

第 25 回 国土技術開発賞 優秀賞受賞

既製杭を用いた地中熱利用技術 地熱トルネード工法

〔受賞者〕 ジャパンパイル株式会社／新日本空調株式会社

〔本稿執筆者〕 ジャパンパイル株式会社 こん ひろひと こうめ しんべい 今 広人, 小梅 慎平

以下に、第 25 回 国土技術開発賞で優秀賞を受賞した「既製杭を用いた地中熱利用技術」を紹介します。

1. はじめに

「地中熱利用技術」とは、地上の気温の影響を受けないおおむね GL-10 m 以深で年間を通じて一定に保たれている地中の温度（15℃程度）を熱エネルギーとして利用するものである。積雪地域では道路などでの融雪利用、ヒートポンプと呼ばれる設備の熱源として利用することで、空調の冷暖房運転に伴う電力負荷の低減、省エネ化に用いられる。そのため、本技術は ZEB（ネット・ゼロ・エネルギー・ビル）化の要素技術として注目されている。例えばエアコンの室外機の役割を地中が担う場合、室外機の代わりに地中熱交換器を設け、地中に十数～100 m 前後の孔を掘り、熱搬送する水が循環できるポリエチレン樹脂製チューブを設置すると、機能させることができる。

この地中熱利用が欧米諸国や中国に比べて日本で普及が遅れている要因としては、日本の地盤は崩れやすい硬軟複層で形成され、掘削工事の費用が高額であることによる。2010 年にエネルギー基本計画に書き込まれるまでは、エネルギー政策として認知されておらず、補助金制度がなかった

ことも大きい。こうしたこれまでの工事課題を解決すべく、当社では既製杭と採熱チューブとを一体で施工する画期的な工法「地熱トルネード工法」を開発した^{1),2)}。

2. 従来技術の課題

建築分野における CO₂ 削減、省エネ化の施策の一つとして、再生可能エネルギーである地中熱の有効利用が挙げられる。地中熱利用技術は従来から存在し、「ボアホール方式」と呼ばれる方法が主流である。ボアホール方式とは、熱交換を行う採熱チューブを設置するためだけの専用孔を掘削し、地上から採熱チューブを挿入するという方法である。

ボアホール方式で必要な採熱量を確保するためには、100 m ほど地盤を掘削する場合もあり、それに時間を要し、費用が高額になるだけでなく、掘削が困難な岩盤に遭遇することもある。また、掘削作業と採熱チューブの挿入作業を行う専任の作業員がチューブに錘を付けて人力で地上から挿入するため、所定の深度や位置に設置しにくいといった問題もある（図-1(1)(2)）。採熱量の観点からは、ボアホール方式では掘削孔が小さく、採熱チューブ同士が近接するため、熱干渉が起りやすく採熱効率が悪くなるという面がある。

ボアホール方式だけではなく、杭工事の現場で



図-1 従来工法の課題

杭を利用した地中熱利用技術も存在する。場所打ち杭では鉄筋かごに採熱チューブを取り付けるといった方法や、既製杭では杭外周部に採熱チューブを取り付ける工法も存在する。しかし、前者は杭体に断面欠損が生じるため、杭としての支持力性能が低下するリスクがあり、後者は杭の周面摩擦力の低下や杭埋設時の採熱チューブの損傷が懸念される。採熱チューブを無事に設置できた後にも損傷のリスクはあり、図-1(3)に示すように余長分の採熱チューブが杭頭部から飛び出しているため、根切り作業時に損傷させてしまうというケースもある。

以上のように、地中熱は再生可能エネルギーとして有効ではあるが、地中熱利用技術は多くの問題点を抱えている。

3. 開発技術の概要

地熱トルネード工法は、建物の基礎杭を利用することで従来技術の課題であった地中熱利用のための掘削費用をゼロとし、杭工事と同時に二重らせん状の「採熱チューブ」を地中に設置できる工法である。特長は、採熱チューブを二重らせん状にしたことにある（写真-1）。これによって採熱チューブの伸縮が可能となり、あらかじめ採熱チューブを縮めた状態で杭の中空部に設置し、杭の施工時にはバネのように伸長させて、所定の深度や位置に精度よく設置することが可能となった。それに伴い、現場での採熱チューブ同士の継手作業も不要となった。

