

# バイブロHDD工法による 地中熱利用ヒートポンプへの応用

**キーワード**

省エネ、  
バイブレーション、  
HDD工法、地中熱、  
砂礫層

**川村 雅昭**

KAWAMURA Masaaki

(株)ワイビーエム  
東京支社第一営業部次長



**大久保 博晃**

OKUBO Hiroaki

(株)ワイビーエム  
企画開発部主事(工学博士)



## 1. はじめに

HDD工法は、水道管・ガス管等の引き込み工事への利用だけでなく、開削しないという特徴を活かした他分野への応用が可能と考えられる。その応用分野として、地中熱利用ヒートポンプシステムの掘削工事が挙げられる。

地中熱利用ヒートポンプシステムは、通常空気熱源ヒートポンプ（エアコン）が外気から採熱・放熱をするのに対して、地下から採熱・放熱をするシステムであり、空気熱源ヒートポンプと比較して3～5割の省エネ効果がある。このシステムの肝は、地下へ設置する地中熱交換器であり、その方法はボアホールを掘削してUチューブ（熱交換器）を設置する垂直型、バックホウ等を用いて開削した場所にポリエチレンチューブ等を設置して行う水平型がある。垂直型はボアホールを掘削するため設置面積が小さくて済むがインシヤルコストが高くなり、水平型のインシヤルコストは低く抑えられるが設置面積は大きくなる。

そこで、既築の建造物や構造物の下を開削せずに地中との熱交換パイプを設置できるHDD工法が応用できると考えられる。但し、対象とする地盤が砂礫層や帯水砂層といったわが国特有の土質である場合が多く、従来まではその対応が難しいとされていたHDD工法ではあるが、これまで回転のみで行ってきた削孔や埋設管の引き込みにバイブレーション機能を付加したバイブロドリルを開発したことにより上記土質にも対応可能となり、更なる普及が期待できるようになった。実際、日本より設置件数が圧倒的に多いアメリカではHDD工法は地中熱交換器を設置する際の方法の

一つとして確立しており、インターネットで検索すれば、手法として紹介されている。本稿ではその中の事例を紹介する。

## 2. 地中熱・地中熱工事とは

地下50mより浅い地下の温度は、図-1に示すように外気温に比べると年間を通して温度変化が小さく、その地域の平均気温に近い温度分布を示し、夏は外気温より低いので冷熱源として、冬は外気温より高いので温熱源として利用可能である。この外気温との温度差を利用した技術が地中熱利用である。

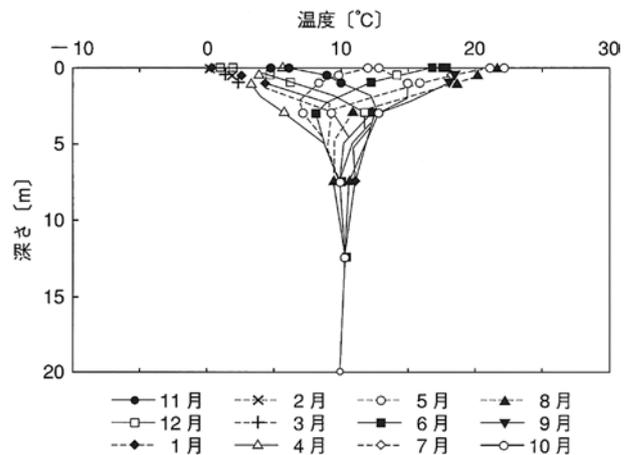


図-1 地中の温度分布  
(地中熱ヒートポンプシステム、オーム社より抜粋)

地中熱の利用方法は、図-2に示すように、ヒートポンプを利用した方法、地中からの熱伝導の利用、外気との温度差を活かした空気循環、地下からの熱をそのまま利用する水循環・ヒートパイプ等がある。これ

