環境省

平成２４年度環境技術実証事業

ヒートアイランド対策技術分野

（地中熱・下水等を利用したヒートポンプ空調システム）

実証試験報告書

≪詳細版≫

平成 25 年３月

実証機関　：　特定非営利活動法人　地中熱利用促進協会
実証単位　：　（Ｃ）地中熱交換部
実証申請者　：　ヒロセ株式会社
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
実証番号　：　０５２－１２０１



本実証試験結果報告書の著作権は、環境省に属します。

目　次

●実証全体の概要....3
１．地中熱交換部と実証事業....3
２．実証対象技術の概要....3
2.1 地中熱交換器と地盤状況....3
2.2 熱媒循環部（U 字管）及び熱媒....5
３．実証試験結果....5
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）....5
3.2 熱媒循環部及び熱媒の実証項目（既存資料による）....7
４．実証試験実施状況写真....8
（参考情報）....9
●本編....10
１．実証試験の目的及び概要....10
1.1 環境技術実証事業の目的と定義....10
1.2 実証対象技術の概要....10
２．実証試験体制・実証試験参加機関及び責任分掌....11
３．実証単位（C）の実証目的及び実証項目....13
3.1 実証単位（C）の実証目的....13
3.2 実証単位（C）の実証項目....13
４．実証対象技術の概要....14
4.1 実証対象技術設備の所在地（実証試験の実施場所）....14
4.2 実証試験実施場所近傍の地質状況....15
4.3 地中熱交換器....16
4.4 熱媒循環部（U 字管）及び熱媒....18
4.5 参考情報....19
５．実証試験の内容と結果....20
5.1 サーマルレスポンス試験（TRT）の内容と結果....20
5.2 熱媒循環部及び熱媒の実証項目（既存資料による）....27
5.3 考察....28
６．実証試験の品質管理・監査....29
○参考文献....30
○地中熱用語集....31
添付資料１　サーマルレスポンス試験　報告書....34
添付資料２　熱媒循環部カタログ（抜粋）....51
添付資料３　熱媒循環部の品質表示（抜粋）....56

環境技術実証事業 ETV 環境省

ヒートアイランド対策技術分野
実証番号　052 - 1201
第三者機関が実証した性能を公開しています
実証年度 H 24
www.env.go.jp/policy/etv

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の測定結果から、地中熱交換井の熱抵抗や地盤（土壌部分）の熱伝導率を求める試験である。

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までは埋立て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　　申請情報より

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 1m³ 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 （試験体を 24 時間水飽和後の測定結果）	平均 0.967W/(m･K)　（自社測定）

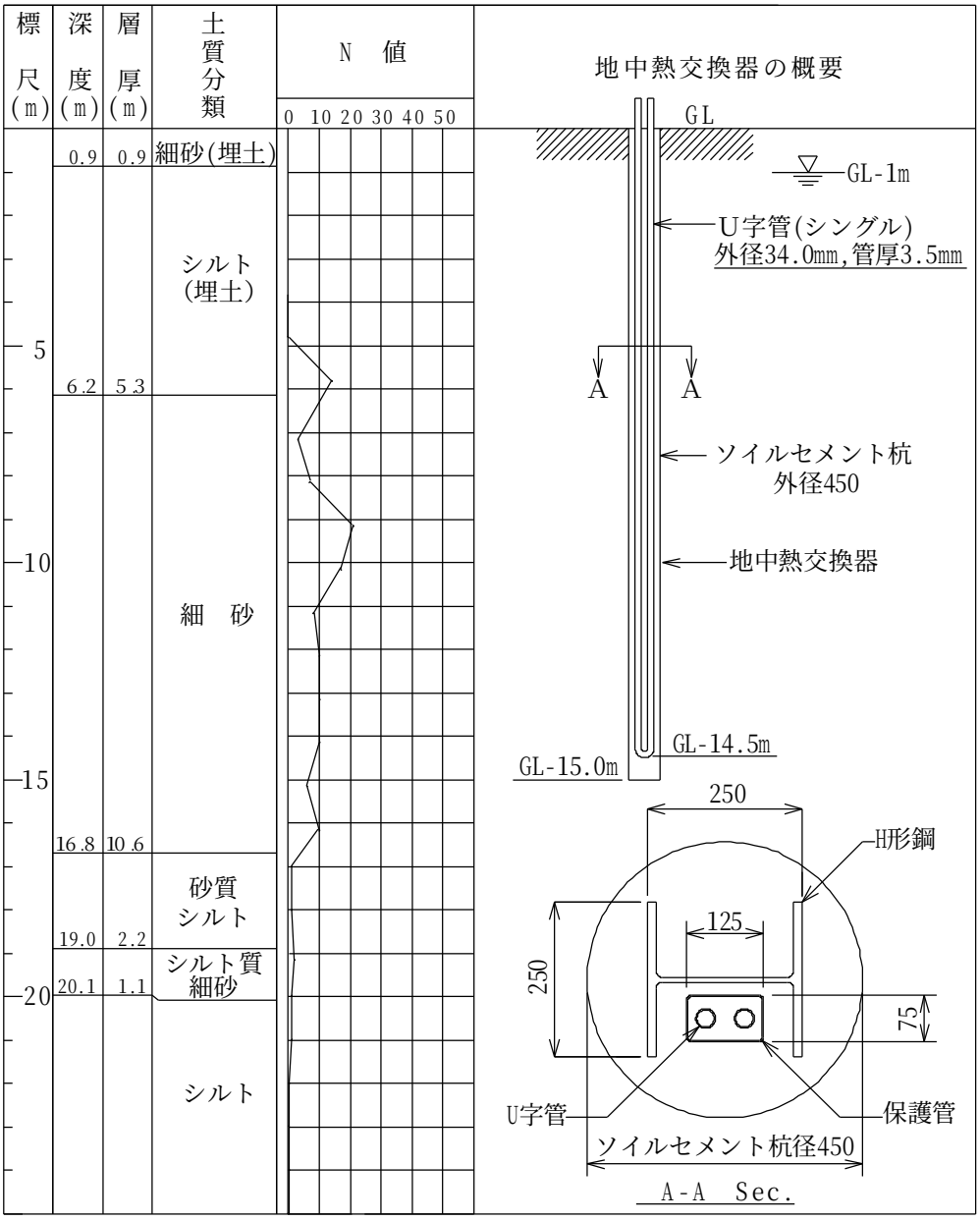


図１　地盤柱状図と地中熱交換器の概要

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

製品名及び型式	地中熱交換システム用パイプ「U－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	・可とう性があり、耐震性に優れる ・埋設でも錆や腐食の心配がない ・軽量で施工が容易 ・継手は電気融着式を採用し、漏れの心配が少ない ・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。 ・水道用 JIS サイズに準拠した肉厚で、耐圧性も高い

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、循環時における水（熱媒）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工程

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。

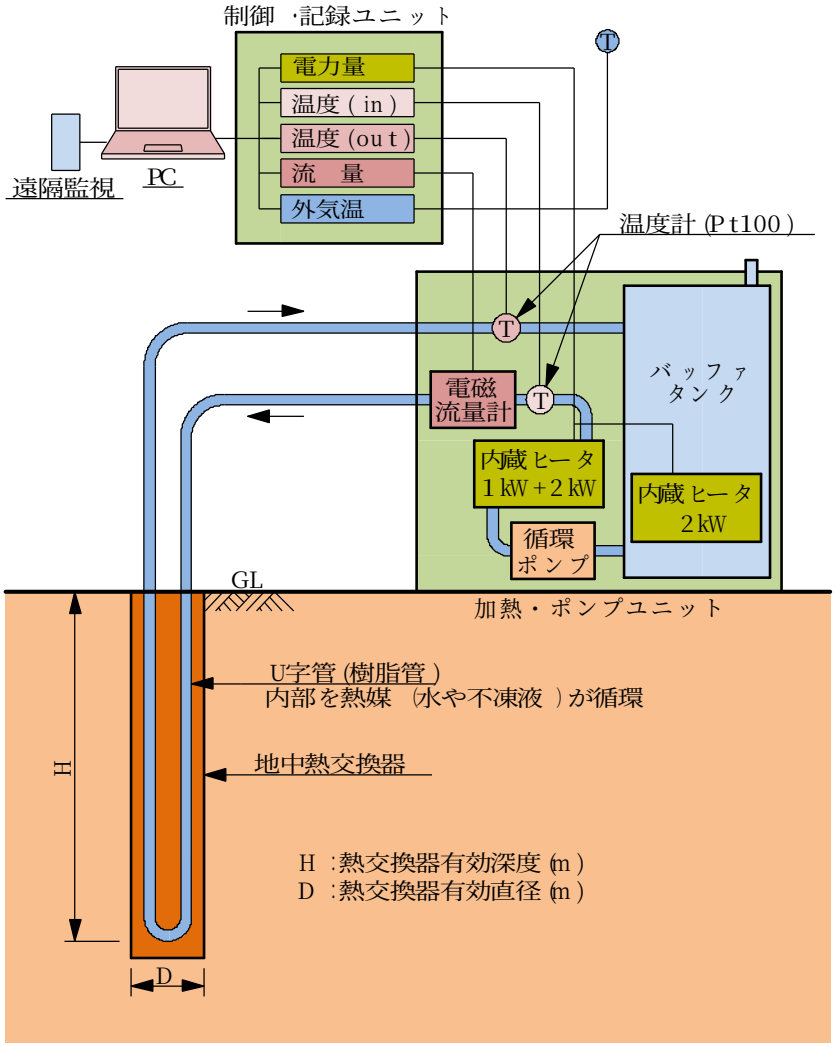


図２　サーマルレスポンス試験装置と試験模式図

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（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は大きくなっているが、その原因は、熱交換器の外径が 450mm 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、地中熱交換器の長さ 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（既存資料より）

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のデータを表５に示す。既存資料には、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）の特性

<table>
<tr><th>実証項目</th><th>内容</th></tr>
<tr><td>c．熱伝導性</td><td>熱伝導率　0.46～0.50[W/(m･K)]</td></tr>
<tr><td>d．耐腐食性
（耐薬品性）</td><td>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。
<table>
<tr><th colspan="2">酸</th><th colspan="2">アルカリ</th><th colspan="2">ガス</th></tr>
<tr><td>塩酸 35%</td><td>◎</td><td>アンモニア水溶液</td><td>◎</td><td>亜硫酸ガス</td><td>◎</td></tr>
<tr><td>硫酸 60%</td><td>◎</td><td>苛性ソーダ</td><td>◎</td><td>炭酸ガス</td><td>◎</td></tr>
<tr><td>硝酸 25%</td><td>◎</td><td>水酸化カルシウム</td><td>◎</td><td>一酸化炭素</td><td>◎</td></tr>
<tr><th colspan="6">塩類</th></tr>
<tr><td>重クロム酸カリウム 10%</td><td>◎</td><td>過マンガン酸カリウム</td><td>◎</td><td>炭酸カリウム</td><td>◎</td></tr>
<tr><td>塩化第二鉄</td><td>◎</td><td>塩化バリウム</td><td>◎</td><td>硫安</td><td>◎</td></tr>
<tr><td>過酸化水素 30%、90%</td><td>◎</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>
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。</td></tr>
<tr><td>e．耐圧性</td><td>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。
<table>
<tr><td>使用温度</td><td>-20℃</td><td>-10℃</td><td>0℃</td><td>10℃</td><td>20℃</td><td>25℃</td><td>30℃</td><td>35℃</td><td>40℃</td></tr>
<tr><td>圧力(MPa)</td><td>1.51</td><td>1.51</td><td>1.51</td><td>1.51</td><td>1.51</td><td>1.41</td><td>1.32</td><td>1.21</td><td>1.12</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

