



本実証試験結果報告書の著作権は、環境省に属します。

## ●実証全体の概要

|        |                                  |
|--------|----------------------------------|
| 実証対象技術 | ヒロセ株式会社東京工場におけるソイルセメント杭利用の地中熱交換器 |
| 実証申請者  | ヒロセ株式会社                          |
| 実証単位   | （C）地中熱交換部                        |
| 実証機関   | 特定非営利活動法人 地中熱利用促進協会              |
| 実証試験期間 | 平成24年11月14日～11月24日               |

### 1. 地中熱交換部と実証事業

地中熱は、夏場は外気よりも温度が低く、冬場は外気よりも温度が高いという特性を有するため、地中熱を空調に利用すると効率よく冷暖房を行うことができる。また、夏季においては、冷房排熱を外気中に放出しないため、ヒートアイランド現象の抑制効果が期待される。

実証単位（C）地中熱交換部は、地中熱利用において地中からの採熱と地中への放熱を行う重要な設備である。一般に地中熱交換部は、地中熱交換井、地中熱交換井の中に挿入したU字管などの熱媒循環部、地中熱交換井を充填する砂などの充填材、及び熱媒循環部（U字管）を循環する熱媒からなる。熱媒は、地中熱交換井と地上に設置されたヒートポンプの間を循環する流体で、熱を運ぶ媒質である。

本実証試験では、地中熱交換部全体の性能をサーマルレスポンス試験によって実証するとともに、熱媒循環部であるU字管、熱媒である不凍液の性能を資料により実証したものである。なお、サーマルレスポンス試験は、熱応答試験あるいはTRT（Thermal Response Test）とも呼ばれ、地中に一定の熱量を与えた温水を循環させ、その温度の経時変化から熱交換井の熱抵抗や地盤（土壌部分）の熱伝導率を求める方法である。

### 2. 実証対象技術の概要

#### 2.1 地中熱交換器と地盤状況

- ・所在地：千葉県浦安市 ヒロセ株式会社東京工場内
- ・現状：地中熱交換器のみを施工済でヒートポンプ等冷暖房設備は未設置

本実証試験における地中熱交換器は、ソイルセメント杭の芯材であるH形鋼に鋼製の保護管をとりつけて埋設し、その保護管の中にU字管を挿入して後、保護管内を水で満たした地中熱交換器である。もともとこの技術は、地盤を掘削するときに土留め壁として構築されるソイルセメント地中連続壁（SMW (Soil Mixing Wall)）を地中熱交換器として利用する発想で開発されたものである。ソイルセメント杭は、連続壁でも単体の杭としても利用可能なので、この実証試験ではSMWの単位である1本のソイルセメント杭で地中熱交換器としての試験を行った。なお、ソイルセメントとは、孔の掘削中に掘削した土にセメントミルクを混ぜ込んで固めたものである。

表1に地中熱交換器の仕様を、図1に実証試験を行った場所の地盤柱状図及び地中熱交換器の概要を示す。実証試験を行った場所は、千葉県浦安市の埋立地であり、地盤は、GL-6.2mまでは埋立に伴う細砂とシルトで構成され、原地盤である GL-6.2m～15.0m (孔底) は、N 値が 10 前後の細砂である。地下水位は GL-1m。

表1 地中熱交換器の仕様

|                                        |                                  |
|----------------------------------------|----------------------------------|
| ①ソイルセメント杭径                             | 450mm                            |
| ②ソイルセメント杭掘削深度                          | 15m                              |
| ③H 形鋼のサイズ                              | H-250×250×9×14 (H は H 形鋼を指す)     |
| ④保護管 (角形鋼管) のサイズ                       | □-125×75×4.5t (□は角形鋼管を指す)        |
| ⑤ソイルセメントの配合 (対象土 1m <sup>3</sup> 当り)   | セメント 250kg、ベントナイト 12.5kg、水 500kg |
| ⑥ソイルセメントの熱伝導率<br>(試験体を 24 時間水飽和後の測定結果) | 平均 0.967W/(m・K)                  |