らの方法はいずれも地下の熱を利用する方法であるが、世界的にみると住宅等の建築物に利用できる地中熱利用ヒートポンプシステムが主流となっている。

地中熱利用ヒートポンプシステムは図-3に示すように、一次側(地中熱交換器)、ヒートポンプ、二次側(空調器)で構成される。この内、一次側の地中熱交換器は図-4に示すように10~15m程度を掘削しUチューブを設置する垂直型方式、バックホウ等を用いて1~

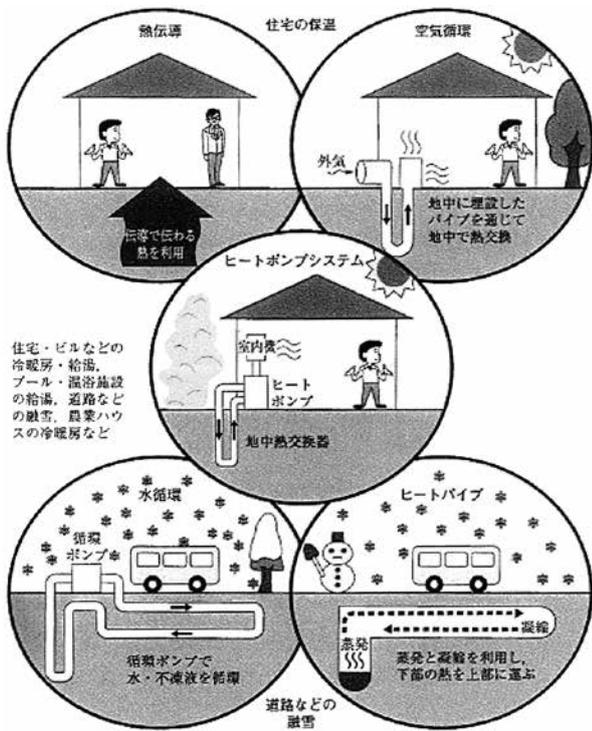


図-2 地中熱の利用方法  
(地中熱利用ヒートポンプの基本がわかる本、オーム社より抜粋)

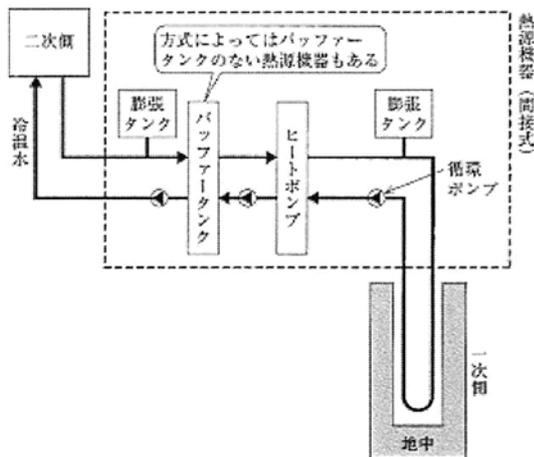


図-3 地中熱利用ヒートポンプシステム簡略図  
(地中熱利用ヒートポンプの基本がわかる本、オーム社より抜粋)

2m程度掘削しパイプを埋め込む水平型方式、地下水を利用するオープンループ方式が挙げられる。はじめにでも述べたが、垂直型方式は、ボアホールを掘削するので、例えば住宅に導入する場合は駐車場に掘削することが可能である。しかし、イニシャルコストは水平型方式に比べると割高になる。一方、水平型方式のイニシャルコストは垂直型に比べると低いが、パイプを敷設するのに広大な面積が必要で、例えば住宅ならば床面積の1~2倍程度の敷設面積が必要となる。また、地下2m程度までは温度変化するので、垂直型と比べて埋め込むパイプの長さが長くなる。尚、オープンループ方式は地盤沈下の問題などにより地下水の汲み上げ規制がある地域では使うことが出来ず、また、使い終わった水を地下に還元する場合や下水で処理する等、設置できる場所は限られている。

