## **特集≫** 地球温暖化対策,環境対策·環境対策工 ┃

# 高効率型の地中熱利用システム 分岐管方式の地中熱交換器

### 三小田 憲 司

大地に掘削孔を設けて、その中に採熱管を挿入し、地中の熱エネルギーを利用するのが、地中熱利用システムである。採熱方法として、U字管が多用されているが、送り側と還り側の配管の距離が近いため、ショートサーキットが生じて採熱効率が低下することが課題であった。そこで、送り管3本と還り管1本で構成し、ストッパーで間隔を離して固定した分岐管方式の地中熱交換器を開発し、シミュレーション解析により採熱効率が20%高いことを確認した。また、高速掘削機や高速建込装置を開発し、当社技術研究所の実験施設OL2の施工を通して、工期短縮により施工費を25%低減できることを検証したので、ここに紹介する。

キーワード:地中熱,省エネルギー,CO2削減,杭,分岐管

#### 1. はじめに

「地中熱」が再生可能エネルギー源として法律に規 定され、2010年には「エネルギー基本計画」において、 利用促進を図ることも明記され、国内でも地中熱利用 システムの実施件数は増加傾向にあるが、普及の進ん だ欧米諸国とは普及度にかなりの開きがある。その理 由として,国策による支援制度の違い,認知度の不足, 設計者や技術者の育成の遅れなども指摘されている が、設置費用が諸外国と比べて高いことも、大きな要 因である。国内における地中熱利用の普及促進を図る 上で、設置費用の削減により、経済性向上を図る技術 を開発することは非常に重要である。また、経済性向 上を図る手段として, 効率的な採熱方法により, 地中 からの採熱効率を向上させることも効果的である。本 報では、当社で開発を進めてきた地中熱利用に関する 低コスト施工技術と高効率の分岐管方式地中熱交換器 について紹介する。

#### 2. 分岐管方式地中熱交換器の概要

従来の地中熱交換器としては、先端が U 字状に熱融着された U チューブが用いられてきた(写真—1)。しかし、従来方式は送り管と還り管が密着しているため、還り管内を流体が通過する時に、送り管からの熱干渉が生じ、採熱効率の低下を招いてしまうことが課題であった。当社が開発した分岐管方式は、還り管1

本に対して、送り管が多本数で構成している(**写真**—2)。ここで、送り管の本数は、掘削孔径により2本ないし3本を想定している。更に専用ストッパーをは



写真-1 従来方式の U チューブ方式の外観



写真-2 分岐管方式の外観

め込むことによって、配管のねじりを防ぎつつ、配管 間隔を離して固定する。配管間隔が従来方式より離れ ているため、ショートサーキットによる熱損失が抑制 されるので、採熱効率の向上が期待できる。また、送 り管の本数を多くすることでも、採熱能力の向上が期 待できる。本方式は伝熱の工夫により高効率化を図っ たものであり、高価な材料は使用しないので、高効率 化の代償としてコスト上昇を招かないことが特徴であ る。

分岐管方式の地中熱交換器は、採熱管、管底先端部、EFソケットで構成される高密度ポリエチレンの一体構造である(写真—3)。採熱管と管底先端部は、EFソケットを介して、電気融着により現場施工で接合する。EFソケットには、融着に必要な時間や温度の情報のついたバーコードがあり、EFコントローラーで読み取って融着処理を行う(写真—4)。融着作業に熟練技術は必要ないので、誰でも簡単に実施できる。管底先端部は内部が中空で、上部に配管接続口を備えており、掘削孔挿入時の抵抗を少なくするため凹形状としている。専用ストッパーは、数多くの既製品を調査収集したが利用できるものがなく、試設計を経て多数の試作品を製作し、作業性、保持性、安全性につい

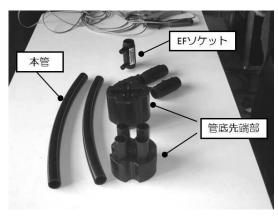


写真-3 分岐管方式の構成



写真― 4 EF コントローラーによる電気融着

て検証した上で完成させた。ストッパーの中心部は、支持部材がない中空状としているため、掘削孔への配管挿入後に行う砂充填作業において、充填砂とストッパーのあいだに空隙ができる心配がない構造となっている(写真—5)。専用ストッパーの使用により、 $\phi$ 165 mm の掘削に内径 20.4 mm の配管を用いた分岐管方式の地中熱交換器において、管離隔距離を 71 mm とることが可能となった。従来方式のダブル U チューブでは 10 mm 程度なので、採熱時の熱損失は大きく改善できる(図— 1)。



写真-5 専用ストッパーの装着状況

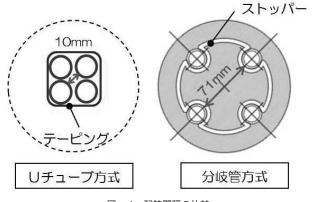


図-1 配管間隔の比較

#### 3. 地中熱交換器の施工技術開発

地中熱交換器の施工は、養生管設置、掘削、採熱管建て込み、ケーシング引き抜き、珪砂充填および水締めといった手順で行われる。地中熱交換器の施工に関して、省力化・工期短縮を図ることで工事費を削減することが可能である。当社では、以下の施工技術を導入・開発し、当社技術研究所の実験施設 OL2(東京都清瀬市)での施工を通して 25%の施工費削減効果を検証することができた。

