水井の設計では、以下の項目について検討を行う。

(1) 必要水量

地下水の必要水量（計画揚水量）は、地下水からの採熱量または地下水への放熱量（必要熱負荷とヒートポンプの成績係数により算出）と、熱交換後の温度差（採放熱側温度差）により算出できる（参考：施工管理マニュアル p.19-21）。この採放熱側温度差をどの程度にするかで必要水量は大きく変わり、温度差を小さくとれば必要水量は多くなり、逆に、温度差を大きくとれば必要水量は少なくなる。ここで、留意する点は温度差による地下環境への影響、水質の変化、地下水（循環水）の凍結であり、採放熱側温度差を 5～10℃程度としておくことが望ましい。

参考までに、冷房出力 30kW のヒートポンプ（成績係数 5 として）で採熱側温度差を 5℃とした場合の必要水量は約 100L/min、採熱側温度差を 10℃とした場合は約 50L/min となる。また、揚水ポンプ容量は揚程、配管抵抗を合わせた全揚程と必要水量から選定する。

(2) 帯水層の選定

計画地付近の水理地質状況から必要な水量が確保できる帯水層を選定する。資料調査でさく井柱状図やボーリングデータを収集した場合は、水理地質断面図を作成したうえで検討を行うことが望ましい。

複数の帯水層が存在する場合、帯水層はそれぞれ異なる圧力水頭を持っており、場所によっては、スクリーンを挿入したために逆にその部分から他の帯水層に地下水が逃げてしまい、所要の水量が得られない場合がある。したがって、帯水層を選定する場合、できるだけ透水性が良く、水位の安定した良好な帯水層のみを選択することが望ましい。

(3) 地下水温

設計段階における地下水温は、周辺のさく井資料または地下水現地調査により測定した地下水温を用いる。それらの記録が入手できない場合は、その地点の年平均気温を引用することとし、揚水井の施工後の試験結果により変更する。

一般に、恒温層（不易層ともいう）における地下水温は、その地点の年平均気温よりも 1～3℃高くなり、緯度が同じ場合では、積雪地帯の地下水温は非積雪地帯に比べ 1℃ほど低くなるといわれる⁹⁾が、揚水井の深度やその地点の地下水流動などさまざまな影響によりその推定は難しい。そこで、データに依らない場合は、クローズドループの設計の場合と同様に、年平均気温を参考値として引用するものとする。

(4) 井戸仕様の検討

1) 掘さく深度

揚水対象とする帯水層の分布深度を想定し、掘削深度を決定する。

2) 掘さく孔径

揚水量、揚水ポンプ口径・胴径、揚水管口径、揚水管接続方法（ネジ・フランジ）により、ケーシングパイプ口径を検討し、砂利充填に必要な間隔を加えることにより掘さく孔径を決定する。また、完成したケーシング内には水中モーターポンプ、揚水管、動力ケーブル、高・低水位リレー電極ケーブル、水位測定管等が設置されるのでケーシング口径には余裕が必要である。なお、地下水位が高い地域に小規模なシステムを導入する場合は、小口径の井戸と、地上に設置する自給式ポンプを利用することもできる。

3) ケーシングパイプの選定

ケーシングパイプの材質には、金属系の鋼管または非金属系の樹脂管があり、井戸周囲の環境、予測される地質・水質・設置深度および耐食性を考慮し選定することが望ましい。

4) スクリーンの材質

スクリーンの材質は、ケーシングパイプと同種のものを使用することが一般的である。また、樹脂ケーシングパイプにステンレス製のスクリーンを配置する方法もある。

5) スクリーンの選定と設置位置

スクリーンの選定は、地質条件と必要水量（計画揚水量）に見合ったものを使用するものとし、形状としてはスリット型、巻線型などが一般的である。構造としては開孔率が高く目詰まりを生じさせにくく、洗浄が容易なものとする。砂混じり礫層や砂層から採水する場合は、細砂流入の恐れがあるので、スクリーンに流入する地下水の速度をできるだけ遅くするようスクリーンの開孔率を上げる等の考慮が必要である。

スクリーンの設置位置は、無孔管の長さを調整して適切な区間に設置し、なるべく多層仕上げを避けることが望ましい。

6) 充填砂利

充填砂利の役割は、スクリーンと孔壁との間に充填することにより、揚砂・帯水層の崩壊を防止する。充填する砂利は均一で丸い（充填時の有効空隙率が高くなる）洗砂利（ $\phi 6\sim 9\text{mm}$ ）や珪砂（ $0.8\sim 6.0\text{mm}$ ）を使用する。また、その粒子径は帯水層を構成する地層の粒子径の 4～5 倍を参考に選定する。