また、杭孔を利用するため、ボアホール方式のように採熱チューブの設置孔を掘削する工事、さ

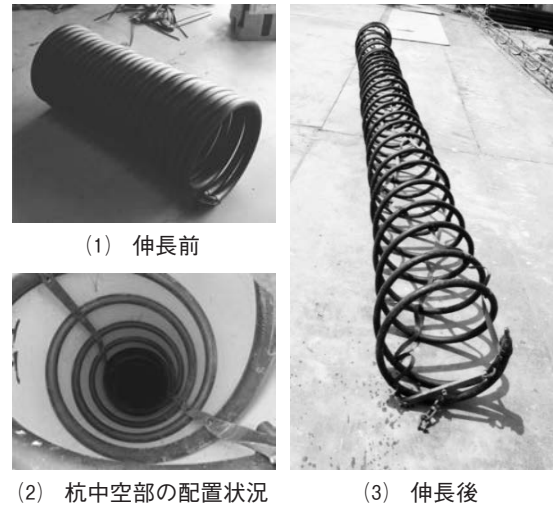
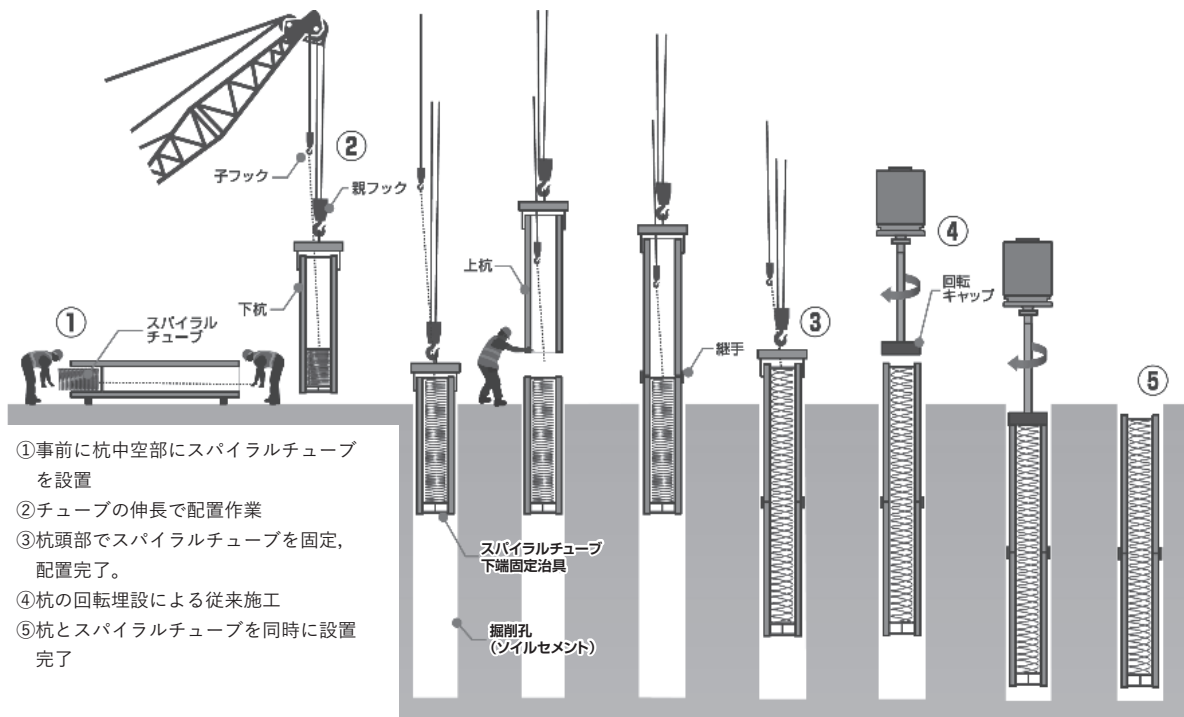