株式会社イノアック住環境による性能表示より

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		・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。 ・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。 ・杭を利用する分、専用の熱交換井戸が不要となります。
メンテナンスの必要性･コスト･耐候性･製品寿命等		・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。 ・保護管内の充填水の補充等定期的な点検は必要です。
施工性		・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。 ・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。
コスト概算		･Uチューブ設置イニシャルコスト概算（m当たり） （Uチューブは各現場で仕様が異なる為コストから省く） 保護管製作費用　　4200 円/m 保護管取付け費用　1000 円/m 合　計　5200 円/m

○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。

●本編

１．実証試験の目的及び概要

1.1 環境技術実証事業の目的と定義

環境技術実証事業の目的と本事業「実証」の定義は、「平成 24 年度　環境技術実証事業　実施要領」に次のように定められている。

『環境技術実証事業は、既に適用可能な段階にありながら、環境保全効果等についての客観的な評価が行われていないために普及が進んでいない先進的環境技術について、その環境保全効果を第三者が客観的に実証することにより、環境技術を実証する手法・体制の確立を図るとともに、環境技術の普及を促進し、環境保全と環境産業の発展に資することを目的とする。

本実証事業において「実証」とは、環境技術の開発者でも利用者でもない第三者機関が、環境技術の環境保全効果、副次的な環境影響、その他環境の観点から重要な性能（以下、「環境保全効果等」という。）を試験等に基づき客観的なデータとして示すことをいう。「実証」とは、一定の判断基準を設けて、この基準に対する適合性を判定する「認証」とは異なるものである。』

本実証試験は、「環境技術実証事業　ヒートアイランド対策技術分野　（地中熱・下水等を利用したヒートポンプ空調システム）実証試験要領（平成 24 年 3 月 30 日付）※」に基づいて実施した。

※（http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=20967&hou_id=15917）

1.2 実証対象技術の概要

本実証試験の対象とする地中熱・下水等を利用したヒートポンプ空調システムとは、地中熱及び地下水熱、下水熱等を熱源とし、ヒートポンプによって効率的に冷暖房を行うシステム全般のことである。

当該システムは、多層的な技術の組み合わせで構成されており、図1-1のとおり階層的に分類される。

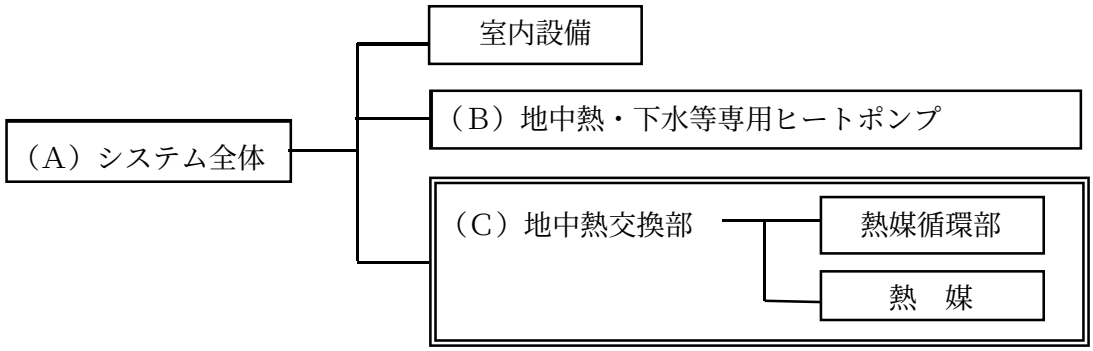


図 1-1 実証対象技術の全体像

本件はこれらの階層的技術の内、「実証単位（C）地中熱交換部」に関する実証試験である。用語の定義は以下の通りである。

- （C）地中熱交換部：地中熱交換井からヒートポンプの地中熱源側の熱媒出入口までを範囲とするシステム。
- 熱媒循環部：U字管を代表とする、地中と熱交換する熱媒を循環させるための管。開口部のない閉鎖型と、孔内に熱媒を放出する開放型を対象とする。
- 熱媒：地中及びヒートポンプ内で熱交換を行う物質で、水や不凍液がある。

2．実証試験体制・実証試験参加機関及び責任分掌

実証試験に参加する組織は、図 2-1 に示すとおりである。また、実証試験参加者とその責任分掌は、表 2-1 に示すとおりである。

なお、サーマルレスポンス試験を委託する業者は公募し、技術審査と価格審査の結果、下記の業者に外部委託した。

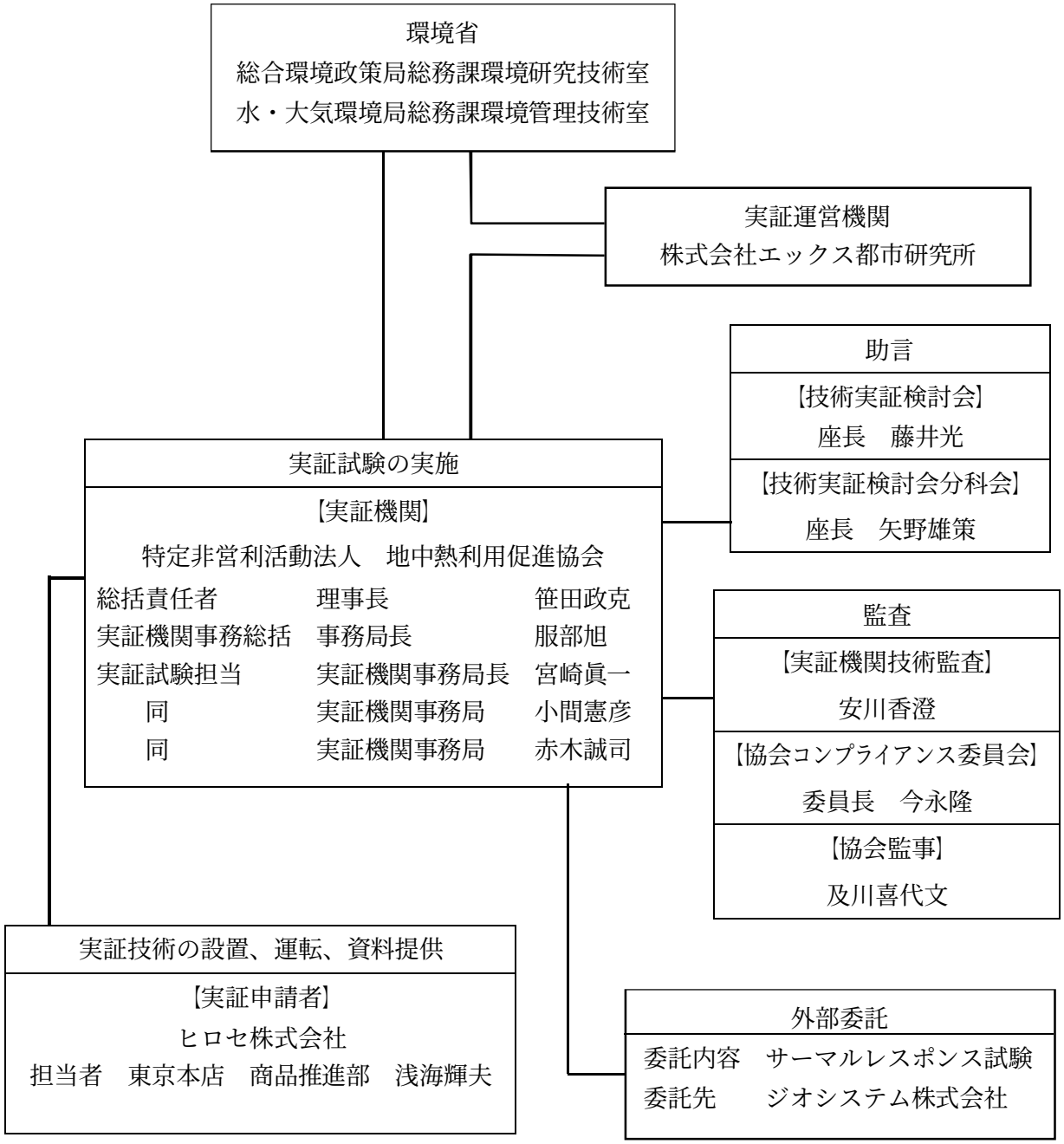


図 2-1　実証試験体制

表 2-1 実証試験参加機関、責任分掌

区分	実証試験参加機関	責任分掌	参加者
実証機関	特定非営利活動法人 地中熱利用促進協会	実証試験の運営管理	笹田政克 服部旭 宮崎眞一 小間憲彦 赤木誠司
		実証対象技術の公募・審査	
		技術実証検討会、同分科会の設置・運営	
		品質管理システムの構築	
		実証試験計画の策定	
		実証試験の実施・運営	
		実証試験データ・情報の管理	
		実証試験結果報告書の作成	
		その他実証試験要領で定められた業務	
		内部監査の総括	及川喜代文
		実証試験の技術的監査	安川香澄
		適法性及び公平性の確認	コンプライアンス委員会
実証申請者	ヒロセ株式会社	実証機関への必要な情報提供と協力	浅海輝夫
		実証対象技術の準備と関連資料の提供	
		手数料の納入	
		既存の性能データ等の提供	
		実証試験報告書の作成における協力	

3．実証単位（C）の実証目的及び実証項目

3.1 実証単位（C）の実証目的

実証単位（C）の実証目的は２つある。１つは、地中熱交換部自体の性能を実証することで、熱交換部の構成要素の性能及び設計、施工に関する技術の高さを総合的、客観的に示すことである。もう１つの目的は、施工場所固有の熱交換性能を実証することである。

3.2 実証単位（C）の実証項目

地中熱交換部の設備構成は熱源の種類や熱交換方式等の組み合わせによって多様である。実証試験要領では、地中熱交換部の設備構成を 3 タイプに分類している（実証試験要領※P34 参照）が、本件は「熱媒循環式×熱交換器なし」で「地中熱源」に該当する。このタイプの実証項目は、実証試験要領に表 3-1～3-3 のように規定されているので、それらの項目について実証した。

※（http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=20967&hou_id=15917）

表 3-1 地中熱交換部全体の実証項目

実証項目	内容	実証方法
a．地中熱交換井の熱抵抗	熱抵抗値[K/(W/m)]	サーマルレスポンス試験から算出
b．土壌部分の熱伝導率	熱伝導率[W/(m･K)]	サーマルレスポンス試験から算出

表 3-2 熱媒循環部の実証項目

実証項目	内容	実証方法
c．熱伝導性	素材の熱伝導率[W/(m･K)]	･実証申請者から提出されたカタログ等、各項目の性能を示す資料を確認する。 ・材質からその性能が明らかな場合は、材質を示すことで代替できることとする。
d．耐腐食性	―	
e．耐圧性	耐圧力[MPa] (温度条件も併せて示す)	

