

既製杭を用いた地中熱利用の工法開発 第1報 新工法の概要

地中熱 新工法 省力化

正会員 ○永坂 茂之* 非会員 田村 稔*
非会員 佐藤 秀幸* 正会員 菅 一雅**
正会員 小松 吾郎** 非会員 今 広人**
非会員 進 一寛***

1. はじめに

過去の施工経験を踏まえ、地中熱利用の普及課題である高額な施工費を削減するために、建物基礎杭内部へのチューブ挿入作業の省力化について検討を行い、杭とチューブを一体で施工する画期的な新工法を開発した。

基礎的な検証実験を行いながら、二重らせん状（スパイラル状）チューブとその固定金具を開発し、実際の杭を用いた実証実験を行って施工性とチューブ品質を確認し（第2報）、実用的な工法を確立した。

2. コンセプト

基礎杭型では 300mm Φ ~1000mm Φ を超える杭内に採熱チューブを挿入する。掘削費は建築工事に含まれるためゼロとなる。浅層部に設置され地表面の温度影響を受けるため、単位深さあたりの採熱能力がボアホール型より劣るが、単純回収年数は5~10年を目指せる技術である。

コスト削減と省力化を進めるには、採熱チューブの挿入作業の効率化が必要である。採熱チューブには、ポリエチレン製で口径 20~25A の U チューブまたはダブル U チューブが広く用いられ、基本的には手作業で挿入されが、建築工事との相番作業、杭施工と同時に進行など作業性が悪く、人工と時間を余計に費やす場合が多い。

従来工法の課題は以下の3つである。

- 1) 杭施工と同時にあるいは杭埋設後に採熱チューブの設置工事を行なうため、チューブ設置作業の待ち時間や設置する専門の作業員を必要とする
- 2) 杭埋設後、採熱チューブを杭内に設置する場合は、粘性の高いソイルセメントに設置するため、チューブ挿入時の抵抗が大きくなり、杭下端まで設置できない場合がある
- 3) 杭施工と同時に設置する場合、採熱チューブの設置作業に時間を要するとソイルセメントの硬化が進み、杭の埋設に影響を及ぼす

これら課題を解決するには、予め杭に U チューブまたはダブル U チューブを仕込み、杭施工と同時にチューブを継ぎ足してしていく方法が考えられる。

杭の施工は、先に掘削して既製杭を設置するプレボーリング工法が主流であり、杭設置の施工時間は無溶接継手の使用で大幅に短縮され、1箇所での接合時間は杭径 600mm で 5 分と短い。よって、施工と保持時間に 1 時間程

度を費やす融着でのチューブ継ぎ足しは出来ない。

また、チューブ挿入の場合、施工の都合でチューブを 1 束にして設置することが多く、行き・還りチューブ間の熱干渉が生じて採熱効率を低下させている。図 1 に既存設計ツール（Ground Club）を用いて、その影響をシミュレーションした結果を示す。杭内の中央部にチューブを 1 束にして設置した場合と、ダブル U チューブの 4 本のチューブピッチを杭内壁まで最大限に広げた場合の、冷房利用時における放熱率 [W/m]（単位深さあたりの放熱量）の例である。図より放熱率は、U チューブより伝熱面積が増加するダブル U チューブの方が少し多くなり、さらにピッチを広げると 2 倍以上となって採熱効率が向上し、チューブ内の流体温度も低下してヒートポンプの COP を向上させることが分かる。

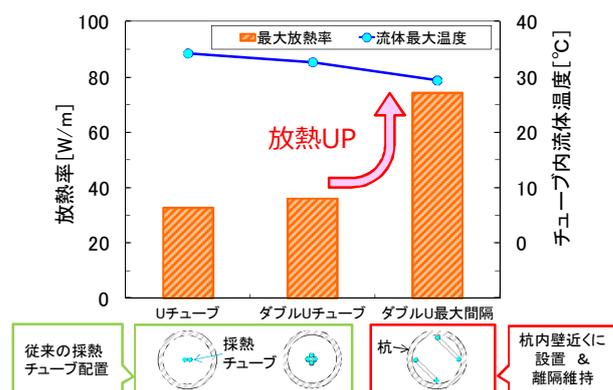


図 1 チューブ間の熱干渉による放熱率への影響例

従来工法の課題、杭施工の時短、採熱効率の向上を考慮し、新工法のコンセプトを以下のように設定した。

- ①杭施工時間に影響を与えないよう短時間に設置する
- ②採熱チューブの継手による接合作業を省く
- ③採熱効率を高めるため、杭内部の採熱チューブを杭内壁近傍に設置、配置間隔を均一にする
- ④採熱チューブを設置するための専門作業員を不要とする

3. 要素技術

新工法のコンセプトに適する採熱チューブは、バネのように伸長する形状となる。そこで、汎用 U チューブを二重らせん状、すなわちスパイラル状にし、巻き癖が戻る力を利用して伸長することとした。汎用品を流用する