写真-1 二重らせん状の採熱チューブ

らに採熱チューブを設置する専任の作業員も不要となる。前述したように、採熱チューブは従来の人力での設置ではなく、クレーンを用いるため、安全に省力化、省人化が可能となっている（図-2）。

従来の技術では、現場で採熱チューブを杭に設置したり、その一時保管場所や挿入作業を行うためのスペースを要していたが、本技術ではこれらは全て不要なため、現場の省スペース化が図れる。さらに、杭施工完了時には採熱チューブは全て杭の中空部に収まっているため、根切り作業時にも杭から飛び出した採熱チューブを傷めるという心配はない。

既製杭の地中熱利用技術で懸念される杭体性能の低下について、本技術は既製杭の中空部に採熱チューブを設置するため、杭周囲の周面摩擦力の低下もなく、支持力に影響する杭体の断面欠損もない。実際に採熱チューブを有した杭の載荷試験を実施し、支持力の検証を行い、杭の支持力性能に影響のないこと、および極限荷重が作用しても



※「スパイラルチューブ」とは、本工法独自の二重らせん状の採熱チューブの名称を指す。

図-2 施工手順

採熱チューブの健全性（破損や漏水の有無）に問題がないことを確認した³⁾。

採熱性能についても採熱チューブを二重らせん状にすることによってチューブ同士の間隔が均等に保たれることや、採熱チューブが杭内壁付近に配置されることによって、チューブ同士の熱干渉が少なくなるため、従来の技術よりも採熱効率が向上している（写真-2）。

本技術は、杭の外径が600mm以上の既製コンクリート杭や鋼管杭といった既製杭で適用可能であり、杭工法としては既製杭で広く使用されてい

るプレボーリング杭工法が主な適用工法となる。また、伸長時の採熱チューブの設置深さは最大で30m（配管長は約200m）となる。

4. 開発技術の効果

本技術は、現場での採熱チューブの加工やチューブ同士の継手作業を必要としないため、通常の杭工事の施工時間に加えて杭の継手1カ所当たり数分程度増加するだけで、本来の杭施工の歩掛、施工能率には影響しない。よって、地中熱利用技術を取り入れても、採熱チューブの設置に伴う費用（掘削費、設置費）を抑えることができるとともに、工期短縮も期待される（図-3）。

従来のボアホール方式で使用されているダブルUチューブに比べて、本技術は採熱チューブ同士の間隔が均等に保たれることと、採熱チューブが杭内壁付近に配置されることによって、採熱量が最大で2倍アップする（図-4）。

図-5に示す導入事例では、杭26本中9本に本技術を導入した（既製杭の杭長13m、ダブルスパイラルチューブ製品長10m×3本×3系統）。

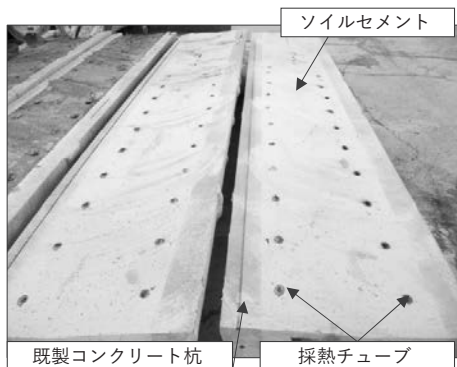
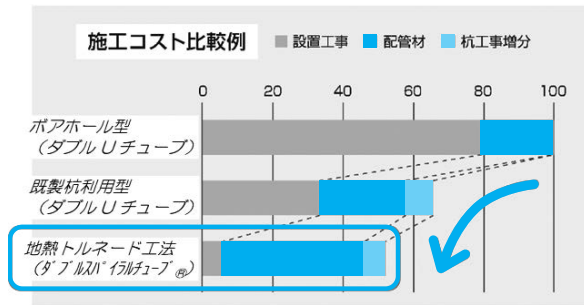