表 3-3 熱媒の実証項目

実証項目	内容	実証方法
f．腐食性	―	･実証申請者から提出されたカタログ等、各項目の性能を示す資料を確認する。 ・熱媒の成分比からその性能が明らかな場合は、熱媒の成分比を示すことで代替できることとする。
g．粘性	粘性率[Pa･s]	
h．比重	[g/cm^3]	
i．比熱	[J/(kg･K)]	
j．引火性	―	
k．毒性	―	
l．生分解性／残留性	―	

4．実証対象技術の概要

4.1 実証対象技術設備の所在地（実証試験の実施場所）

・所在地：千葉県浦安市千鳥 14 番地　ヒロセ株式会社東京工場内　　図 4-1、図 4-2 参照



図 4-1　実証試験実施場所周辺の広域地図



図 4-2　実証試験実施場所

4.2 実証試験実施場所近傍の地質状況

実証対象技術である地中熱交換器のある場所は、1970 年代末の埋め立て地である。0～6.2m は埋立土の細砂とシルト、6.2m～孔底(15m)までは旧海底と思われる細砂。なお、この付近は、50m 以深は古東京川礫層。地下水位は－1m。地盤柱状図と地中熱交換器の概要を図 4-3 に示す。

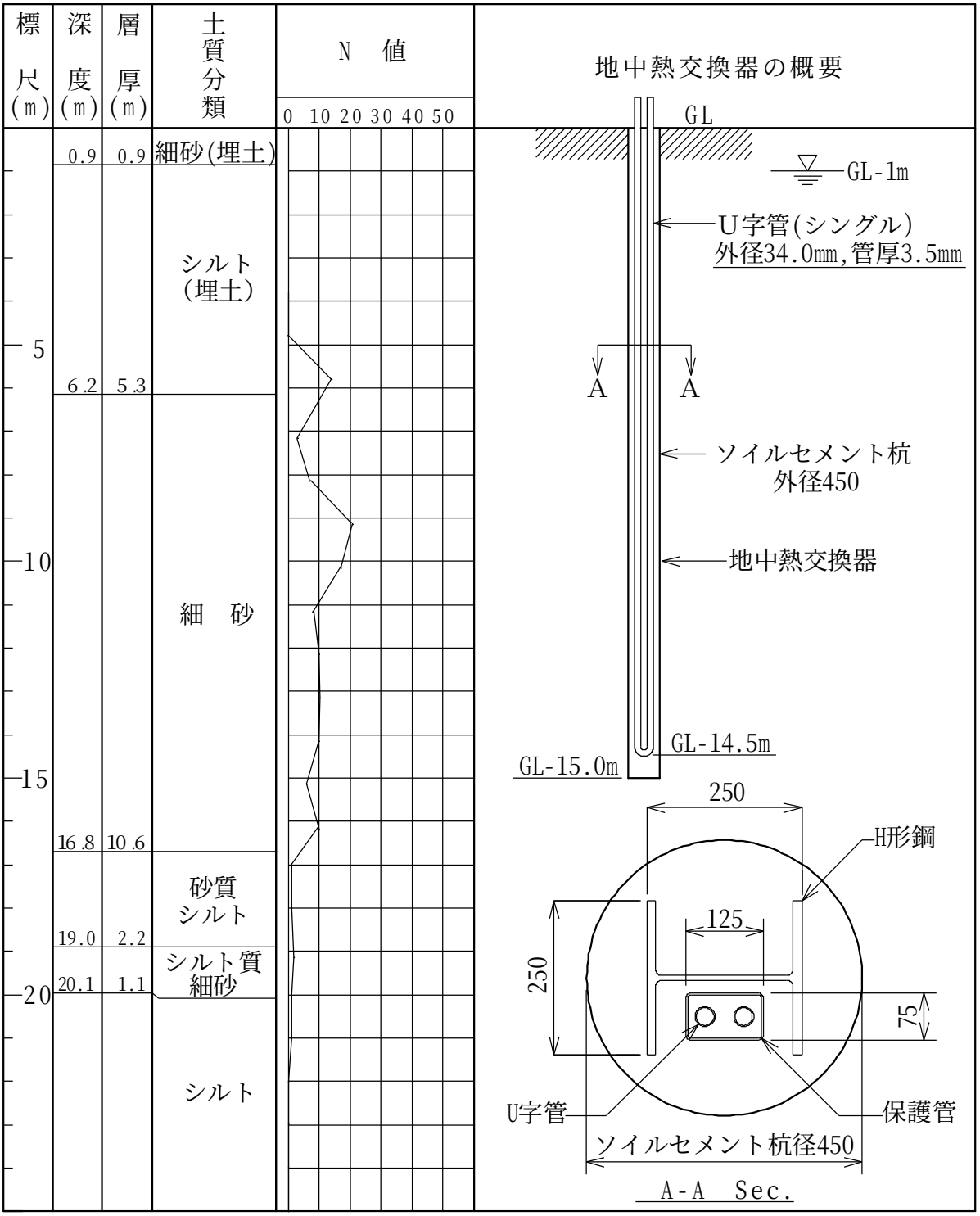


図 4-3 地盤柱状図及び地中熱交換器

4.3 地中熱交換器

(1) 地中熱交換器の概要

実証対象技術である地中熱交換器は、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、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うものである。

ソイルセメント地中連続壁には、土圧や水圧に抵抗するための芯材として H 形鋼が挿入されている。挿入された芯材としての H 形鋼は通常、工事終了後構造物と共に地中に残置される。本技術は、埋設される H 形鋼芯材に熱交換器を取り付けて連続壁施工と同時に熱交換器を設置し、連続壁の有効利用とともに、地中熱交換器の設置コストの低減を図り、地中熱利用の普及を目指すものである。

ソイルセメント杭の施工は、オーガードリルで外径（本実証対象技術では 450㎜）の孔を掘削しながら、セメントミルクと掘削した土とを混ぜ合わせるものである。H形鋼は、セメントが固結する前にソイルセメント杭に挿入し自重で沈下させて設置する。

なお、本実証対象技術は、地中熱交換部のみを施工済みで、ヒートポンプなどの冷暖房設備はまだ設置していない。

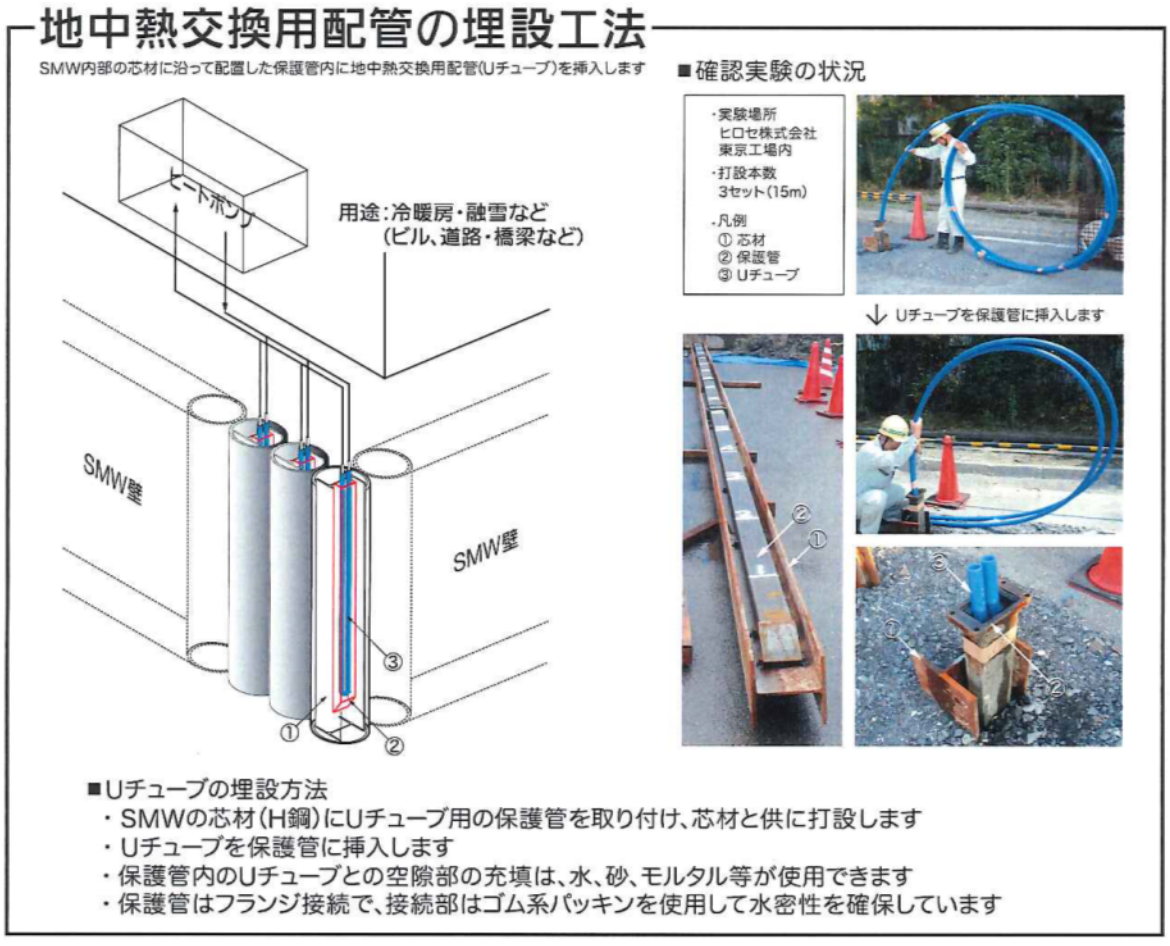


図 4-4 ソイルセメント杭利用の地中熱交換器の概念図

(2) 実証対象技術の詳細

表 4-1　地中熱交換器の仕様　　申請情報より

①ソイルセメント杭径	450mm
②ソイルセメント杭設置深度	GL-15m
③H 形鋼の寸法	H-250×250×9×14（H は H 形鋼を指す）
④保護管（角形鋼管）の寸法	角形鋼管 □-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^3 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 （試験体を 24 時間水飽和後の測定結果）	平均 0.967[W/(m･K)]　（自社測定）