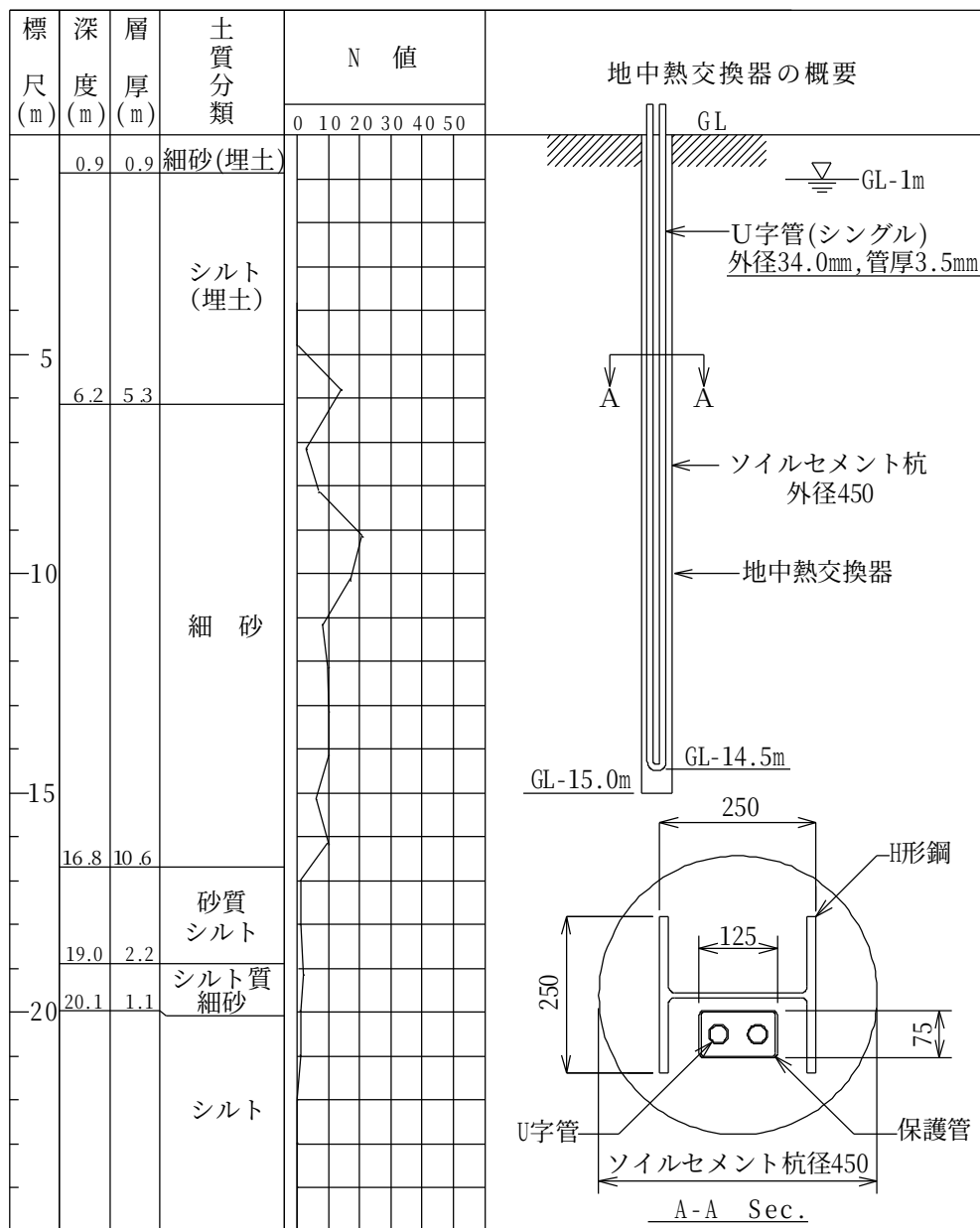


図1 地盤柱状図と地中熱交換器の概要

## 2.2 熱媒循環部 (U 字管) 及び熱媒

本実証試験において使用した熱媒循環部 (シングル U 字管) の仕様は、以下の通りである。

表 2 熱媒循環部の仕様 メーカーカタログより引用

|          |                                                                                                                                                                                                                                    |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 製品名及び型式  | 地中熱交換システム用パイプ「Uーポリパイ」 GUP-25AN105                                                                                                                                                                                                  |
| 製造・販売事業者 | 株式会社イノアック住環境                                                                                                                                                                                                                       |
| 材質       | 高密度ポリエチレン材料 (PE100)                                                                                                                                                                                                                |
| 寸法       | パイプ外径 34.0mm、厚さ 3.5mm、近似内径 27mm                                                                                                                                                                                                    |
| 設置方式     | シングルU字管                                                                                                                                                                                                                            |
| 設置深度     | GL-14.5m                                                                                                                                                                                                                           |
| 製品の特長    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・可とう性があり、耐震性に優れる</li> <li>・埋設でも錆や腐食の心配がない</li> <li>・軽量で施工が容易</li> <li>・継手は電気融着式を採用し、漏れの心配が少ない</li> <li>・先端の U 字継手は掘削孔への挿入が容易な形状で、錘の取り付けも可能。</li> <li>・水道用 JIS サイズに準拠した肉厚で、耐圧性も高い</li> </ul> |

なお、本実証対象技術では、まだ実用運転をしていないので、サーマルレスポンス試験の熱媒は、水を用いた。

## 3. 実証試験結果

### 3.1 地中熱交換部全体の実証項目 (サーマルレスポンス試験)

サーマルレスポンス試験は、実証試験要領に準拠して、循環時における熱媒体 (水) の温度を用いる解析方法で行った。試験装置及び試験の模式図を図 2 に示す。試験装置で使用した温度計と流量計は、実証試験実施要領に規定される精度を満たしている。また、サーマルレスポンス試験の実施日程を表 3 に示す。

表 3 サーマルレスポンス試験実施日程

| 項目      | 日数    | 2012 年 11 月 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|---------|-------|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
|         |       | 14          | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |  |
| 装置設置・準備 | 1 日   | ■           |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 非加熱循環   | 0.1 日 | ■           |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 加熱循環    | 10 日  |             | ■  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| 撤収      | 0.5 日 |             |    |    |    |    |    |    |    |    |    | ■  |  |

実証試験要領で規定される地中熱交換部全体の実証項目及びサーマルレスポンス試験による算出結果を表 4 に示す。本実証試験は、独立したソイルセメント杭 1 本の熱抵抗と土壌部分の熱伝導率を求めたもので、土中に構築された壁状の SMW (Soil Mixing Wall) の試験ではない。このサーマルレスポンス試験では、地中熱交換器の外径としてソイルセメント杭の外径 (450mm) を用いて算出した。