写真-2 施工後の杭を掘り起こし、縦半分に切断して開いた断面状況



※「ダブルUチューブ」とは、従来工法で用いられるU字型の採熱チューブの名称を指し、「ダブルスパイラルチューブ」とは、本工法独自の二重らせん状の採熱チューブの商品名を指す。

図-3 施工コスト比較例

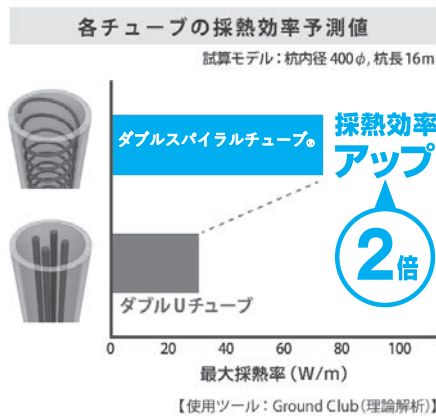


図-4 採熱効率の比較

その結果、空調面積 162 m² のスペースにおいて、使用する電力の 27.5% を削減することができた。

また、杭 26 本中 24 本（既製杭の杭長 19 m、ダブルスパイラルチューブ製品長 17 m）に本技術を導入した事例においては、従来のボアホール方式（100 m × 8 本）と比べて 60% 程度の採熱チューブ設置費用の削減効果となった。

5. おわりに

多くの建物は杭基礎で支えられており、既製杭を用いた地中熱利用技術が従来よりもリスクを減らし、低価格で施工可能となれば、気象条件等に左右されない地中熱利用の普及につながると考えられる。ひいては建物の ZEB 化の一翼を担い、さらには脱炭素化社会の実現に貢献できるのではないだろうか。海外でも杭基礎は多く採用されており、本技術はシンプルな施工方法で採熱チューブを設置できることから、国際的にも広く展開できる可能性があると考えている。



モニター画面

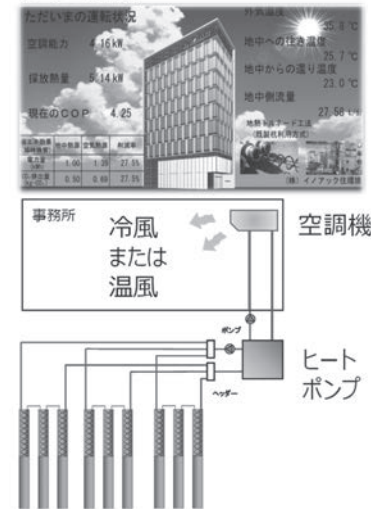


図-5 導入事例

本技術は、名古屋市内（オフィスビル）、東京都内（公共施設）、札幌市内（オフィス社屋）での施工実績があり、多くの問い合わせをいただいている。今後は ZEB 化の推進ならびに省エネによる CO₂ 排出量の削減の一助となるように、本技術の普及に努めていく所存である。

【参考文献】

- 1) 永坂茂之ら：新工法を用いた既製杭型地中熱利用 第 1 報 工法開発および採放熱実験，空気調和・衛生工学会 平成 27 年度大会学術講演論文集，pp.65-68，2015
- 2) 永坂茂之ら：新工法を用いた既製杭型地中熱利用 第 2 報 採放熱能力に関する実験と解析，空気調和・衛生工学会 平成 28 年度大会学術講演論文集，pp.133-136，2016
- 3) 小梅慎平ら：地中熱利用における杭中空部に採熱チューブを設置した杭の押込み試験，GeoKanto2021，構造 6-3，2021