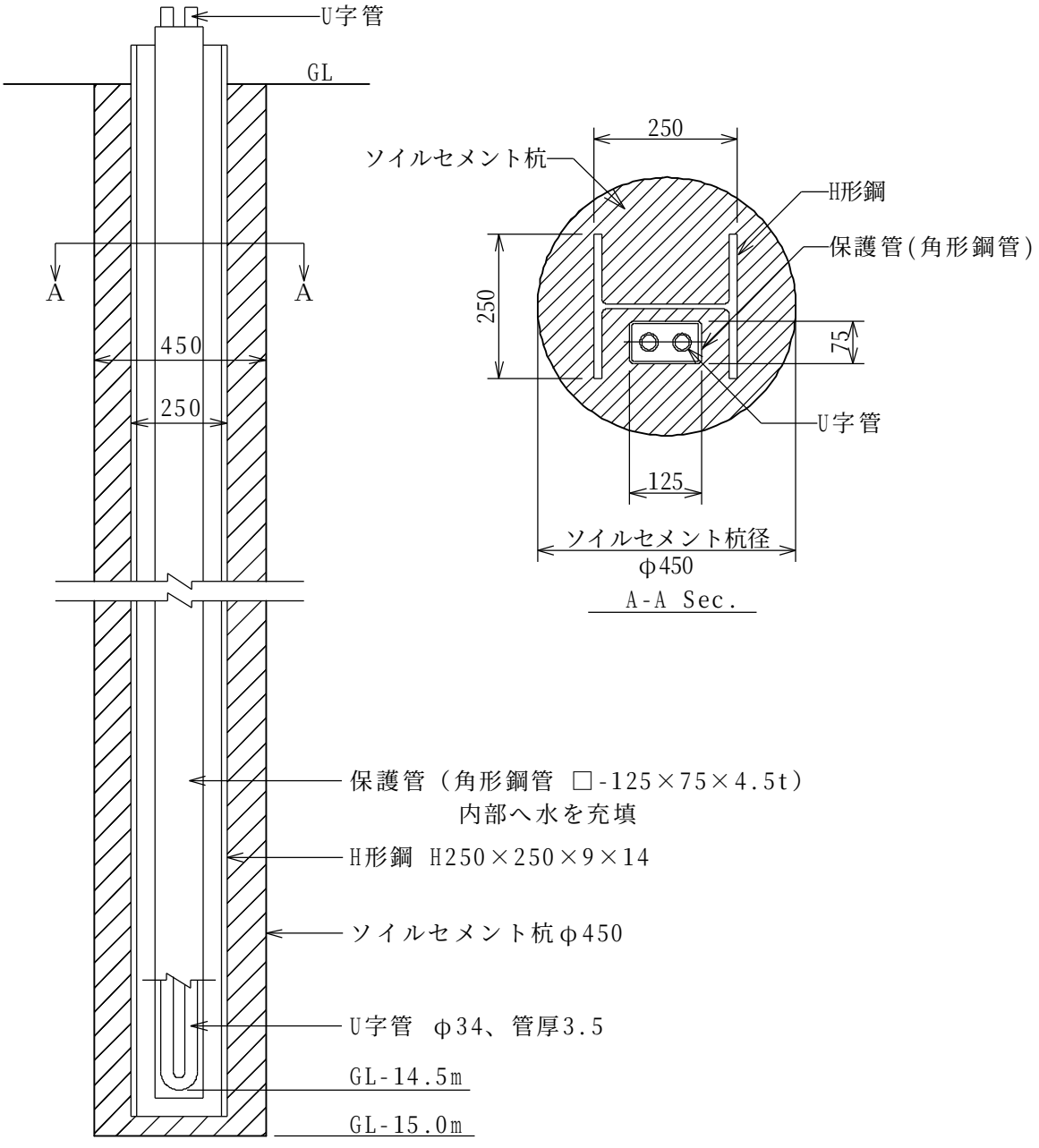


図 4-5　実証対象技術の地中熱交換器詳細図

4.4 熱媒循環部（U 字管）及び熱媒

本実証試験で使用した U 字管は、以下の通りである。

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。

表 4-2　U 字管の仕様

製品名及び型式	地中熱交換システム用パイプ「U－ポリパイ」GUP－25A105
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	・可とう性があり、耐震性に優れる ・埋設でも錆や腐食の心配がない ・軽量で施工が容易 ・継手は電気融着式を採用し、漏れの心配が少ない ・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。 ・水道用 JIS サイズに準拠した肉厚で、耐圧性も高い

表 4-3　U字管の寸法・重量

製品番号	呼び径	長さ L(m)	外径 D (mm)	厚さ t (mm)	内径 d (mm)	U 字継手部(mm)			重量 (kg)	2組 U字外径 F
						長さ A	幅 B	厚み C		
GUP-25A60	25A	60	34.0	3.5	27.0	129	86	43	39	106
GUP-25A105	25A	105							68	

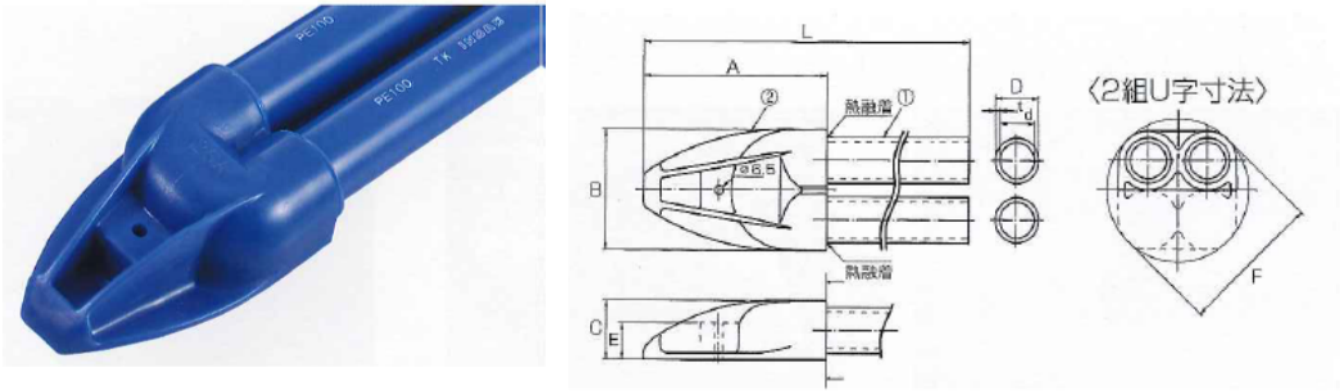


図 4-6　U字管先端部の形状

4.5 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		・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。 ・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。 ・杭を利用する分、専用の熱交換井戸が不要となります。
メンテナンスの必要性･コスト･耐候性･製品寿命等		・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。 ・保護管内の充填水の補充等定期的な点検は必要です。
施工性		・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。 ・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。
コスト概算		･Uチューブ設置イニシャルコスト概算（m当たり） （Uチューブは各現場で仕様が異なる為コストから省く） 保護管製作費用　　4200 円/m 保護管取付け費用　1000 円/m 合　計　5200 円/m

○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。

５．実証試験の内容と結果

5.1 サーマルレスポンス試験（TRT）の内容と結果

本サーマルレスポンス試験では、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。ソイルセメントは、地中連続壁としてよく用いられるが、ここでの試験は、土中に構築された壁状の SMW（Soil Mixing Wall）の試験ではない。

本実証対象技術は、ボーリング孔にU字管を挿入した一般的な地中熱交換井よりも複雑な形状をしているが、このサーマルレスポンス試験では、ソイルセメント、H 形鋼、保護管、U字管など全てを一括して地中熱交換器として扱った。この地中熱交換器は、外径が通常のボーリング孔よりも大きく、加熱循環では土壌部分まで十分に熱が伝わるための日数が多く必要なので、10 日間の加熱循環をおこなった。地中熱交換器の外径としては、ソイルセメント杭の外径（450mm）を用いて解析をおこなった。

(1) 実施日程

サーマルレスポンス試験は平成 24 年 11 月 14 日～24 日に行った。

表 5-1　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											━

(2) 試験方法

サーマルレスポンス試験は、地中に設置された地中熱交換器に一定の熱量を加えた水（熱媒）を循環させながら、水の温度変化を測定し、熱伝導におけるケルビンの線源理論（P30、参考文献 2)参照）を応用して地盤の熱伝導率や熱交換器の熱抵抗を求める試験である。

実証単位（C）のサーマルレスポンス試験は、実証試験要領（平成 24 年 3 月 30 日版）及び参考文献 3)（P30 参照）に準拠する方法で行った。

サーマルレスポンス試験の試験手順を以下に示す。

① U字管内の温度分布を測温抵抗体で深度1m毎に測定する。
② TRT装置をU字管に接続し、U字管内の温度分布を均一にするために、非加熱状態で循環水をU字管内に循環させる。なお、循環はポンプの発熱の影響を避けるため、できるだけ短時間とする。
③ 循環水の往きの温度と還りの温度をモニタリングし、温度が変化しなくなったならば、その温度を地盤の初期温度と見なす。
④ 電気ヒーターを用いて、循環水を一定出力で加熱しながら循環させる。循環流量は10L/minを目安とする。

本地中熱交換器は、充填水、U字管、鋼製の保護管、ならびにH型鋼を含むソイルセメントが熱交換器としての役割を果たすと考えられる。ただし、熱交換器直径が大きいので、U字管を通して与えられた熱が地盤に到達し、その熱伝導率の影響が循環水温度変化に現れるまでには、一般的なボアホール熱交換器よりも時間を要する。ソイルセメントの熱伝導率を1W/(m･K)程度と仮定する（P17、表4-1⑥参照）と、ソイルセメント範囲の直径450mmの外側の地盤の熱伝導率を評価できるようになるには、熱伝導計算の結果、加熱時間は10日程度が必要と考えられるので、それを目安とする。

電気ヒーターによる加熱量は、一般的な40～50W/m、全孔で600～700Wとする。

⑤ 加熱された循環水の往きの温度と還りの温度を１分間隔でモニタリングし、予定時間経過後に横軸に加熱循環時間の対数、縦軸に往き還り温度の平均値をとったグラフ（以下、「レスポンスカーブ」と呼ぶ。）を描き、そこに十分な直線区間が得られていること、すなわち、加熱による熱的影響が十分地盤に到達していることを確認し、加熱循環を終了する。

⑥ 加熱循環終了後に、計測機器を撤収する。

⑦ 解析は、ケルビンの線源理論で行うが、熱交換器半径はソイルセメント領域の半径225mmを使用する。

(3) 測定項目及び計測機器

サーマルレスポンス試験に使用する計測機器は、表 5-2 に示すものを使用した。これらの計測機器は、実証試験要領に規定された精度を満たしている。サーマルレスポンス試験装置の概要とサーマルレスポンス試験の模式図を図 5-1 に示す。

表 5-2　計測機器の型式

測定項目	計測機器	計測器精度
熱媒出入口温度	測温抵抗体	Pt100 B 級 ±(0.3+0.005×｜t｜)
熱交換井内の初期熱媒温度	測温抵抗体	Pt100 A 級 ±(0.15+0.002×｜t｜)
熱媒流量	電磁流量計	0.3L/min ±0.6% of F.S.