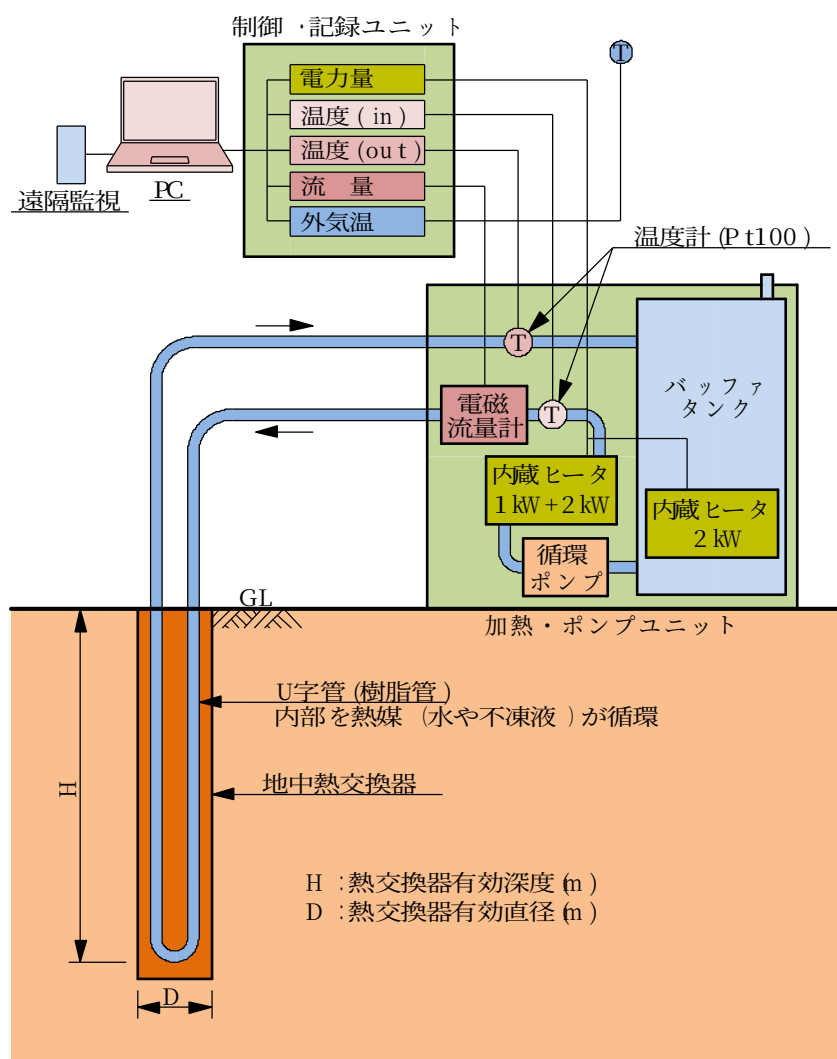


図2 サーマルレスポンス試験装置と試験模式図

表4 サーマルレスポンス試験による実証項目の算出結果

| 実証項目          | 実証試験結果          | 地中熱交換器の諸元                                            |
|---------------|-----------------|------------------------------------------------------|
| a. 地中熱交換井の熱抵抗 | 0.199 [K/(W/m)] | 地中熱交換器外径 450mm、シングル U 字管<br>(外径 32mm)、U 字管挿入深度 14.5m |
| b. 土壌部分の熱伝導率  | 1.82 [W/(m・K)]  |                                                      |

ここで求められた土壌部分の熱伝導率は、砂・シルトなどからなる土壌の一般的な値と同等である。一方、熱抵抗は、一般的な外径 100～200mm 程度のボアホールにシングル U 字管を設置した場合より大きくなっているが、その原因は、熱交換器の外径が 400mm と大きくなっているためであり、本地中熱交換部の熱交換性能自体が悪いということではない。なぜなら、ここでの「熱抵抗」とは、1m 当たり 1W の熱交換をする場合に、熱交換器の部分で何度の温度変化があるかを表すものであり、熱抵抗はソイルセメント部の厚さにほぼ比例して大きく算出されるからである。



### 3.2 熱媒循環部及び熱媒の実証項目（既存資料による実証）

実証試験要領に規定される熱媒循環部（U字管）の実証項目及び既存資料による実証結果を表5に示す。既存資料としては、U字管メーカーの技術資料を使用した。

表5 熱媒循環部（U字管）の実証結果

| 実証項目                               | 内容                                    |      |            |      |        |      |      |      |      |      |
|------------------------------------|---------------------------------------|------|------------|------|--------|------|------|------|------|------|
| c. 熱伝導性                            | 熱伝導率 0.46～0.50[W/(m・K)]               |      |            |      |        |      |      |      |      |      |
| d. 耐腐食性<br>(耐薬品性)                  | ①酸性土壌、腐食性土壌、塩害地域で優れた耐食性を維持する。         |      |            |      |        |      |      |      |      |      |
|                                    | ②電食の心配がない。                            |      |            |      |        |      |      |      |      |      |
|                                    | 酸                                     |      | アルカリ       |      |        | ガス   |      |      |      |      |