7) 遮水方法

地表面からの雨水等、または異なる帯水層間の地下水の移動を防止するため遮水を検討する。遮水材はセメント・粒状ベントナイト・砂・シュロ皮・メカニカルパッカーなどを用いて確実性の高い方法を検討する。

(5) 掘さく工法

掘さく工法の選定にあたっては、井戸仕様のほか、さく井候補地の地質構成や立地状況をよく把握し、適切な工法を選択する。主な掘さく工法としては以下の種類がある。

- ・パーカッション式掘さく工法
- ・ロータリー式掘さく工法
- ・ダウンザホールハンマ掘さく工法
- ・回転振動式掘削さく工法

3.2 放流方式（放流型）の設計

計画地において、熱利用後の地下水が放流時可能の場合は、放流方式を採用することが出来る。この場合、地下水揚水量（放流量）に応じて放流先を選定する。選定先が下水道あるいは水路などの公共用水域となる場合は、それらの放流先の流路・流末の構造、放流の可否を確認のうえ選定する。

また、地下水の揚水と放流が地下水環境や放流先へ影響を与えていないかを確認できるように、モニタリング計画を立てることが望ましい。その他、熱交換後の地下水の二次利用についても検討する。

〔解説〕

放流方式（放流型）には、下水道への放流する方法、または水路や河川などの公共用水域へ放流する方法があるが、いずれにおいてもその流末に至る流路及び構造について確認し、流域に支障がないように配慮する。また、放流先の管理者の同意、承諾などが必要な場合があるほか、分流式下水道への放流は下水道料金が発生する場合もあるので確認が必要となる。

また、地下水の揚水が周辺の地下水環境へ影響を与えていないか、排水する地下水の水質に問題がないかなどを確認するために、揚水量、地下水位、水質等についてモニタリングを行うことが望ましい。これについては、環境省地中熱ガイドライン p.56-6 を参考に計画する。

その他、熱交換後の地下水はそのまま放流するのではなく、中水や消融雪設備の熱源などとしての二次利用を検討し、有効に活用することが望ましい。

3.3 還元方式（還元井型・浸透枡型）の設計

地下水を還元させる方法にはいくつかの種類があり、計画地の水理地質、敷地面積、地表付近の土質などを考慮して最適な方法を選定する。なお、還元（浸透）能力は次第に低下することがあるので、その予防策やメンテナンス方法についても十分考慮した設計とする。

また、還元させた地下水が、地下水環境へ影響を与えていないか確認できるよう、モニタリング計画を立てることが望ましい。

〔解説〕

還元方式には、還元井型と浸透枡型があり、還元井型として還元井、揚水/還元(兼用)交互利用がある。一方、浸透枡型としては、大口径浸透井、浸透枡、浸透池、浸透側溝（トレンチ）、水田などいくつかの種類がある。これら還元方式の課題として、長期的には目詰まりなどによる還元能力低下などの現象が発生し易いことから、還元量減少防止方法と能力回復対策についても予め十分に考慮した設計とする必要がある。また、地下水還元による地下水環境への影響等のモニタリング項目としては、揚水量、還元量、水質、水温、地下水位などがある。これについては、環境省地中熱ガイドライン p. 49-55) を参照に計画する。

還元方式の各種工法について以下に概説する。

(1) 還元井型

1) 還元井

還元井は、基本的に揚水した同一帯水層に直接、熱交換後の地下水を注入する井戸である。ただし、水理地質的に地下水位が高い場合や、帯水層の透水性が小さいときなど、揚水した水量の全量還元が難しいことがあるので注意が必要である。

還元井のスクリーン設置位置は、原則として揚水井に準じるものとし、異なる帯水層への還元はできるだけ避けるようにする。設計段階では、揚水・還元量、利用温度差は近隣の既存井戸資料などから推定するが、計画段階の早い時期に揚水井と還元井の試験施工(試験後に本設井として利用)を行い、1井あたりの適正揚水量と地下水温および適正還元量、利用温度差を設定して揚水井と還元井の数量(構成)を把握し、実施設計資料に供することが必要である。