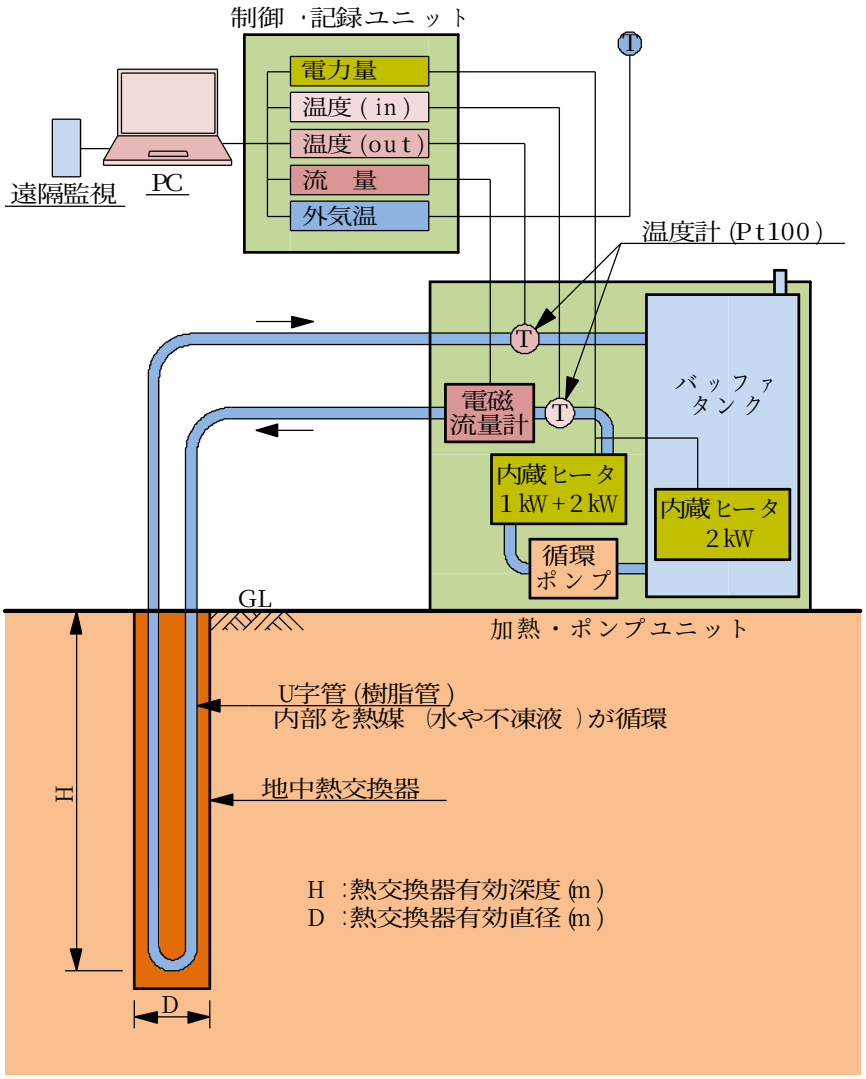


図５-１　サーマルレスポンス試験装置と試験模式図

(4) 解析方法

TRTの加熱開始から十分に時間経過した後の熱交換器入口温度と出口温度の循環水の平均温度T_{ave}の変化（レスポンスカーブ）は、加熱時間tの自然対数ln(t)によって①式のように近似できる。mは実測データから求められる単回帰式の傾き、bは単回帰式の切片である。

熱交換井における単位長さ当たりの熱交換量の測定値qと、導出したmの値を（②式）に代入して有効熱伝導率λ_{eff}を算出する。

$$T_{ave} - T_i = m \cdot \ln(t) + b \qquad (①式)$$

$$\lambda_{eff} = \frac{q}{4\pi \cdot m} \qquad (②式)$$

T_{ave}：熱交換器入口温度と出口温度の循環水の平均温度[K]

Ti：非加熱循環時の初期温度[K]

m：上記単回帰分析における回帰式の傾き

λ_{eff}：有効熱伝導率　[W/(m･K)]
t：時間　[s]
q：単位長さ当たりの熱交換量　[W/m]

一方、地中熱交換器の熱抵抗Rの値は、以下のように熱伝導率λ_{eff}を③式に代入し、算出する。

$$T_{ave} - T_i = \frac{q}{4\pi\lambda_{eff}}\left(ln\frac{4\alpha t}{r^2} - 0.5772\right) + qR \qquad (③式)$$

r：地中熱交換井中心から地中熱交換器表面までの半径　[m]
α：地盤の温度伝導率（熱拡散率）[m^2/s]
R：地中熱交換器の熱抵抗　[K/(W/m)]
なお、レスポンスカーブの直線近似においては、近似区間の選択によって傾きmの値が変化する。これは、地中熱交換器の熱容量が有限であることや線源理論の近似式の適用制限によるものである。このため、線源理論の近似式の直線近似可能な領域は、次式の最小加熱循環時間t_b以上とする。

$$t_b = \frac{5r^2}{\alpha} \qquad (④式)$$

t_b：最小加熱循環時間[s]

ここで、熱拡散率αは、

$$\alpha = \frac{\lambda_{eff}}{\rho C} \qquad (⑤式)$$

で定義される。
ρ：熱媒の比熱[J/(g・K)]
C：熱媒の比重[g/cm^3]
実際の解析では、ある仮定したt_b以降のデータの直線近似からλ_{eff}を求め、そのλ_{eff}から④式を使って計算されるt_bが一致するように収束計算を実施し、t_bとλ_{eff}を同時に求める。

(5) 試験状況写真



写真 5-1　ソイルセメント杭に挿入された H 形鋼と保護管



写真 5-2　U 字管を挿入し H 形鋼の周りを保温した状況

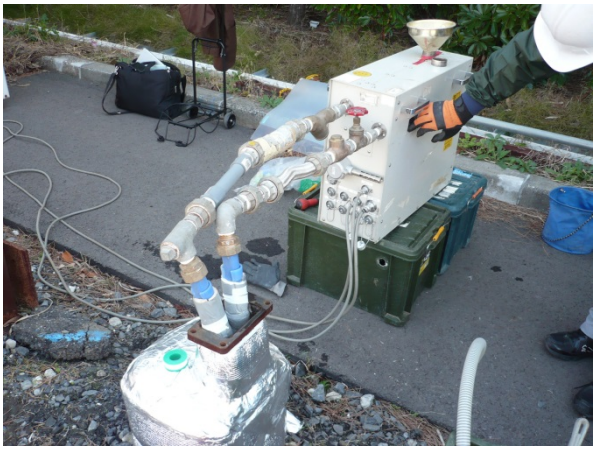


写真 5-3　試験装置と接続された状況



写真 5-4　配管及び装置を保温した状況

(6) 測定結果

図5-2にU字管内の熱媒の初期温度測定結果を示す。深度5mまでは深くなるにつれて、温度は上昇し、それ以深では低下する傾向を示している。

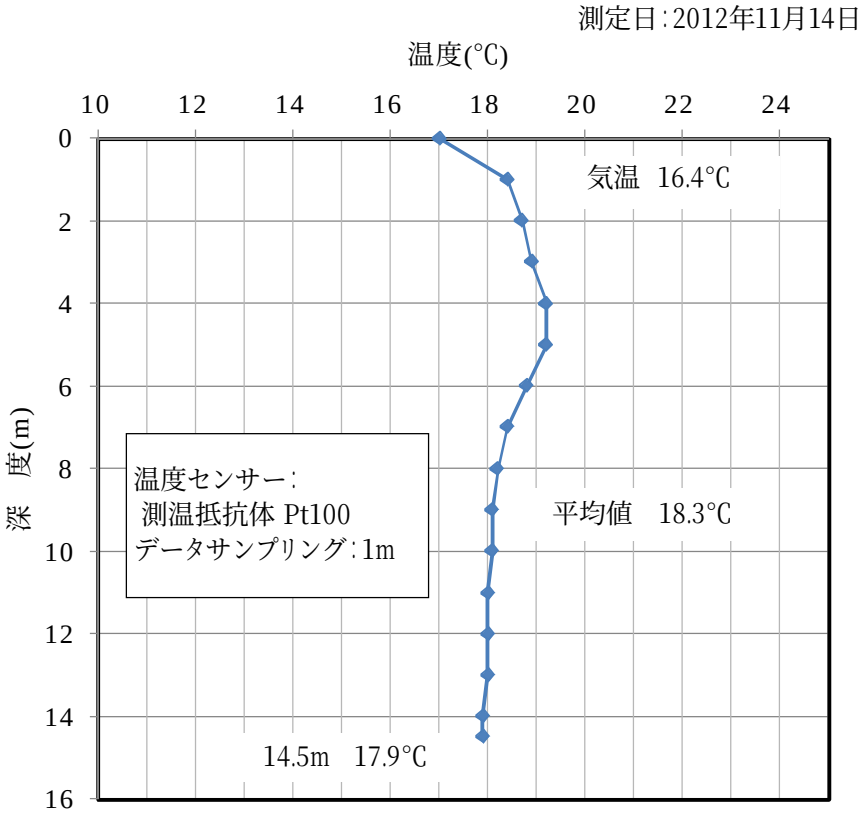


図5-2　U字管内初期温度測定結果

サーマルレスポンス試験における加熱時間及び加熱量の総括表を表 5-3 に示す。

表 5-3　サーマルレスポンス試験における加熱時間及び加熱量（実績）

名称	月　日	時刻	イベント	非加熱時間(h)	加熱時間(h)	加熱量(kW)
地中熱交換器	11月14日	14:01	循環開始	0.5		
	11月14日	14:34	加熱開始		234.5	平均 0.71
	11月24日	09:01	加熱停止			

図5-3に、加熱循環中の熱媒入口出口温度、流量、加熱電力の測定結果を示す。

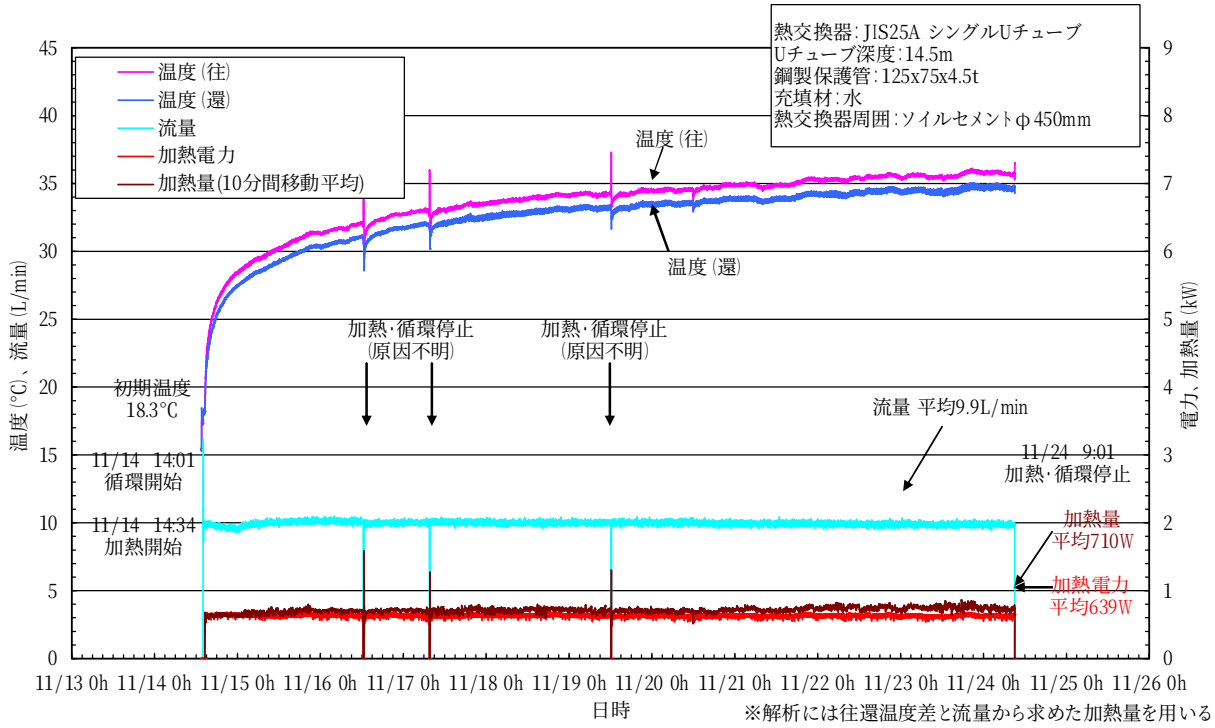


図 5-3 サーマルレスポンス試験測定状況

前述の線源理論に基づきデータを解析し、地中熱交換器の熱抵抗と地盤の熱伝導率を求めた。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）とは異なるものである。