|                                    | 塩酸 35%                                | ◎    | アンモニア水溶液   | ◎    | 亜硫酸ガス  | ◎    |      |      |      |      |
|                                    | 硫酸 60%                                | ◎    | 苛性ソーダ      | ◎    | 炭酸ガス   | ◎    |      |      |      |      |
|                                    | 硝酸 25%                                | ◎    | 水酸化カルシウム   | ◎    | 一酸化炭素  | ◎    |      |      |      |      |
|                                    | 塩類                                    |      |            |      |        |      |      |      |      |      |
|                                    | 重クロム酸カリウム 10%                         | ◎    | 過マンガン酸カリウム | ◎    | 炭酸カリウム | ◎    |      |      |      |      |
|                                    | 塩化第二鉄                                 | ◎    | 塩化バリウム     | ◎    | 硫安     | ◎    |      |      |      |      |
|                                    | 過酸化水素 30%、90%                         | ◎    |            |      |        |      |      |      |      |      |
| 備考 1. この表は ISO／TR10358 に基づいたものである。 |                                       |      |            |      |        |      |      |      |      |      |
| 2. ◎印は耐薬品性があることを示している。             |                                       |      |            |      |        |      |      |      |      |      |
| e. 耐圧性                             | U-ポリパイの連続安全使用温度範囲における最大使用圧力は下表の通りである。 |      |            |      |        |      |      |      |      |      |
|                                    | 使用温度                                  | -20℃ | -10℃       | 0℃   | 10℃    | 20℃  | 25℃  | 30℃  | 35℃  | 40℃  |
|                                    | 圧力(MPa)                               | 1.51 | 1.51       | 1.51 | 1.51   | 1.51 | 1.41 | 1.32 | 1.21 | 1.12 |

