

地中熱交換器内蔵既製コンクリート杭

適応性及び環境性に優れた地中熱交換杭「Hybrid Pile MS」の共同開発

賀川 昌一

地中熱利用の効果として、「エネルギー消費量の削減」「地球温暖化現象の抑制（CO₂削減）」等が挙げられる。

それを利用するための熱交換器の設置方法としては、大きく「ボアホール方式」「基礎杭方式」「水平方式」がある。躯体には必ず基礎があり、建物規模や地盤状況によっては基礎杭を採用する。既製コンクリート杭を利用した場合、従来方式（ボアホール）と比べ、設置費用が安く抑えられる。杭建込みと同時に地中熱利用システムを埋設していく方式を共同開発し、特許申請を行った。実証実験の結果等を踏まえた概要を紹介する。

キーワード：既製コンクリート杭，地中熱，工期短縮・コスト縮減，適用性，環境性

1. はじめに

地中熱交換器内蔵既製コンクリート杭「Hybrid Pile MS」（以下「本システム」という）は、建築分野では主に中層から高層建築物，土木分野では橋脚等の基礎で用いられる既製コンクリート杭の中空部に，地中熱交換器を設置する工法である。コンクリート杭の中空部に地中熱交換用の高密度ポリエチレン管を内蔵するため，コンクリート杭の建込みと同時に地中熱利用システムを埋設できる。

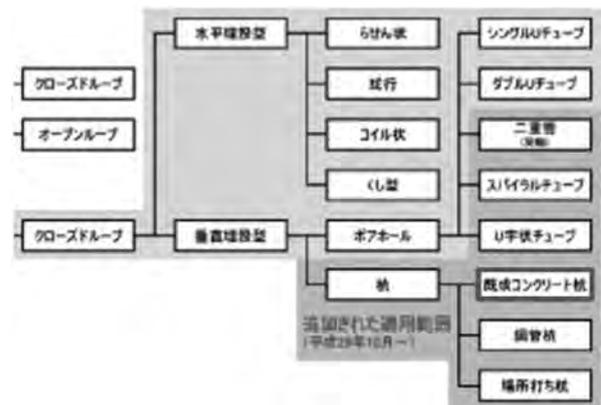
実証試験により，工期短縮とコスト縮減が可能であり，適用性及び環境性に優れた工法であることが確認できた。

2. 開発の経緯

再生可能エネルギーとして注目を浴びている地中熱利用は，学校教育施設，病院・介護施設，オフィスビル及び住宅等の空調設備や積雪地域の融雪設備等への採用件数が増加傾向にある。

従来の地中熱交換器の設置工法としては，専用の機械を用いて約50m～100mまでボーリング掘削した設置孔に熱交換器を挿入するボアホール方式が主流となっている。この方式は，安定的に効率よく地中熱を利用できるが，熱交換器設置のためのスペースや専用の設置孔掘削工事が必要となる。

一方，基礎杭を利用した方式は，その殆どが場所打



図一 地中熱利用方式の分類¹⁾

ち杭での適用となっている。この方式では、「地中熱交換用の管路が長く取れない」，「全工程が現場作業のため工期が延びる」，「多くの作業員が必要」などの課題が残る（図一1）。

これらの諸問題を解決するため，三谷セキサン（以下「コンクリート杭メカ」という）と積水化学工業（環境・ライフラインカンパニー建築システム事業部）（以下「プラスチック配管材メカ」という）は，両者の専門とする既製コンクリート杭の製造・施工と配管材のノウハウを融合して，基礎杭を用いた地中熱交換器内蔵既製コンクリート杭「本システム」を共同開発した。

地中熱利用に関して，コンクリート杭メカは既製コンクリート杭での基礎杭方式の開発を行ってきた。また，プラスチック配管材メカはボアホール方式や



図一2 システム概要

水平埋設方式による熱交換器の提供及び性能向上に関する開発を行っている。「地中熱による環境保全での社会貢献」という両者の開発方針が一致し、共同開発を進めることになった（図一2）。

3. 工法の概要

本システムは、建築物や橋脚等の構造物を支える基礎杭を用いた地中熱交換システムである。杭の施工では、杭を挿入するための設置孔を掘削する必要がある。この設置孔が熱交換器を挿入するための設置孔として併用される事により、新たな掘削作業が不要となる。