解析に使用したパラメータは、以下の通りである。なお、地中熱交換器は、ポリエチレン製U字管、水、鋼製保護管、H形鋼を含むソイルセメント部によって構成されている。ここではソイルセメント部の外径までを熱交換器とみなし、それよりも外側を地盤とした場合の有効熱伝導率と熱抵抗の計算を行った。本地中熱交換井の地質は、砂・シルトで構成されている。このため、ここでは地盤の密度、比熱は表5-4の砂＋粘土の値を使用した。

Q：平均加熱量　710[W]　（測定値から求めた加熱量の平均）
H：地中熱交換井有効深度　14.5 [m]　（測定値）
r：地中熱交換井有効半径　0.225 [m]（ソイルセメント範囲の直径0.45m）

ρ：地中の代表密度　1,960[kg/m^3]　（推定値）
C：地中の代表比熱　1,200　[J/(kg･K)]　（推定値）
T_i：地中熱交換井の初期温度　18.3[℃]　（測定値）

表5-4 地中熱交換井の土質と物性値

種類	密度 kg/m^3	比熱 J/(kgK)	熱伝導率 W/(mK)	熱拡散率 m^2/s	備考（含水率）
粘土	1,700	1,800	1.2	0.39×10^{-6}	27.7%
砂	1,510	1,100	1.1	0.68×10^{-6}	7.9%
砂＋粘土	1,960	1,200	2.1	0.93×10^{-6}	21.6%
粘土質土	1,860	1,680	1.5	0.48×10^{-6}	

空気調和・衛生工学便覧ほかより

試験で得られたデータについて、横軸を加熱経過時間の自然対数、縦軸を循環水温度とした解析グラフを図5-4に示す。この図の通り、最小加熱循環時間t_bが86.7時間以降の温度上昇は、ほぼ直線で近似され、その傾きより有効熱伝導率λ_{eff}が求められる。また、③式（P23参照）により熱抵抗Rが求められる。

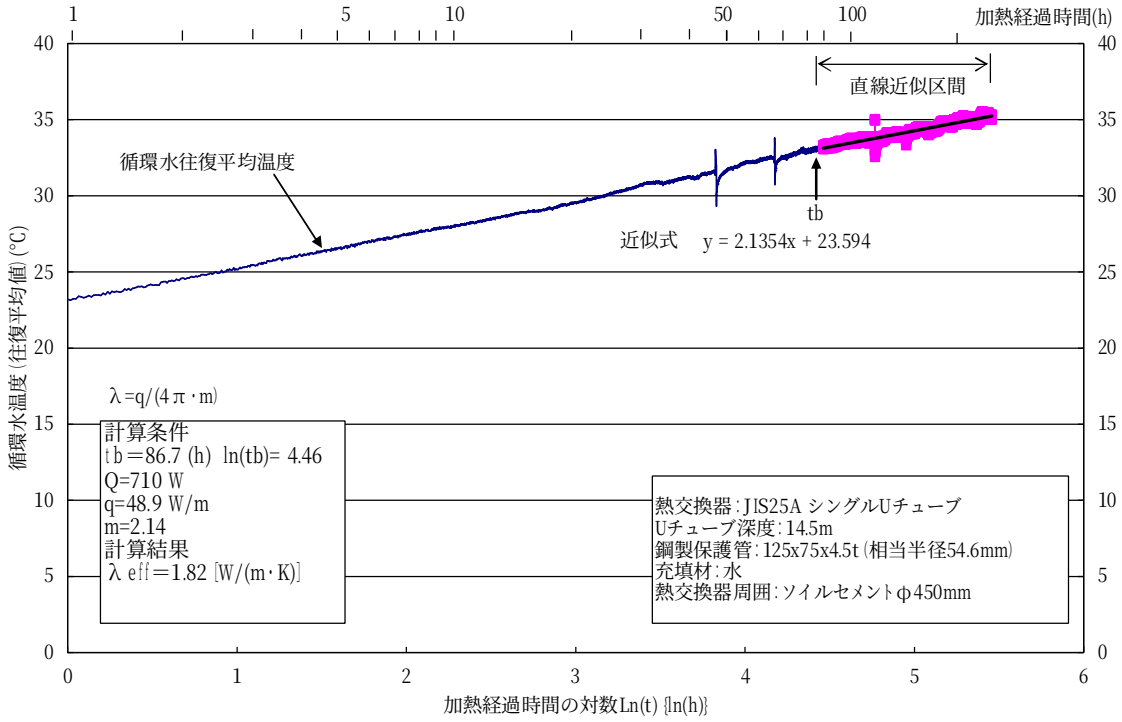


図 5-4 地盤の熱伝導率の解析結果

ケルビンの線源理論の応用により、加熱時の温度上昇データを用いて解析した結果、有効熱伝導率は1.82[W/(m･K)]、熱抵抗は0.199[K/(W/m)]となった。

表 5-5　サーマルレスポンス試験による実証項目の算出

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（外径 32mm）、U 字管挿入深度 14.5m
b．地盤の熱伝導率	1.82　[W/(m･K)]	

5.2 熱媒循環部及び熱媒の実証項目（既存資料より）

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のデータを表 5-4 に示す。既存資料には、U 字管メーカーの技術資料を使用した。

表 5-4　熱媒循環部（U字管）の特性

<table>
<tr><th>実証項目</th><th>内　容</th></tr>
<tr><td>c．熱伝導性</td><td>熱伝導率　0.46～0.50[W/(m･K)]</td></tr>
<tr><td>d．耐腐食性
（耐薬品性）</td><td>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。
<table>
<tr><th colspan="2">酸</th><th colspan="2">アルカリ</th><th colspan="2">ガス</th></tr>
<tr><td>塩酸 35%</td><td>◎</td><td>アンモニア水溶液</td><td>◎</td><td>亜硫酸ガス</td><td>◎</td></tr>
<tr><td>硫酸 60%</td><td>◎</td><td>苛性ソーダ</td><td>◎</td><td>炭酸ガス</td><td>◎</td></tr>
<tr><td>硝酸 25%</td><td>◎</td><td>水酸化カルシウム</td><td>◎</td><td>一酸化炭素</td><td>◎</td></tr>
<tr><th colspan="6">塩類</th></tr>
<tr><td>重クロム酸カリウム 10%</td><td>◎</td><td>過マンガン酸カリウム</td><td>◎</td><td>炭酸カリウム</td><td>◎</td></tr>
<tr><td>塩化第二鉄</td><td>◎</td><td>塩化バリウム</td><td>◎</td><td>硫安</td><td>◎</td></tr>
<tr><td>過酸化水素 30%、90%</td><td>◎</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>
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。</td></tr>
<tr><td>e．耐圧性</td><td>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。
<table>
<tr><td>使用温度</td><td>-20℃</td><td>-10℃</td><td>0℃</td><td>10℃</td><td>20℃</td><td>25℃</td><td>30℃</td><td>35℃</td><td>40℃</td></tr>
<tr><td>圧力(MPa）</td><td>1.51</td><td>1.51</td><td>1.51</td><td>1.51</td><td>1.51</td><td>1.41</td><td>1.32</td><td>1.21</td><td>1.12</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

株式会社イノアック住環境による性能表示より

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ので、熱媒については特に該当する実証項目はない。

5.3 考察

(1) 本実証対象技術の意義

地盤を掘削する時に構築される土留め壁は、一般に仮設構造物であり、工事終了後は、撤去されたり、現場に残置されるが、その有効利用については、注目されることはほとんどなかった。SMW（Soil Mixing Wall）工法は、そのような土留め壁を作る工法の一つであり、ソイルセメント杭の柱列にH形鋼を挿入して補強し、土留め壁として使用する工法である。ＳMW工法においては、H形鋼も含めた土留め壁は通常、工事終了後現場に残置される。このソイルセメント杭に挿入するH形鋼に鋼製の保護管を取り付け、その内部にU字管を挿入して構築された地中熱交換器は、本実証事業においては、初めて実証する技術であり、地中熱交換器のコスト低減策として有効な方法と考えられる。

今回の実証試験は、ＳMWのような壁ではなく、ソイルセメント杭の単杭に挿入したH形鋼に保護管を添わせた地中熱交換器であり、今回の試験結果は、ＳMWのような壁状構造物には適用できない。

(2) 試験結果の数値について

今回の実証試験で求められた地盤の熱伝導率は、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、本地中熱交換部の熱抵抗は、一般的なボアホールにシングルU字管を設置したものより大きいが、これはソイルセメント外径（熱交換器直径）が 450mm であり、通常のボアホール（孔径 100～200mm）より大きいことが原因であり、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、地中熱交換器の長さ 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。

６．実証試験の品質管理・監査

(1) 品質管理システムのあらまし

実証機関（特定非営利活動法人地中熱利用促進協会）が、本実証試験で行った品質管理・監査について記す。

- 品質管理の方法

  JIS Q 9001 および JIS Q 17025 の趣旨にしたがって品質管理を行った。

- 品質管理・監査体制

  本実証試験における品質管理・監査体制は、表 6-1 のとおりである。なお、各担当の品質管理及び監査の内容については、表 6-3 に示す。

表 6-1　実証機関の品質管理・監査体制

品質管理・監査担当	実証機関での役職	氏名
総括責任者	総括責任者	笹田政克
品質管理責任者	実証機関事務局長	宮崎眞一
技術監査	実証機関技術監査	安川香澄

(2) 試験とデータの品質管理

実証試験中には実証機関の品質管理責任者、実証試験担当者が現地の確認を 2 回行って、試験の品質を確認した。実証試験の測定データの確認、データ整理、解析は外部委託業者が行い、実証試験担当者と品質管理責任者が確認した。

(3) 実証試験の立会い

実証試験の立会・確認は、下記のように行った。実証試験での実証機関の立会・確認者を表 6-2 に示す。

表 6-2　実証試験での実証機関の立会・確認者

立会・確認月日	品質管理担当	実証機関での役職	氏名
平成 24 年 9 月 6 日 （現場調査）	品質管理責任者	実証機関事務局長	宮崎眞一
	―	実証試験担当者	小間憲彦
平成 24 年 11 月 14 日 （サーマルレスポンス試験）	品質管理責任者	実証機関事務局長	宮崎眞一
	―	実証試験担当者	小間憲彦

(4) 品質管理の及び監査の内容

表 6-1 に示した各担当による品質管理・監査の内容は表 6-3 にまとめて示した。

表 6-3　品質管理及び監査の内容

品質管理の対象	品質管理		監査	
	責任者	対策実施内容	担当	監査内容
試験方法の妥当性	品質管理責任者	・実証試験は実証試験要領の規定にしたがって計画し実施した。 ・上記のことは、総括責任者、品質管理責任者、実証試験担当者などが確認した。	実証機関総括責任者及び実証機関技術監査	・実証試験計画書の段階に、監査をおこなった。
測定機器の精度、測定設備の妥当性	品質管理責任者	・測定機器の精度は実証試験要領にしたがって確認した。	実証機関総括責任者及び実証機関技術監査	・外部委託業者選定の際に監査をおこなった。
データの吸い上げの適切性	品質管理責任者	・実証試験のデータの吸い上げは TRT 外部委託先の技師が行い実証試験担当者が確認した。	実証機関総括責任者	・実証試験の終了に際して、監査をおこなった。
データの保管	品質管理責任者	・データの保管は、品質管理責任者が行った。	実証機関総括責任者	・実証期間終了時に、監査を行った。
測定のトレーサビリティ	品質管理責任者	・測定機器や測定方法は明瞭に記録しており、測定のトレーサビリティを確保した。	実証機関総括責任者と実証機関技術監査	・外部委託報告書受け取りの時に監査をおこなった。
データの検証	品質管理責任者	・データの整理・解析は TRT 外部委託先の技師が行い、その結果を品質管理責任者と実証試験担当者が確認した。その過程で測定結果が適正であることをチェックした。	実証機関総括責任者	・実証試験の終了に際して、監査をおこなった。
実証試験報告書の妥当性	品質管理責任者	・実証試験報告書は、実証機関の総括責任者、品質管理責任者が確認した。また技術実証検討会分科会の承認を得た。	実証機関総括責任者及び実証機関技術監査	・技術実証検討会の資料及び報告書の原稿に対して監査を行った。