株式会社イノアック住環境のカatalogより転載

本実証対象技術では、実運転における熱媒は決まっておらず、本サーマルレスポンス試験でも熱媒は水を使用したもので、熱媒については特に該当する実証項目はない。

以上

#### 4. 実証試験実施状況写真



写真1 ソイルセメント杭に挿入されたH形鋼と保護管  
（ソイルセメントそのものは、砂利の下になり、見えていない。）



写真2 U字管を挿入し、H形鋼の周りを保温した状況



写真3 U字管と試験装置を接続した状況

（参考情報）

このページに示された情報は、技術広報のために実証申請者または開発者が自らの責任において提出した内容であり、環境省及び実証機関は、内容に関して一切の責任を負いません。

○製品データ

| 項目                       |            | 実証申請者または開発者 記入欄                                                                                                                                                                                                      |                  |
|--------------------------|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 製品名・型番                   |            | ソイルセメント杭利用の熱交換器                                                                                                                                                                                                      |                  |
| 製造（販売）企業名                |            | ヒロセ株式会社                                                                                                                                                                                                              |                  |
| 連絡先                      | TEL/FAX    | TEL：03-5634-4518                                                                                                                                                                                                     | FAX：03-5634-0273 |
|                          | ウェブサイトアドレス | http://www.hirose-net.com                                                                                                                                                                                            |                  |
|                          | E-mail     | t-asami@hirose-net.co.jp                                                                                                                                                                                             |                  |
| 設置条件                     |            | <ul style="list-style-type: none"> <li>・主に建設工事の山止め壁として利用されるソイルセメント杭、及び連続壁に設置できます。</li> <li>・ソイルセメント杭の応力部材として使用するH形鋼（芯材）に、鋼製保護管を予め取付け、杭工事完了後 U チューブを挿入し熱交換器として杭を利用します。</li> <li>・杭を利用する分、専用の熱交換井戸が不要となります。</li> </ul> |                  |
| メンテナンスの必要性・コスト・耐候性・製品寿命等 |            | <ul style="list-style-type: none"> <li>・保護管はソイルセメントに保護されて対腐食性があり、U チューブはメーカー保証品を採用している為 50 年程度の耐久性があると考えられます。</li> <li>・保護管内の充填水の補充等定期的な点検は必要です。</li> </ul>                                                          |                  |
| 施工性                      |            | <ul style="list-style-type: none"> <li>・山留を目的としたソイルセメント杭、あるいは連続壁（SMW）の応力鋼材に保護管を事前に取付けて建込みます。このため、杭工事は従来工程と変わりがなく工期が延びることが有りません。杭工事完了後にUチューブを取付けられます。</li> <li>・Uチューブが後工程で施工できる為、安全且つ効率的に設置できます。</li> </ul>           |                  |
| コスト概算                    |            | <ul style="list-style-type: none"> <li>・Uチューブ設置イニシャルコスト概算（m当たり）<br/>                     （Uチューブは各現場で仕様が異なる為コストから省く）</li> <li>保護管製作費用     4200 円/m</li> <li>保護管取付け費用   1000 円/m</li> <li>合 計   5200 円/m</li> </ul>    |                  |

○その他実証申請者または開発者からの情報

- ① 採熱用の U 字管を杭建込後に、挿入出来ることは、記載通りですが、採熱管に支障が発生した場合でも、U 字管だけを交換する事が出来る。
- ② 保護管を水密構造として、Uチューブとの間に、水あるいは不凍液を充填することで充填液の対流により、熱交換効率の向上が期待できる。