揚水井・還元井の設計手順を図 3-1 に示す。

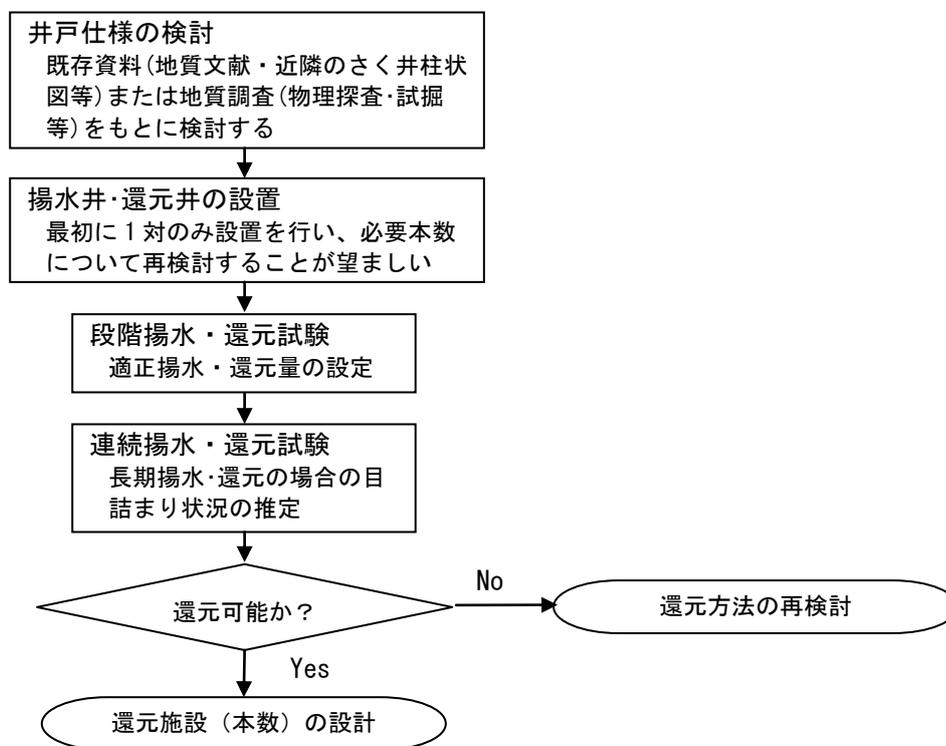


図 3-1 揚水井・還元井の検討手順

揚水/還元兼用は、揚水井と還元井の役割を固定せずに交互運転することにより還元井の能力低下を予防する方法である。還元井が能力低下を起こした場合、還元井から揚水することで逆洗を行うこととなり、機能回復が出来ることがある。この揚水/還元兼用型は、その効果に期待して複数の井戸で揚水と還元を交互に行うシステムである。

このシステムには、地上配管が複雑になるというデメリットがあるが、揚水井・還元井を長期的に運用するためには、効果的なシステムである。

(2) 浸透枡型

1) 浸透枡・大口径浸透井

浸透枡は、地表付近に設置した枡ないし浸透側溝（トレンチ）により地下水を浸透させる方法であり、大口径浸透井は、集水井を利用して地下水を浸透させる方法である。いずれも地表付近に透水性の良い砂礫層や砂層が存在する場合に導入できる。これらの設計に際しては、とくに浸透枡などでは現地浸透試験により浸透能力を確認する必要がある。ただし、還元井と同様に、地下水の水質が変化した場合、次第に浸透能力が低下することがある。

なお、この浸透枡の調査・設計・施工・維持管理については「増補改訂雨水浸透施設技術指針（案）調査・計画編」（（公社）雨水貯留浸透技術協会、平成 18 年 9 月）、「増補改訂雨水浸透施設技術指針（案）構造・施工・維持管理編」（同、平成 19 年 7 月）に詳しいので参照してもらいたい。

2) 浸透池

浸透池は、地表部から透水性の高い砂礫層や砂層などの地盤が分布している地区で、かつ浸透池を設ける十分な敷地が確保されている場合に導入できる。目詰まり除去などの維持管理が比較的容易であるという利点がある。

(3) 還元井の設計上の留意点

1) 還元井の構造と材質

還元能力の維持と長期間の安定使用を考慮し、揚水井と還元井は原則として単層仕上げとし、地下水の水質変化による帯水層の閉塞を防止することに留意する。還元する帯水層は、他の帯水層と完全に遮水する構造とすることが望ましい。

ケーシングパイプの材質は、長期間の稼働を考慮して耐食性の材質とし、ステンレス製や樹脂製を使用することが望ましい。スクリーンには、開孔率の高い巻線型が、その材質は耐食性のステンレス材、樹脂材(多板式タイプ等)が有効である。

2) 逆洗装置

還元を継続すると、どのように対処しても地層中の微細粒子や地下水中の溶存成分によるスケール形成などの還元能力減退が発生してくる。そのため、還元能力の減退を把握し逆洗実施時期を把握するため、還元量と還元水位を常時モニタリングすることが大切である。事前に管理目標値(比還元量)を定め、定期的に逆洗を実施可能な揚水設備を検討することが望ましい。

3) 揚水井/還元井(兼用)交互利用(帯水層蓄熱方式)

還元能力の維持のために、揚水井と還元井の役割を固定せず、定期的または湧出能力減退により揚水と還元の役割を交替して利用することがある。帯水層蓄熱方式の利用もこの形式である。井戸構造は、兼用であるため同一仕様となる。