・口元養生塩ビ管の使用

- ・高性能改造型ロータリーバカッション掘削機の採 田
- ・高速建込み装置の開発等,建て込み工法について の省力化
- ・搬入時の配管巻き径のコンパクト化(約60%)による作業性の改善

地表面付近の口元養生について、従来の施工法としてはセメンティングなどが行われているが、塩ビ管を口元養生管として埋め殺しで用いることで、上部の崩壊防止と掘削後の養生を行った。セメンテーション作業と養生ケーシングの引き抜き作業を省くことにより、省力化することができた(図—2)。掘削については、回転トルクを改造した、高回転仕様のロータリーバカッション掘削機を採用した(写真—6)。粘土混じり礫層主体の地層に対して、摩擦抵抗を低減してフ

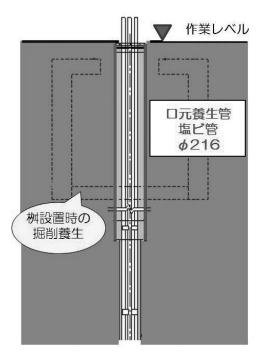
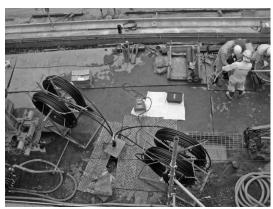


図-2 口元養生管の設置概要



写直—6 高速掘削機

ラッシングの回数を減らすことができ、当社技術研究 所の実験施設 OL2 の施工において、従来の掘削機よ りも掘削速度が25%向上することを確認し、ロッド 埋設等のトラブルの危険性を低減できた。配管の建て 込みについては、配管4本の同時建込み作業が行える 高速建込装置を開発した。敷地に余裕のない都市部で の狭隘作業にも対応できるように、2台並列のコンパ クト型2連建込タイプにして、幅5mの狭隘作業が 実施できるようにした(写真一7)。さらに先端キャッ プも水圧による抵抗の小さい形状に改良し、ストッ パーのアタッチメント性についても改良を重ねた。従 来のUチューブ方式の施工では、浮力対策として先 端に数十kgの重りをつけて建て込み作業を行ってい るが、本方式では省略することが可能である。国内で は IIS 規格の地中熱パイプの市販品が多用されている が、分岐管方式では肉厚の薄い ISO 規格の配管を採 用している。従来方式の U チューブは、採熱管 2本 が先端で熱融着されており、ロール状にして工場から 搬入されるが、外径が1.8 m ある。本方式で用いる分 岐管は外径 1.2 m で、巻き径を 2/3 に小さくすること ができ、重量も軽いので、作業性を改善することがで きる。以上の工夫により、深さ75mの地中熱交換器 の施工について、掘削所要時間は4時間、配管建込み 所要時間は1時間で、短時間での施工が実現できた。 現在は、先端キャップは削り出し成型品として使用し ているため、材料費は従来工法よりも若干高くなって いるが、掘削機の改良や建て込み装置の効率化による 工期短縮効果により、現状でも25%の工費削減効果 が期待できることが分かった。市場の拡大や配管材料 の量産化を前提にすれば、2020年には45%以上安価 にできると試算している。



写真―7 高速配管建て込み装置

#### 4. 信頼性の検証

従来空調システムを構成する設備機器の耐用年数は およそ15年であるが、地中に埋設した熱交換器の耐 用年数は50年以上と言われており、LCCを基準に評 価した場合には、地中熱利用システムの優位性は大き い。本方式が実用性に耐えうることを証明するため に、現場組み立て工法の施工性と、長期的な耐圧性・ 止水性について検証を行った。分岐管方式の地中熱交 換器は、EF ソケットを用いた電気融着施工が必要に なる。しかし、必要な作業は管表面の切削処理、アル コール清掃, バーコード読み取り, EF コントローラー の表示に従って行うソケットの着脱などで、未経験の 作業員であっても、作業開始に先立ち教育を行うこと で、作業上問題無く施工ができ、大きな熟練性を必要 としないことが、実施施工を通して分かり、施工性に ついて問題はまったくないと考えている。耐圧性につ いては、採熱管の長期的な止水性・耐圧性の保証を得 るために、設計内圧 1.0 MPa, 50 年後の安全率を 2 と して、日本水道協会の推奨する水道用ポリエチレン管 熱間クリープ試験<sup>1)</sup> を実施した(**写真─8**)。試験片 に水を充填し,所定の温度,圧力で試験を行った結果. 長期的な耐圧性能が検証された (表─1)。OL2 にお ける施工においても、全地中熱交換器を対象に、水圧 を 0.75 MPa に加圧後、直ちに 0.5 MPa に減圧する通 水試験<sup>2)</sup> を実施し、1時間後の水圧が施工した熱交換 器の全数で 0.4 MPa 以上あり、耐圧基準を満足するこ