これらの問題解決の一つとして、パイプロドリルを用いたHDD工法による地中熱交換器(チューブ)の設置が考えられる。パイプロドリルを用いるメリットとしては、

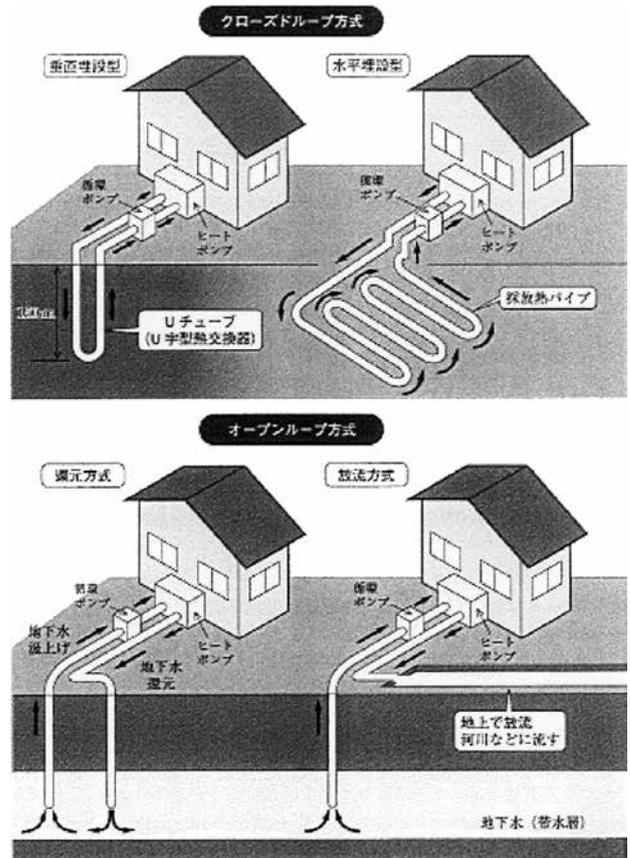


図-4 地中熱利用ヒートポンプシステム  
(地中熱利用ヒートポンプの基本がわかる本、オーム社より抜粋)

- ①地上に建築物があってもその下を利用して設置可能
- ②水平型より深い深度に設置することで地下の温度変化が少ない場所に設置することが出来、水平型に比べてパイプの長さが短くなる
- ③垂直型よりは設置が容易であり、イニシャルコストが削減できると推定される等のメリットがある。

HDD工法を用いた地中熱利用は、日本では数例しか実施されていない。一方、海外、特にアメリカでは具体数は定かではないが、高校の冷暖房システムへの導入といった大規模物件から住宅への設置といった小規模物件まで多数利用されている。(尚、2010年段階での日本の地中熱導入数は住宅の冷暖房に熱量換算すると580台程度、アメリカは100万台となる。)

### 3. バイブドリル開発までの経緯

バイブドリルの開発は、1992年より構想を練り、試作、試験削孔を繰り返しながら1999年に商品化した。

#### 3-1 急速削孔機 ECO-13V II S

打撃式削孔機ロータリーパーカッションドリルに代わるバイブレーション式急速削孔機ECO-13Vを開発、マイナーチェンジを繰り返し現在はECO-13V II Sとなっている。

ロータリーパーカッションドリルは硬岩や砂礫層など従来の回転式ボーリングマシンでは困難を要した地層でも急速削孔可能なボーリングマシンとして広く市場に出回っている。

このロータリーパーカッションドリルはロッドやケーシングに毎分2,000～3,000回の打撃を加えることにより急速削孔を実現しているが、打撃時の大きな金属音が不快な騒音となるため都市土木や民家が近い場所は使用が困難となっている。

ECO-13V II Sはこの騒音問題を解決するためローテーションとバイブレーション機構を組み合わせるロータリーパーカッション並みの削孔能力を持ちながら金属打撃音が全くない低騒音型急速削孔機としてスリーブ注入工法の先行削孔、水井戸掘削、地中熱用ボアホール掘削等に利用されている。