4) 還元量等の把握

水理地質条件(地下水位、透水係数、貯留係数、帯水層厚、帯水層の水平分布)によっては還元井を増やしても全量還元することが困難なことがある。そのため、揚水井を利用するか試験用の還元井を設置して段階還元試験、連続還元試験を実施して適正な還元量と還元の継続性、還元井の設置本数、逆洗の頻度等を把握して設計資料に供する必要がある。

5) 地下水温・水質・揚砂量

揚水試験時の地下水温により、必要熱量を基に揚水量と還元量を求める。併せて地下水の水質分析を行い、帯水層の目詰まりの原因となる溶存物質を把握し、浄水装置の設計に供する。

6) 還元能力低下時への備え

還元能力を維持するために、揚水された地下水は密閉管路中を流動させ、空気との接触を防ぐものとする。空気との接触は、酸化物の析出による帯水層の目詰まりや、気泡発生による帯水層への流動抵抗増加の原因となる。

上記の点に留意しても、地下水の水質は揚水にともない変化することがある。例えば、還元環境の地下水に溶解していた鉄は、酸化環境では酸化物として沈殿し、目詰まりの原因となる。そのため、還元井の設計においては、施工時の還元能力は次第に低下するものと考え、揚水井よりも還元井の本数を増やす、余水吐きを設けておく、浸透枘と併用とする、洗浄排水用ポンプを設置しておくなど、還元能力低下後の異常水位上昇時への備えが必要となる。

3.4 熱源設備の設計

オープンループでは、地下水を機械設備内に直接通水することから、水質に起因する腐食、スケールの付着などが発生する可能性がある。これらの障害発生への予防保全策として、水質対策機器の設置、配管やポンプ機器の材質・口径変更、メンテナンス作業を考慮した設計などが必要となる。

[解説]

クローズドループでは熱源側に不凍液を循環させるのに対し、オープンループでは地下水を循環させることから、地下水の水質に起因する腐食やスケール付着などが固有の障害が発生する可能性がある。これらの障害発生による設備の機能低下を未然に防止するための予防保全策を予め検討する必要がある。以下に、ヒートポンプ、熱交換器等の水質対策機器の設置、配管・ポンプ機器の設計、メンテナンスを考慮した設計について述べる。

(1) ヒートポンプ

オープンループで使用するヒートポンプは水熱源のヒートポンプであり、クローズドループと同様に水-空気ヒートポンプや水-水ヒートポンプが利用される。地下水を直接水熱源として利用する直接利用と、地下水を水-水熱交換器で熱交換した循環流体を水熱源とする間接利用があ

る。水熱源ヒートポンプ製品により地下水の間接利用のみ対応しているもの、直接利用が可能なもの、間接利用・直接利用問わず非対応のものがある。クローズドループに対応しているヒートポンプは地下水間接利用にも対応している場合が多い。

ヒートポンプは地下水利用の温度条件において過大とならない範囲で必要熱負荷以上の能力をもったものを選定する。

(2) 水質対策

ヒートポンプの熱源に使用する循環流体は、日本冷凍空調工業会標準規格・冷凍空調機器用冷却水水質基準(JRA-GL-02-1994)に示された基準項目及び参考項目をすべて満たしている必要がある。地下水を熱源とする場合、地下水がこの基準を満たしていない場合は、配管・機械等の腐食やスケール付着による熱交換効率の低下を引き起こす原因となる恐れがあるため、浄化設備(濾過設備・フィルター等)を設置するか、もしくは熱交換器を揚水井とヒートポンプとの間に設置し、ヒートポンプと縁を切るものとする。

なお、基準を満たしている場合でも将来水質が変化する可能性は否定できないため、熱損失はあるものの熱交換器を設置しておくことを推奨する。熱交換器を設置する場合、熱交換器とヒートポンプの間の配管は密閉配管となるので膨張タンクの設置が望ましく、配管内の循環流体は水質基準を満たす水または不凍液である。

(3) 配管・ポンプ機器の材質と口径

地下水が流れる配管やポンプ等の一次側設備については、腐食の可能性を考慮して、ステンレス製や樹脂製を選択することが望ましい。間接利用の場合は、井水ポンプとは別に循環ポンプが必要であり、省エネルギーのためポンプ容量は必要最低限とする。

(4) メンテナンスを考慮した設計

前述の水質基準に満たない地下水の場合は、定期的に濾材やフィルターの交換、また、熱交換器等の分解等による清掃や交換をする必要があることから、それらを考慮した清掃や交換のしやすい設計とする。その他、点検時を考慮し、ヒートポンプ等の機械設備には、圧力計、流量計、温度計などを設置しておくことが望ましい。また、揚水井・還元井には、スクリーンの目詰まりなどの井戸の状況を把握できるよう、水位測定管あるいは水位センサーを設置しておくことが望ましい。