○参考文献

1)「地中熱・下水熱を利用したヒートポンプ空調システム実証試験要領」、環境省　水・大気環境局総務課環境管理技術室、平成 24 年 3 月 30 日

2) 藤井光(2006)：講座「地中熱利用ヒートポンプシステム」温度応答試験の実施と解析、日本地熱学会誌、第 28 巻、第 2 号

3) 藤井光、駒庭義人(2011)：誌面講座「地下熱利用技術　7．サーマルレスポンス試験の原理と解析法、調査事例」、地下水学会誌　第 53 巻

○地中熱用語集

（）内は引用資料名を示した。引用資料は本章末に示した。

●地中熱

地下約 200m より浅い地盤に賦存する温度が十数度以下の低温の熱エネルギー。その起源は地表面からの太陽エネルギーと地殻深部からの熱流であるが、火山地帯をのぞくと太陽エネルギーの割合が極めて大きい。一般に 10m より深いところの地中温度はその土地の年間平均気温より 1～2℃程度高い（地中熱ヒートポンプシステム、一部修正）。地中熱の特徴は、年間を通じて温度がほとんど変わらないことで、夏は冷たく、冬は暖かく感じる。これを利用して冷房や暖房に利用するものである。

●地中熱交換器

冷房時には地中へ放熱、暖房時には地中より採熱を行うために地中に設置された熱交換器。垂直型と水平型がある。垂直型はボアホール（深さ 50～150m 程度）や、基礎杭（深さ 10～30m 程度）の内部に U 字管を挿入し構築される。水平型は地表面から深さ 3~5m 程度の地中に U 字管などを水平に埋設して構築される。

●U 字管、U チューブ

地中熱の採放熱のため、ボアホールに挿入する先端を U 字状に接合した 2 本の管（主に樹脂管）。１組の U 字管を用いるシングル U 字管型か、２組を用いるダブル U 字管型が一般的。U 字管挿入後、ボアホール内の隙間には砂などが充填される。（地中熱ヒートポンプシステム、一部修正）

●ヒートポンプ

環境温度より低い温度の物体（実際には空気や水などの流体）から熱を奪って（冷却）、高い温度の物体に熱を伝える（加熱）装置。冷却が目的ならば冷凍機、加熱が目的ならばヒートポンプと呼ばれるが原理は全く同じ（地中熱ヒートポンプシステム）。ヒートポンプは冷蔵庫やエアコンでも用いられている。一般の家庭のエアコンのように室外機で外気に熱を捨てたり（冷房時）、外気から熱を取り入れたり（暖房時）しているものを空気熱源ヒートポンプとか空冷ヒートポンプと呼んでいる。外気との熱交換の代わりに水槽や冷却塔などで水に熱を捨てたり、水から熱を取り入れたりするものを水熱源ヒートポンプとか水冷ヒートポンプと呼んでいる。地中熱利用で使用するヒートポンプは、水熱源ヒートポンプである。

●地中熱ヒートポンプシステム

地中熱を熱源とするヒートポンプを使用した空調システム。地中熱の利用においてヒートポンプを用いない方法もある。ヒートポンプを使用することにより、15 度程度の暖かくない地中熱を少ない電力で効率的に 30 数度まで昇温し暖房に使用できる。空気熱源ヒートポンプ（通常の家庭用エアコン）では、0～5 度程度の冷たい外気から熱を取り入れて 30 数度まで昇温しているので、地中熱利用に比べると昇温の程度が大きく、その分多くのエネルギーを要する。冷房時には、地中熱ヒートポンプシステムでは、室内の 30 度程度の熱を 15 度程度の冷たい地中に捨てているので、熱を捨てやすい。空気熱源ヒートポンプでは、室内の 30 度程度の熱を、さらに温度の高い外気に捨てるので熱を捨てにくく、無理に捨てるために余分なエネルギーがかかる。

● COP（Coefficient of Performance,成績係数）、システム COP

ヒートポンプが生成する冷暖房熱量(W)と消費電力(W)の比で、以下のように定義される。

$$\mathrm{COP} = \frac{\text{冷房(暖房)に利用する熱（出力）[W]}}{\text{ヒートポンプで消費するエネルギー(入力)[W]}}$$

COP が大きいほどヒートポンプの効率が高いことを示す。最先端の機器では COP が 6 以上に達するものもあるが、一般的には 3～6 程度である。地中熱ヒートポンプシステムでは、一次側の熱媒循環のために循環ポンプを使用するので、上式で消費電力として「ヒートポンプ消費電力＋循環ポンプ消費電力」を使用することが多く、その場合はシステム COP と呼ばれている。（地中熱ヒートポンプシステム、一部修正）

●サーマルレスポンステスト、熱応答試験

地中熱交換器周囲の地盤の熱伝導率や地中熱交換器の熱交換能力を推定するため、地中熱交換器に加熱した熱媒を循環させて熱媒の温度変化を測定し、熱伝導率や熱交換能力（地中熱交換器の熱抵抗）を求める試験方法。温度応答試験とも呼ばれる。（地中熱ヒートポンプシステム、一部修正）

● 熱媒、熱媒体

熱エネルギーの搬送媒体をいい、空調関係では水や空気などが用いられる。熱を顕熱の形で搬送する場合は、水の方が空気に比べて約 3500 倍も大きい熱エネルギーを送ることができる。（冷凍空調技術）

地中熱ヒートポンプシステムでは、一次側の熱媒は 0℃以下になる場合があるので不凍液（ブライン）が用いられることが多い。気温が 0℃以下となる恐れのある地域では、二次側（室内側）においても不凍液が使用される。不凍液としては、水にエチレングリコールやプロピレングリコールを混ぜた溶液が使用されることが多い。（地中熱ヒートポンプシステム）。

● ヒートポンプ入口温度、出口温度

熱媒がヒートポンプに入る温度と出る温度。入口温度は熱媒の還り温度、出口温度は往き温度などということもある。地中熱交換器側からみると上記とは逆の関係になる。

● ヒートポンプの一次側、二次側

ヒートポンプの熱源側を一次側（地中熱の場合は地中熱交換器側）、冷暖房の対象となる施設側を二次側と呼ぶ。二次側は利用側とも呼ぶ。

● 熱伝導率、有効熱伝導率

土壌は通常、複数の物質からなるうえ、それぞれが固体、液体、気体で構成され、各物質内および物質間で伝導・対流・放射などの現象が起こるため、非常に複雑な熱移動現象を表す。このため土壌の伝熱性能は、対象部分全体の平均的な熱伝導率、すなわち有効熱伝導率を用いて表されることが多い。サーマルレスポンス試験より求める。（地中熱ヒートポンプシステム）

● 地中熱交換井の熱抵抗値

地中熱交換井の熱抵抗 R[K/(W/m)]は、地中熱交換器の長さ 1m 当たり 1W の熱交換をする場合に、熱抵抗により R[K]の温度変化があることを表す。熱抵抗が大きい熱交換井では安定した温度をもつ地層と熱媒体との温度差が大きくなるので、夏には熱媒体が高温化し、冬には低温化する（藤井、駒庭(2011)）。なお、「K」はケルビン温度で、温度の単位である。温度変化を表す場合は、K は℃と等しい。

● ヒートアイランド現象

都市部において気温が上昇する現象であり、最近顕著な環境問題の一つ。原因としては、空調システムや燃焼機器、自動車などの人工排熱の増加や、都市部における緑地・水面の減少などが挙げられる（地中熱ヒートポンプシステム）。地中熱利用では冷房排熱を大気中に放出しないので、ヒートアイランド現象の抑制に効果がある。

● 地熱

火山活動等に伴う地中の数百℃の熱エネルギー。主に発電に利用される。

地中熱用語集引用資料

1) 北海道大学地中熱利用システム工学講座：「地中熱ヒートポンプシステム」、オーム社
2) 藤井光、駒庭義人(2011)：誌面講座「地中熱利用技術　７．サーマルレスポンス試験の原理と解析法、調査事例」、地下水学会、第 53 巻第 4 号
3) 日本冷凍空調学会編集：「初級標準テキスト　冷凍空調技術」

添付資料１　サーマルレスポンス試験　報告書

平成２４年度環境技術実証事業
ヒロセ株式会社東京工場における
サーマルレスポンス試験
報告書

平成２４年１２月

ジオシステム株式会社

まえがき

本報告書は特定非営利活動法人地中熱利用促進協会の御依頼により、ジオシステム株式会社が千葉県浦安市において実施したサーマル・レスポンス・テストの結果をとりまとめた報告書です。

本試験を実施するにあたっては、特定非営利法人　地中熱利用促進協会の関係各位にご指導を頂いた。また、ヒロセ株式会社の方々には試験へのご協力をいただいた。ここに記して深甚なる感謝の意を表する次第であります。

ジオシステム株式会社

代表取締役　高杉真司

目　次

１．調査概要 …… 1
１－１　調査目的 …… 1
１－２　調査位置 …… 1
１－３　調査名称 …… 1
１－４　調査内容 …… 2
１－５　調査工程 …… 3
２．サーマル・レスポンス・テスト（TRT）概要 …… 3
３．調査方法 …… 6
３－１　初期温度測定 …… 6
３－２　機器の設置 …… 7
３－３　試験実績 …… 8
３－４　測定結果 …… 8
４．有効熱伝導率と熱抵抗の解析 …… 9
４－１　加熱時データを用いた作図法による解析 …… 9
４－２　考察 …… 12
５．まとめ …… 15

添付資料

サーマル・レスポンス・テストデータ　　CD-Rディスク　１枚

1.　調査概要

1－1　調査目的

本調査は、環境省の環境技術実証事業（ETV ）として、ヒロセ株式会社東京工場におけるソイルメント杭利用の地中熱交換器に対してサーマル・レスポンス・テストを実施し、その熱交換性能を評価するために必要な地盤の熱伝導率、熱交換器の熱抵抗を調査することを目的とする。