#### 3-2 誘導式水平ドリル HD-90V

ECO-13V II Sに至るまでのノウハウを継ぎこんだHDD工法用マシンがHD-90Vである(写真-1)。



写真-1 HD-90V全景

主な特徴を以下に掲げる。

- ①振動数調整可能な高性能バイブドリルを搭載。
- ②アプローチ角度の調節が15～45°まで可能(写真-2, 3)。



写真-2 通常姿勢状態



写真-3 アプローチ角度変更状態

- ③ドリル回転とドリルヘッド送りはモノレバーで微調節が可能。

- ④操作盤には視認性の良い高画質TFT液晶のタッチパネルを採用（写真-4）。

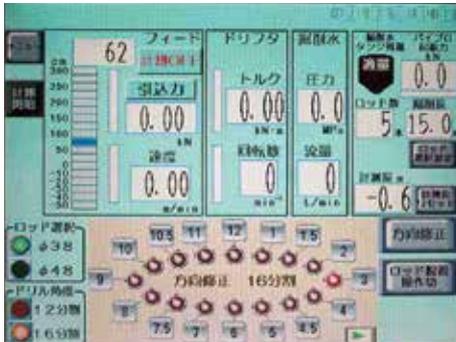


写真-4 操作盤（タッチパネル方式）

- ⑤方向修正に必要なパイロッドヘッドのローテーション角度設定はモニター上のタッチパネルで可能。

### 3-3 削孔水ユニット MP-2000

HD-90Vとセットで使用される削孔水ユニットMP-2000（写真-5）は、4t車に積載可能でコンパクトな発電機動力源の電動タイプである。ベントナイトなどの泥水材と水を攪拌して削孔水を調整・貯蔵する作泥ユニットと、削孔水をドリルマシンに送る送水ポンプや洗浄用の高圧ポンプ、清水タンクなどを搭載した送水ユニットからなっている。送水ポンプの運転や流量コントロールは水平ドリルマシンの運転操作盤で行うが、ドリルマシンと削孔水ユニットは30m程度まで離して設置し運転できるため、狭隘地ではドリルマシン本体のみが施工場所まで進入し、削孔水ユニットは余裕のある場所に設置しておくという使用方法も可能である。攪拌はジェットノズルを用いて効率的にかつ均等に攪拌する。また、ベントナイトは吸引ホースで飛散することなく供給することができる。



写真-5 MP-2000 全景

## 4. HDDを用いた地中熱工事のアメリカでの実例

「Horizontal Directional Drilling Guide」(Trenchless Technology)によると、オレゴン州ポートランド近郊のサンディの高校で、HDD工法で地中熱交換器を設置している。敷地面積331,000㎡、約28,800㎡の建物を建築し、2012年から開校している。このプロジェクトではポートランドのLOVETT社が施工している。工事写真を写真-6に示すが、高校の野球場の下に約200m掘削・引き込みし、4.5～9mの深度にパイプを設置している。



写真-6 サンディ高校での地中熱交換器設置工事 (ISCO INDUSTRIES reportより抜粋)

パイプの総延長は約68,000mであり、アメリカ国内でも最大規模の地中熱利用施設である。また、オクラホマ州立大学では、掘削する際にベントナイトを充填させて地中熱交換器を引き込むパターンとベントナイトを使用しないパターンとの熱交換能力を比較した試験を行っており、その試験工事はHDD工法で行われている。この試験では4.5か5.5インチサイズのビットで約60mの引き込みを行っている。尚、この研究によるとベントナイトを充填した場合と充填しない場合では、地下との熱交換能力に差がないと結論付けられている。他にもアメリカでは民家の庭から家の下に地中熱交換器を設置した施工例等があり、地中熱交換器の設置方法の一つとしてアメリカでは認知されている。

## 5. おわりに

東日本大震災で大きく変わったエネルギー事情の中で節電というキーワードが大きくクローズアップされている。その最右翼にあるのが地中熱ヒートポンプシステムであることは論を待たないであろう。垂直型、水平型等の従来型と共にHDD型もバリエーションに加えることを真剣に検討しなければならない時期に来ている。