(5) 井水槽

井水槽は地下水の遊離炭酸除去、沈砂等の目的で設置されることがある。また、ヒートポンプの熱源として利用することにより、少ない揚水量でヒートポンプの運転が可能となる。すなわち、井水槽利用温度差と井水槽容量を適切に設定すると、通常では揚水量が不足しているピーク負荷時間にヒートポンプ運転が可能となる。また、井水槽は雑用水、災害揚水としての兼用などの二次利用が可能である。

なお、井水槽を設置する場合は、井戸からの井水ポンプに加え熱源ポンプが必要になるほか、熱源水温度変化を考慮する必要がある。

(6) オープンループとクローズドループの併用

オープンループとクローズドループはそれぞれ水量の制限や設置場所等の制限があることから、併用して用いられることがある。並列、直列など併用の方法は様々である。

4 オープンループの施工

4.1 揚水井の施工

揚水井の施工方法は、安定した地下水の供給ができるように掘さく時の使用機械・泥水の選定、仕上げ時にはその泥水の完全除去、揚水試験による井戸能力及び採水した地下水の水質の把握に努める。

[解説]

揚水井の施工に際しての施工手順を図 4-1 に示し、以下に留意点を述べる。

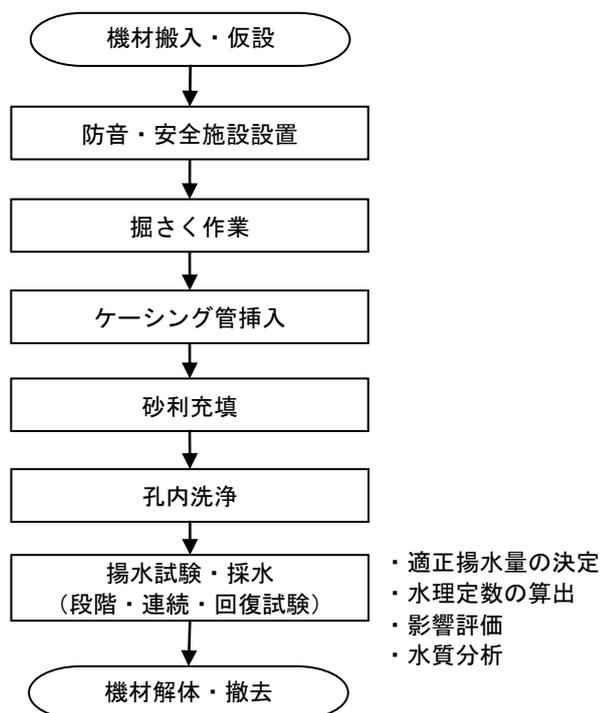


図 4-1 揚水井の施工手順

(1) 掘さく工法の確認

揚水井の設計において掘さく工法の選定は行われているが、現地の状況を確認し、選定工法が適切であるか検討する。

(2) 掘さく作業

揚水井の施工手順を図 4-1 に示し、作業上の留意点を以下に述べる。

1) 使用泥水

掘さくに当たっては、厚い泥壁を形成しないポリマ系の泥水使用が望ましく、泥水使用の場合は掘さく時に泥水比重、粘速、泥壁厚、脱水量を計測して地層に適合した適切な泥水を使用する。ダウンザホールハンマ掘さく工法は、泥水を使用しないことから帯水層の閉塞の恐れは少ない。

2) 電気検層

掘さく作業終了後、電気検層（比抵抗検層）を実施し、地質柱状図の精度向上及び帯水候補層深度決定の基礎資料とする。その結果を設計図書と照合し、差異が顕著である場合は、スクリーンの設置位置やスクリーン長をケーシングプログラム等に記し、協議のうえ決定することが必要となる。この際、極力砂層を避け、無孔管の長さを調整して適切な区間に設置し、なるべく多層仕上げを避けることが望ましい。

3) ケーシングパイプ挿入

ケーシングプログラムが確定したのち、その順序に沿ってパイプを挿入していく。この際はパイプが掘さく孔に同心になるよう留意する。

4) 砂利充填・遮水

ケーシングパイプが挿入されたのち、砂利を掘さく孔とパイプの間に充填する。この時、空隙を作らないよう慎重に充填することが重要である。また、他の帯水層からの混流や、地表からの雨水等の流入を防ぐため、不透水層において遮水材により遮水を行うものとする。