写真―8 クリープ試験の状況

表— 1	内圧クリ-	- プ試験結果

No.	試験条件			<b>積算時間</b>	試験結果
	温度	圧力	時間	(	武駅和未
1	20℃	2.48 MPa	100 h 以上	110 h	異常なし
2	80℃	1.10 MPa	165 h 以上	959 h	異常なし
3	80℃	1.00 MPa	1,000 h 以上	1,153 h	異常なし

とを確認した(**写真** 9)。以上の耐圧性試験結果より、現場組立工法の分岐管地中熱交換器の信頼性を検証できた。



写真-9 現場通水試験の状況

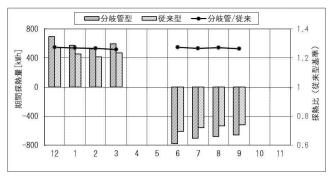
#### 5. 採熱効率に関する検証

分岐管方式と従来地中熱方式 (ダブル U チューブ 方式) の採熱能力について、配管サイズや杭深さを同 一条件として、年間シミュレーション解析により採熱 能力の比較評価を行った。解析モデルは、3次元の地 中熱伝導方程式や地中熱交換器の熱移動収支式等を組 み合わせた連立方程式モデルで、計算精度については 屋外実証実験との比較により確認済み 3) である。採熱 能力の比較方法については、地中熱交換器の送り温度 と循環流量を固定して、地中熱交換器の還り温度を計 算して採熱量を比較する感度解析法で実施した。地中 熱交換器は、ともに深さ70mとした。運転条件は、 事務所ビルでの運転を想定して、平日8時間の運転と した(表一2)。採熱量を計算した結果、年間を通し て分岐管方式の方が従来方式のダブル U チューブ方 式より採熱能力が高く, 年間採熱量は従来方式の 3.510 kWh に対して. 分岐管方式は4.380 kWh で

表―2 採熱能力の比較条件

仕 様	掘削深さ	70 m	
	管内径	分岐管:20.4 mm, Uチューブ:21 mm	
	熱媒	プロピレングリコール 30%	
物性値 外 界 条 件	地中温度	16.5℃	
	気象条件	東京都清瀬市実測値	
	土の熱伝導率	1.89 W/mK	
	土の容積比熱	$1,820 \text{ kJ/m}^3\text{K}$	
運転	夏期運転時間	6~9月平日 (9~17時)	
	冬期運転時間	12~3月平日 (9~17時)	
条	件	送り水温	冬期 7℃,夏期 27℃
		循環流量	24 L/min

25%高い結果が得られた。地中熱交換器の深さ1m当たりの採熱率に換算すると、ダブルU字管方式の41.9 W/mに対して、分岐管方式は53.2 W/mであり、標準的な条件を与えた上での試算例ではあるが、採熱率が20%以上高い結果が得られた(図一3)。



図一3 採熱能力のシミュレーション解析結果

#### 6. おわりに

本年度には環境省や経産省で、地中熱を対象とした補助金制度の拡充が図られ、ここ数年のあいだに多くの自治体で、地中熱利用に関する協議会や研究会が立ち上げられるなど、地中熱利用システムの普及に向けた動きが広がりを見せている。地中熱利用システムの $CO_2$ 削減効果は、比較する在来空調システムにもよるが  $30\sim50\%$ の効果が期待され、空冷ヒートポンプのような室外機からの放熱もないので、ヒートアイランド現象の抑制手段としても普及が期待されている。建

設施工の世界は、これまで周囲から環境に対してマイナスのイメージで見られることが多かったが、地中熱利用システムは建設施工技術を活かして、社会に対して環境への貢献をアピールできることもあって、意欲的な業者も増えつつある。当社でも、地中熱利用システムについて、設計、施工、技術コンサルタントを一括して請け負う体制を構築しており、地中熱利用システムの普及に貢献していきたいと考えている。なお、本方式を採用した地中熱ヒートポンプの実績評価については、平成 25  $\sim$  26 年度環境省  $\rm CO_2$  排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業「高効率型地中熱利用システムに関する実証研究」の一環として、実証施設で 2014 年夏からの運用評価を行っており、随時成果を報告して行く予定である。

J C M A

#### 《参考文献》

- 社団法人日本水道協会: JWWA 規格 K 144, 水道配水用ポリエチレン管. 2009
- 2) 配水用ポリエチレンシステム協会: 水道配水用ポリエチレン管および 管継ぎ手施工マニュアル
- 3) 三小田, 土屋:分岐管方式地中熱交換器の採熱実験および性能予測, 平成 25 年度空気調和・衛生工学会学術講演論文集, 2013



#### [筆者紹介] 三小田 憲司(みこだ けんじ) ㈱大林組技術研究所 環境技術研究部 主任研究員