施工方法としては、既製コンクリート杭の長さに合わせて製作した熱交換器を鉄筋かごに固定する。その鉄筋かごを杭中空部に内蔵し、杭の挿入と同時に熱交換器を設置孔に埋設する方式である。既製コンクリート杭による基礎杭方式は、5m～15mの複数の既製コンクリート杭を接続して構成する。熱交換器は、高密度ポリエチレン管（PE100）を杭の軸方向に折返す形状であり、杭製造工場内で所定の間隔を確保しながら鉄筋かごに固定する。地中熱交換器の製作を工場で行うことにより、品質や効率の向上が見込める。また、杭の軸方向に折返す構造と配管の間隔を保持することにより、熱交換率も上昇した。

設置作業では、既製コンクリート杭の中空部内に工場で製作された熱交換器を挿入しておく。この時、最初に埋設する熱交換器が内蔵された杭の先端部は、熱交換器が浮き上がらないように固定しておく必要がある（写真一1）。

熱交換器を内蔵した杭の接続は、先に熱交換器から行う。熱交換器の接続は、信頼性の高い電気融着方式による専用接手を用いる。この方式は、水道管やガスパ等の配管接続でも使用されている。次に既製コンクリート杭を接続し、一体化させる。杭の接続は、機械



写真一1 専用継手による熱交換器の接続

式もしくは溶接による継手となる。（複数本を継ぐ場合は、この作業を繰り返す。）一体となった熱交換器内蔵杭を所定深度に設置し、施工完了となる（図一3）。

杭と熱交換器を同時に埋設する事により、工期短縮が可能となった。

本システムの適用範囲は、杭径φ500mm～φ1200mm、内蔵できる熱交換器の本数は杭径に応じて標準仕様（4本～10本）を決定した。

熱交換器の有効長さは、杭長以下かつ杭の構造に支障のない部分（杭先端から上方2m程度及び杭頭から下方1m程度）を除いた長さとした。

4. 工法の特長

本システムの特長は、従来工法（ボアホール方式）と比較して、（1）工期短縮とコスト削減、（2）適応性向上、（3）環境性改善が図れることにある。

これらの効果を確認するため、茨城県坂東市において実証試験を2回実施し、施工性の確認と熱応答試験、熱交換量の計測を行った。

実施工同様に、回転を与えながらの埋設を行った後、装置の確認及び水圧試験を行った。その結果、熱交換器に問題はなく、健全性が保たれている事が確認

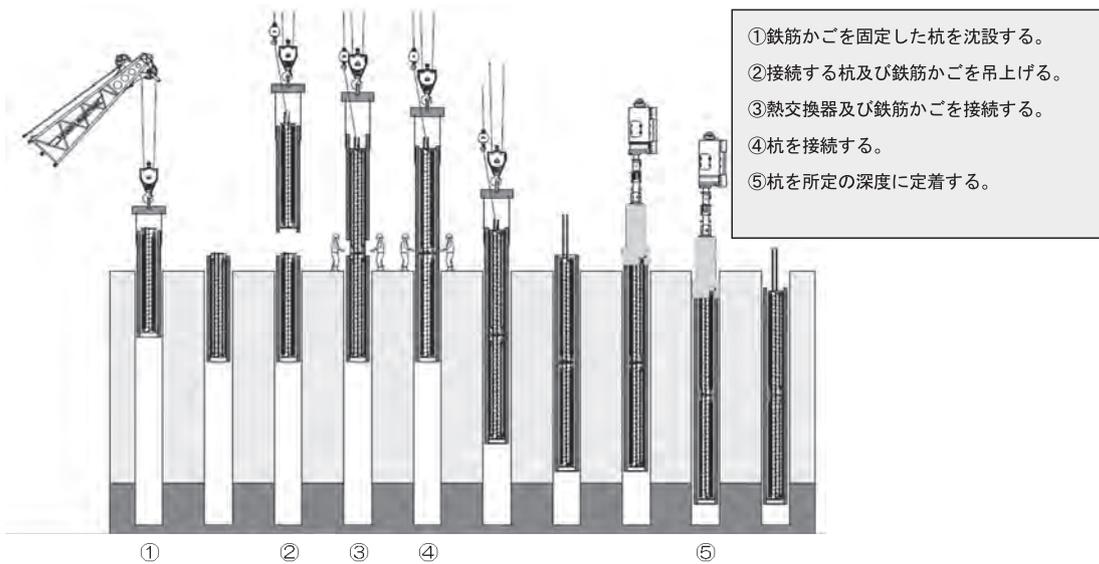


図-3 施工手順 (Type I)

できた。

また、実証試験中の施工時間から施工工数(手間)を算出した所、従来工法の工数を大幅に削減し、トータルコストの縮減が可能である。

熱交換特性については、熱応答試験(サーマル・レスポンス・テスト)で得られた特性値を用いたシミュレーションの結果、有効長さ1mあたりの熱交換量は、ボアホール方式に比べ1.5倍となった。この結果より、熱交換率の上昇を確認できた。