5) 仕上げ方法

泥水を使用した場合、帯水層では泥水の浸透により泥壁が形成される。形成された泥壁の完全除去の可能な仕上げ工法を採用する。一般的には、ケーシング、砂利充填、遮水の一連の作業が終了し、泥水を清水に入替た後に、スロビング洗浄、ジッティング洗浄、エアリフト洗浄などの工法を実施することが望ましい。

6) 揚水試験

図 4-2 に揚水試験の実施手順を示す。揚水試験では、段階揚水試験、連続揚水試験、水位回復試験を行う。段階揚水試験は、井戸の限界揚水量と適正揚水量を決定するために行うもので

あり、連続揚水試験と水位回復試験は、水位の安定性の確認と、地下水温、帯水層の能力（透水性）を把握するために行うものである。ここで、適正揚水量は、限界揚水量の70～80%程度であるが、各地域の周辺環境を考慮して決定することが望ましい⁷⁾。

また、揚水試験中に揚砂が認められた場合は、サンドセパレータ等の分離除去設備を設計に組み込むことも検討する。

7) 水質分析試験

採水をした地下水を、認定を受けた分析機関にて水質分析試験を実施する。分析項目は、日本冷凍空調工業会標準規格・冷凍空調機器用冷却水水質基準(JRA-GL-02-1994)に示された基準項目及び参考項目とする。

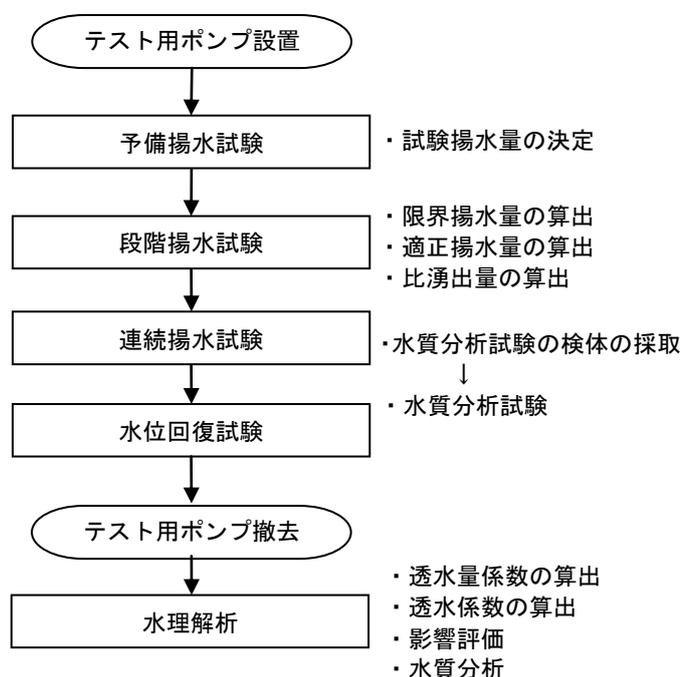


図 4-2 揚水試験の実施手順

(3) 工事報告書

工事報告書には、以下の項目について記載する。また、揚水設備が工事に含まれている場合は、揚水設備図面（ポンプ完成図書・ポンプ設置状況図・配管ルート図等）を加え、還元井も含める場合には、還元試験結果等が必要となる。

- ・ 工事仕様
- ・ 工事概要
- ・ 施工地点位置図
- ・ 総合柱状図（地質柱状図・井戸構造図・検層図）
- ・ スクリーン構造図
- ・ 電気検層記録
- ・ 揚水試験記録及び解析図
- ・ 水質分析結果
- ・ 地質標本（サンプル）
- ・ 工事記録写真

4.2 還元井の施工

還元井の施工方法は、帯水層の最大限の還元能力を発揮するため、掘削時の使用泥水の選定、仕上げ時の泥壁の完全除去、還元試験による還元能力の把握、揚水井と還元井比率などに留意する。

〔解説〕

還元井の施工は、原則として揚水井と同様であるが、揚水試験実施後に還元試験を行い、揚水・還元にもなう周辺地下水環境への影響や、各還元井の適正な還元量を求めて、必要に応じて還元井の本数を再検討することと、長期的な運用を行う場合の適切な維持管理作業間隔を検討するためのデータを得ておくことが望ましい。