写真1 採熱チューブ

ので材料費を抑えることができる。

写真1に荷姿と伸長後の一例を示す。スパイラル状にすると、チューブを杭内壁近傍に設置することができる。

配置間隔を均一にするため、伸長実験を行いながらピッチ固定方法を検討した。ピッチは大きいほど熱干渉の影響を抑制できるが、無理な引張応力がかかるため、実験結果より往きと還りのチューブ間隔を250mm前後と決定した。また杭内の高粘度のソイルセメントをベントナイトで代用して伸長した結果、固定部が破損することなくスパイラル形状を維持することを確認した。

一方、専門作業員を不要とするには、予め杭内にチューブを設置し、固定しておく必要がある。杭施工の最終工程（沈設・定着）において、杭を一定方向に10~20rpmの速度で回転させる。杭内部に充填されているソイルセメントもチューブも一緒に回っていれば良いが、万が一チューブが回転に追従出来なくなった場合、ちぎれて破損してしまう恐れがある。

そこで、杭回転と縁を切るためのスイベル（回転）機構を設けた。写真2にピッチ固定およびスイベル機能付き杭固定金具の外観を示す。固定金具をチューブの上端と下端の2箇所に取り付け、上端は伸長用の吊りフックに、下端は杭に固定する。これら金具間はピッチ固定用の2本の吊ベルトで結ばれる。吊ベルトには所定のピッチで結束バンドが掛けられ、チューブを固定している。高粘度のベントナイト中でのスイベル機能を確認し、杭回転とチューブの動きとの縁を切れることの実証を得た。

4. 施工手順

図2に施工手順を示す。下杭に杭2本を継ぎ足す手順を、図中の①から⑤の順に示している。新たに開発した二重らせん状（スパイラル状）に加工した採熱チューブを予め既製杭内部に設置し、杭挿入時にチューブを伸長させながら杭施工と同時に設置を完了する。実用時では、

杭先から2~3mの根固め部にはチューブを設置しない施工方法となる。

本工法では、杭挿入時に杭本体とチューブとを吊る2本のワイヤーが必要になり、チューブには孫または子フックを掛ける。杭を挿入する間、孫フックを定位置で固定すると、スパイラルは上端から伸びていく。次の中杭をつなぐ際には、一旦チューブを下杭の上端にあずけて孫フックを外し、中杭を揚重する際に孫フックを杭内に入れ、杭接続前にスパイラル上端の固定金具にフックを掛け、接続後にまた孫フック位置を固定しながら杭を挿入していく。この手順を繰り返していけば、所定の深さまでスパイラルチューブが伸長していく。

新工法では、基礎杭を用いる従来工法よりも、単位深さあたりのコストを10~20%削減することを目指している。

5. まとめ

新工法の特長と導入効果は、以下の通りである。

- 1) 杭施工と同時に採熱チューブの設置が完了する
- 2) 採熱チューブを設置するための作業員無しでチューブを設置できる
- 3) 従来方式に比べ、採熱チューブ設置時間を大幅に短縮し、大幅な省力化が図れる
- 4) スパイラル状の採熱チューブが杭内部に均一に配置され、採熱効率の向上が見込まれる

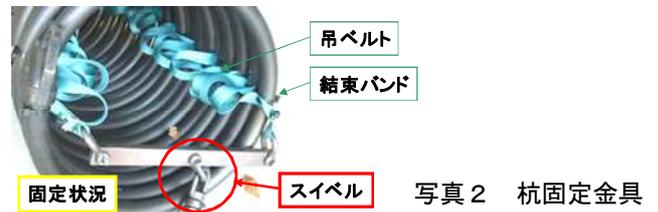


写真2 杭固定金具

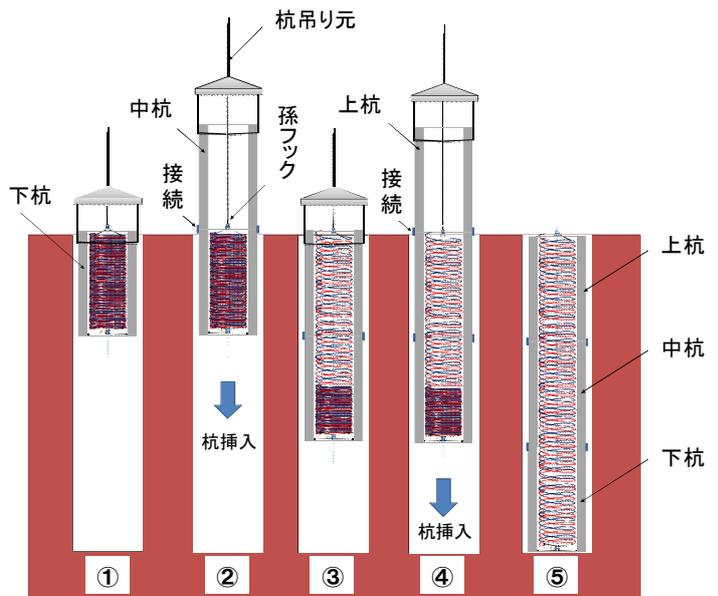


図2 新工法の施工手順 (①→⑤)

* 新日本空調株式会社
 ** ジャパンパイル株式会社
 *** 株式会社イノアック住環境

*SHIN NIPPON AIR TECHNOLOGIES CO.,LTD
 **JAPAN PILE CORPORATION
 ***INOAC Housing & Construction Materials Co.,Ltd.