また、折返し構造+管間隔保持により熱交換率もアップした。

工場製作の熱交換器を設置する場合、相番クレーンが必要となる。しかし、現場の敷地条件によっては、相番クレーンを採用できず、杭打ち機のみでの施工となる。そのため本システムの施工方法は、熱交換器を工場で作成する Type I (同時施工) と施工中に製作する Type II (あと施工) の2種類を設けた。

通常 Type I を採用するが、敷地条件、施工状況等を考慮し、諸条件に適した施工方法 (Type I, Type II) を選択する事とした。杭径や本数等の適応範囲は、Type により若干変わる(表-1 標準仕様「本システム」参照)。

表-1 標準仕様「本システム」

適応範囲	Type I (今回の仕様)	Type II
熱交換器設置	同時施工	あと施工
杭径(mm)	φ500~φ1200	φ700~φ1200
有効長さ(m)	杭長以下	杭長以下
設置本数	φ500~600	4本
	φ700~1000	8本
	φ1100~	10本

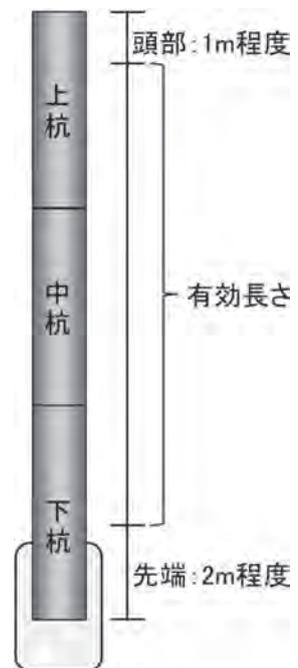


図-4



写真-2 工場での製作



写真-3 熱交換器の内蔵

表一 設置方法比較表

	基礎杭利用方式 (本システム)		ボアホール方式	
施工状況				
騒音振動	◎	低騒音低振動の杭工法であるため、周辺への影響はほとんどない。	△	岩盤、硬質地盤(礫)の掘削では大きな振動、騒音が発生する。
施工機械	○	杭工事の施工機械を兼用するため、回送費が不要	△	専用施工機械を使用するため、回送費が掛かる
工事期間	◎	杭工事と同時に行うため、地中熱工事は短い(杭工事は長くなる)	○	地中熱工事としては長くなる(他工事と並行して作業が可能)
設置場所	◎	都市部等の建ぺい率が大きい建物でも採用できる	○	建ぺい率が大きい建物では採用が難しい
追加・増設	△	竣工後の増設工事は難しい	◎	竣工後でもスペースがあれば増設工事が加工
施工能力 (100m設置)	◎	2~3日 (杭径φ700 杭長30mの場合)	○	3~5日
熱交換量	◎	約60~100W/m	○	約30~50W/m
コスト比較*	◎	約50%	○	100%

※コスト比較は、同じ熱量での一般的な値であり、地盤条件、施工条件、杭の仕様等で異なる。

【本システムの特長】

①工期短縮とコスト縮減

熱交換器を基礎杭の中空部に設置する。そのための掘削作業が不要となる。また、熱交換器を固定した鉄筋かごは工場製作のため、現場での作業が軽減される。

⇒工期短縮及びコスト縮減が図れる。

②適用性向上

都心部などの狭い敷地であっても基礎杭があれば採用可能である。

⇒適用性が向上する。

③環境性改善

一般に岩盤掘削を伴わないため、低騒音・低振動の施工が可能となる。

⇒環境性が改善される。

5. おわりに

平成 29 年 4 月 1 日に「建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律」(建築物省エネ法) に関して適合義務や届出等の規制的措置が施行され、建築物の省エネ対策を施すことが義務化された。これらの省エ

ネ対策に有効な手段の一つとして、地中熱エネルギー活用システムにより社会環境に貢献できるよう本システム「Hybrid Pile MS」の営業展開を行っていく。

対象としては、地中熱を有効活用できると想定される事務所ビル、医療・福祉施設、教育・文化施設、店舗・宿泊施設及び集合住宅等。建築物以外では、多雪・豪雪地域の融雪設備等を使用する構造物となる。

地中熱エネルギー活用システムをエコロジー対策の重要な柱と考え、再生可能エネルギーに関するトータルシステムの効率化を図っていききたい。

JICMA

《参考文献》

- 1) 地中熱利用促進協会：ニュースレター No.292 (2017 年 10 月)

[筆者紹介]

賀川 昌一 (かがわ しょういち)
三谷セキサン(株)
開発営業部
統括部長