(1) 還元井の施工

還元井の施工手順を図 4-3 に示す。還元井の施工方法については、揚水試験までは揚水井の施工方法と同様であるため、前項（4.1 揚水井の施工）を参照されたい。

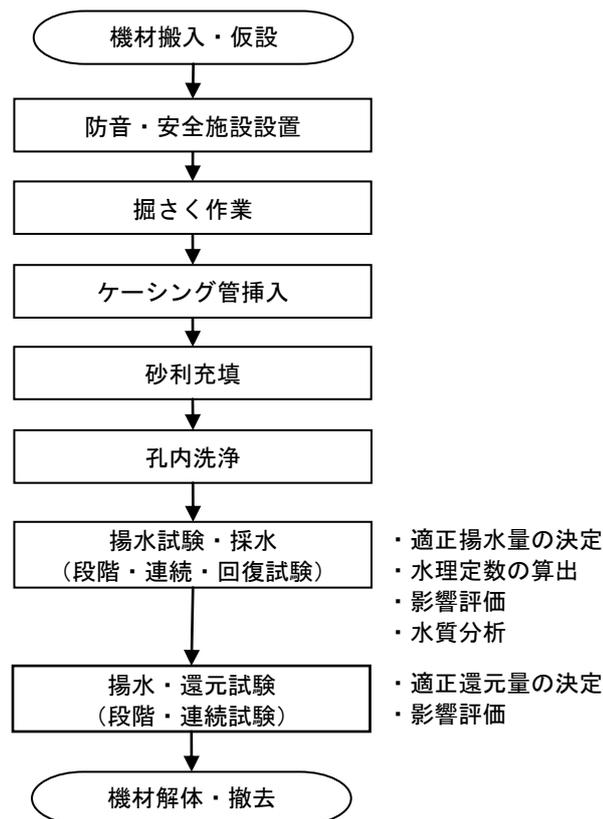
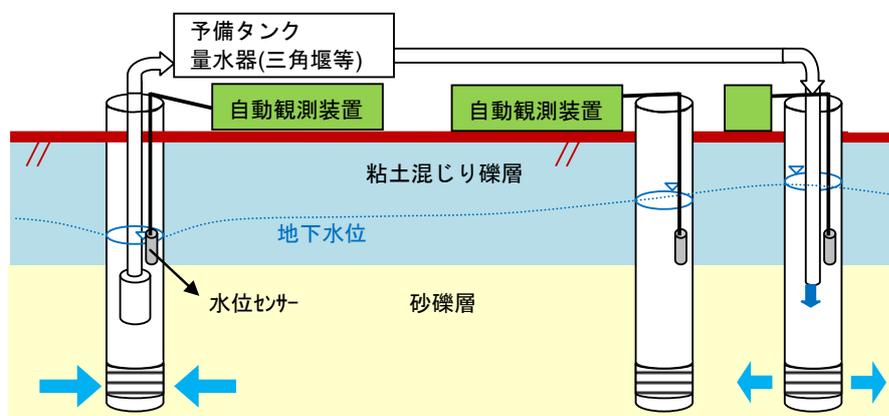


図 4-3 還元井の施工手順

(2) 揚水・還元試験

揚水・還元試験の実施概念図を図 4-4 に示す。還元水には、揚水井からの同一帯水層からの地下水を利用することが望ましい。還元井は、揚水井の場合と同様にまず段階揚水試験、連続揚水

試験、水位回復試験、揚砂量測定、地下水温度測定、水質分析を行い、その後に、還元試験を実施する。還元試験は、段階還元試験、連続還元試験、水位回復試験とする。試験結果により、適正な還元量、揚水井と還元井の構成比率を求める。還元能力の把握には、連続還元試験時間を極力長く取ることが望ましい。



揚水井から還元井に向かって仮設配管を行い揚水と還元を同時に行い、その間の地下水位変動を記録する。揚水井または還元井の近隣に井戸がある場合はその地下水位変動を記録することで影響評価を行うことができる。この図は自動観測装置を用いた実施例である。

図 4-4 還元試験の実施概念図

(3) 揚水・還元(兼用)交互利用型の施工

揚水と還元を交互に利用する場合は、揚水井も還元井と同一の施工方法を採用する。

5 オープンループの運用

5.1 設備の維持管理

オープンループによる主要な機械設備は、揚水井、還元井、ヒートポンプ、熱交換器がある。これらの設備に対して、適切なメンテナンスやモニタリングを行うことにより、長期のシステム運用を行うことが可能になる。

[解説]

(1) 揚水井

通常の揚水井は、長期間の利用により、採水部（スクリーン）の目詰まりやポンプの劣化を原因として初期の揚水量と比較し徐々にその水量が減少する。揚水流量は、流量計、圧力計等により確認を行う。必要な揚水量が得られなくなった場合や、水質の変化が生じた場合には井戸のメンテナンスを実施する。井戸のメンテナンスは、揚水管の洗浄または交換、スクリーンの洗浄、ポンプの交換等によって実施される。継続的に必要揚水量を確保するためには、定期点検等で井戸の定期的な（運転時および停止時の）水位、水質計測を行い、その変化からメンテナンス計画を立てることが望ましい。

(2) 還元井

1) 井戸洗浄

地下水水質の良好な揚水井でも、長期的には湧出能力の減退は避けることができない。還元井においては、なおさら還元能力の減退は顕著と言える。そのために定期的に揚水/還元設備を撤去して井戸洗浄を行う必要が生じる。

洗浄の実施時期については、井戸能力(比揚水量・比還元量)の減退が明確になってから実施したのでは井戸能力の完全な復元は困難で、まずは1回/年の頻度で井戸能力の減退前に定期的に洗浄を行い、施工効果に応じて適切な洗浄間隔を設定することが望ましい。

2) モニタリング

還元能力の維持と帯水層への還元による影響を把握するため、モニタリングの実施が求められる。揚水井では揚水量、揚水水位、揚水水温の3項目、還元井では還元量、還元水位、還元水温の3項目、観測井(同一帯水層)を還元井周辺に配置し、水位と水温を観測する。観測井の数量と配置場所は、地下水の流動方向により検討する。また、揚水井と観測井の水質分析を定期的に行うことが望ましい。

なお、地下水や地盤環境に与える負荷や影響に対するモニタリングについては、環境省ガイドライン (p. 49) を参考にする。

(3) ヒートポンプ、熱交換器

ヒートポンプの維持管理についてはクローズドループと同様である(施工管理マニュアルを参照)。

間接方式の場合、地下水の水質によって、熱交換器表面へのスケール付着、熱交換器の腐食といった影響がある。直接方式の場合、ヒートポンプ内の熱交換器にも同様な影響がある。

熱交換器にスケールが付着すると熱交換器内の流路が狭まることによる流量低下および性能低下により一次側流体と二次側流体の温度差が増大し、システムの性能低下やシステムの停止を引き起こす。一方、熱交換器が腐食すると漏水やエア混入によりシステムが停止する。

点検時には、圧力計、流量計、温度計の数値を確認することによりスケールおよび腐食がないかを確認する。

熱交換器の修理は、スケールの場合は分解等による洗浄や交換、腐食の場合は交換となる。修理を行う間はシステムが停止する期間が生じてしまうため、連続運転が必要な場合には、バックアップ回路をあらかじめ設置することが望ましい。

(4) 共通項目

いずれの設備においても地下水の水位変化や水質状況は、地域による特色があり、その地域に応じた対応方法、メンテナンス間隔を計画することが必要である。

5.2 環境保全

地中熱利用ヒートポンプシステムオープンループは、省エネルギー効果、CO₂ 排出削減効果、ヒートアイランド緩和効果に優れたシステムである。ただし、適切な範囲を超えて地下水環境に大きな変化をもたらすような運転を継続すると運転効率の低下につながる可能性がある。また、地下水・地盤環境への直接的な影響が生じないように、以下の影響を考慮したモニタリングを行うことが望ましい。

[解説]

(1) 揚水による地下水位への影響

可能揚水量を超えた揚水を行うと、井戸周辺で大幅な地下水位の低下を引き起こし、広範囲・長期間にわたり低下すると、周辺井戸利用の妨げになり、地下水・地盤条件によっては地盤沈下を生じる恐れもある。したがって揚水井の地下水位のモニタリングを行うことが望ましい。

(2) 地下水の還元による地下水・地盤温度、水質への影響

採放熱を行った後の地下水を地下へ還元する場合、還元先の地下水や地盤の温度、地下水質に変化をもたらす場合があるため、還元水の水温および水質をモニタリングすることが望ましい。

(3) 放流先水域の水温水質への影響

個々の施設からの放流量が少量でも、施設が集中している場合や、小規模な水域へ放流する場合に、放流先水域の水温・水質に変化をもたらす可能性があるため、放流水の水温および水質のモニタリングをおこなうことが望ましい。

なお、上記のモニタリングについては、環境省地中熱ガイドラインを参照する。

以 上

参考・引用文献

- 1) 政策会議水循環政策本部（2015）：水循環基本計画（平成 27 年 7 月）、首相官邸ホームページ、p.13、https://www.kantei.go.jp/jp/singi/mizu_junkan/pdf/honbun.pdf
- 2) 環境省水・大気環境局（2015）：地中熱利用に当たってのガイドライン改訂版（平成 27 年 3 月）
- 3) 公益社団法人日本地下水学会編（2011）：地下水用語集、理工図書、p.22-23,p.117
- 4) Stefanie Hahnlein et.al（2013）：Sustainability and policy for the thermal use of shallow geothermal energy, Energy Policy 59、p.914-925.
- 5) 藤縄克之著（1990）：地学ワンポイント 2 汚染される地下水、共立出版、p.44
- 6) 藤縄克之著（2010）：環境地下水学、共立出版、p.258
- 7) 一般社団法人全国さく井協会（2015）：さく井技能士研修講習会テキスト（平成 27 年 10 月改訂版）、p.45