1－2　調査位置

千葉県浦安市千鳥14番地
ヒロセ株式会社東京工場



第１図　調査位置図

1－3　調査名称

平成２４年度環境技術実証事業　ヒロセ株式会社東京工場におけるサーマルレスポンス試験（以下、TRTと呼ぶ）

１－４　調査内容

以下の条件の地中熱交換器のTRTを実施する。

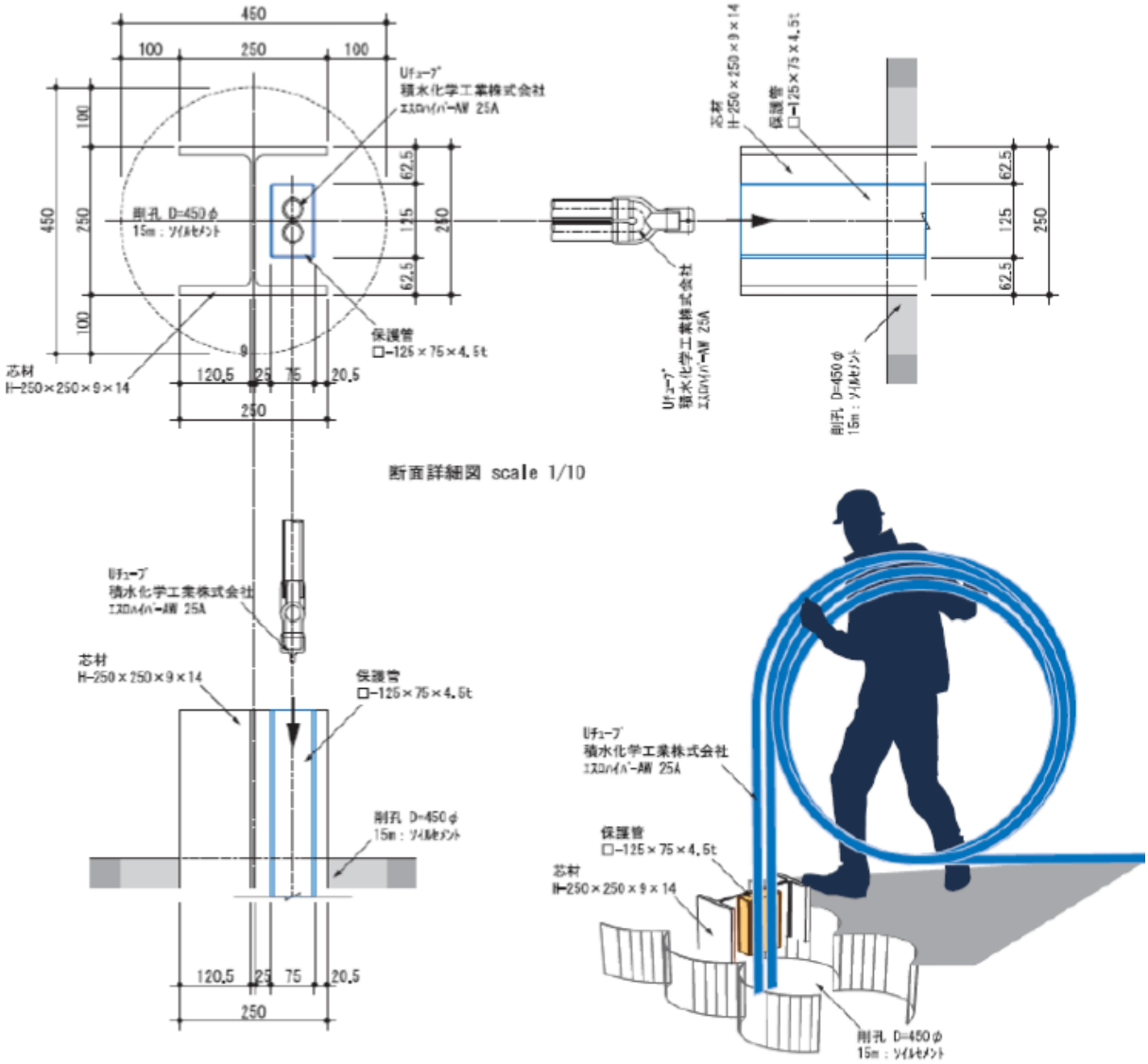
　地中熱交換器の仕様の概略は第２図の通りである。

①深度15m、孔径450mmのソイルセメント杭。ソイルセメント杭の中にH型鋼(H-250x250x9x14、長さ15m)を埋設してある。H型鋼の中心付近に鋼製の四角の保護管(□-125x75x4.5t、長さ15m)を埋設してある。保護管の中にU字管を挿入し、保護管内は水で満たしてある。

②熱媒循環部

株式会社イノアック住環境製のシングルU字管(UポリパイGUP-25A、呼び径25)。管外径34.0mm、管厚3.5mm、長さ14.5m。

③地質地下水状況：この地域は1970年代末の埋め立て地。0m～6.15mは埋立土の細砂とシルト、6.15 m～孔底までは旧海底と思われる細砂。なお、50m以深は古東京川礫層。地下水位は1m。



第２図　ソイルメント杭利用地中熱交換器の仕様概略

１－５　調査工程

現地調査　平成24年11月14日～24日

第１表　TRT実施工程

項　　目	日数	11/14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
TRT												
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											━

２．　TRT調査方法

TRTは、地中熱交換井に挿入したポリエチレン製U字管に対して一定の熱量を与えた温水を循環させ、その温度変化を測定する方法で行った。

試験方法は、環境省の定める実証試験要領（平成24年3月30日）に準拠し、藤井・駒庭（2011）を参考とした。

（１）測定方法

TRT装置写真を写真－１、TRT装置の諸元を第２表に、TRTの模式図を第３図に示す。

⑧ U字管内の温度分布を測温抵抗体で深度1m毎に測定する。

⑨ TRT装置をU字管に接続し、U字管内の温度分布を均一にするために、非加熱状態で循環水をU字管内に循環させる。なお、循環はポンプの発熱の影響を避けるため、できるだけ短時間とする。

⑩ 循環水の往きの温度と還りの温度をモニタリングし、温度が変化しなくなったならば、その温度を地盤の初期温度と見なす。

⑪ 電気ヒーターを用いて、循環水を一定出力で加熱しながら循環させる。循環流量は10L/minを目安とする。

本熱交換器は、U字管、充填水、鋼製の保護管、ならびにH型鋼を含むソイルセメントが熱交換器としての役割を果たすと考えられる。ただし、熱交換器直径が大きいので、U字管を通して与えられた熱が地盤に到達し、その熱伝導率の影響が循環水温度変化に現れるまでには、一般的なボアホール熱交換器よりも時間を要する。ソイルセメントの熱伝導率を1W/(m･K)程度と仮定すると、ソイルセメント範囲の直径45cmの外側の地盤の熱伝導率を評価できるようになるには、加熱時間は10日程度が必要と考えられる。

電気ヒーターによる加熱量は、一般的な40～50W/m、全孔で600～700Wとする。

⑫ 加熱された循環水の往きの温度と還りの温度を１分間隔でモニタリングし、予定時間経過後に横軸に加熱循環時間の対数、縦軸に往き還り温度の平均値をとったグラフ（以下、「レスポンスカーブ」）を描き、そこに十分な直線区間が得られている、すなわち、加熱による熱的影響が十分地盤に到達していることを確認し、加熱を終了する。

⑬ 加熱終了後に、機器を撤収する。

⑭ 解析は線源理論で行うが、熱交換器半径はソイルセメント領域の半径225mmを使用する。



写真－１　制御・記録ユニット、加熱・ポンプユニット装置写真

第２表　TRT 装置の諸元

ＴＲＴ制御・記録ユニット（寸法W600×D460×H280、重量20kg）

品名	仕様	数量
電力計	単相200V（100V可）、測定レンジ5kW	1
温度計	白金抵抗体Pt100、測定範囲-50～+250℃	3
流量計	電磁流量計、測定範囲2.5～50L/min	1
A/D変換装置	白金抵抗体用、8ch 電圧測定用、8ch	1 1

加熱・ポンプユニット(寸法W310×D650×H570、重量20kg)

品名	仕様	数量
加熱用電気ヒーター（ユニット内蔵）	シーズーヒーター　1kW（100V時250W） シーズーヒーター　2kW（100V時500W） シーズーヒーター　2kW（100V時500W）	1 1 1
循環水ポンプ	単相100V、35L/min、水頭3m	1
バッファタンク	ステンレス製　実容量12L	1

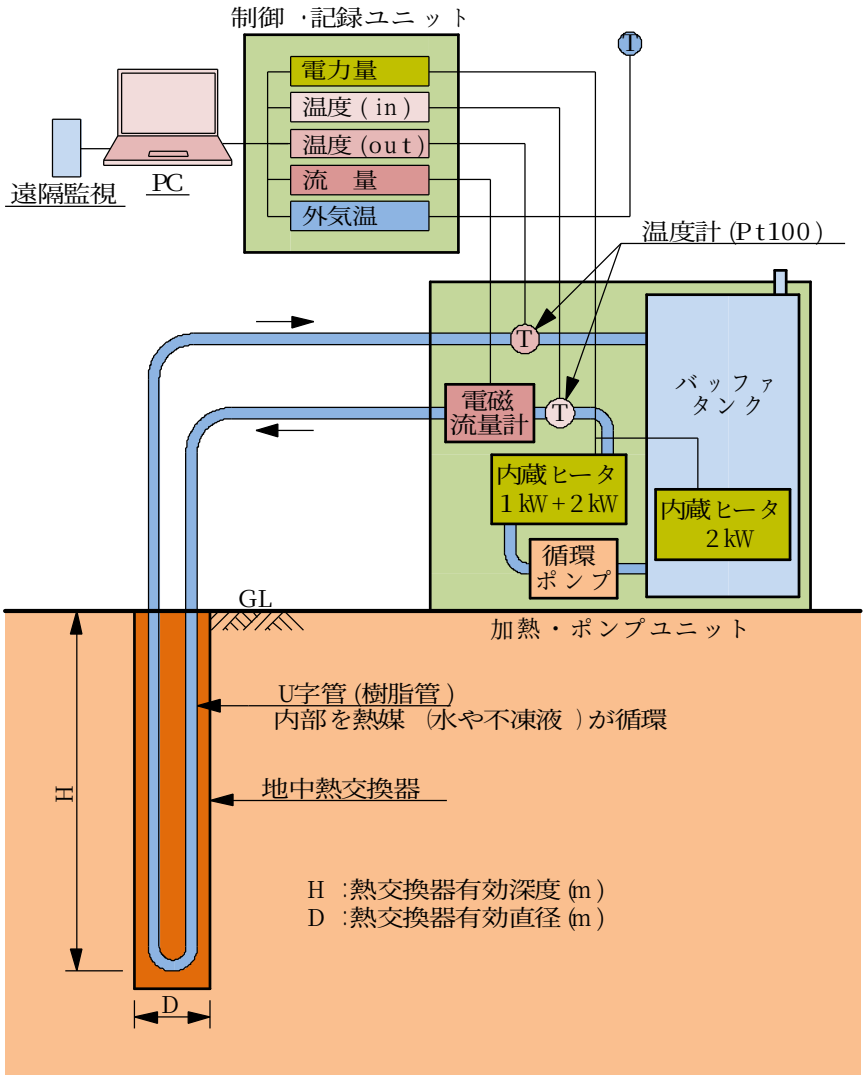


図3　TRT模式図

（2）計測器精度

初期温度測定用温度計　コーナーシステム　KDC-S03　Pt100　A級

精度：　±(0.15+0.002×｜t｜)℃

循環水用温度計　オムロン　E52-P6D　Pt100　B級

精度：　±(0.3+0.005×｜t｜)℃

社外校正を2010年8月に実施し、トレーサビリティが確認されている標準温度計と差が最大でも0.1℃であることを確認済みである。

流量計　　キーエンス　FD-M50AY

精度：　0.3L/min（±0.6% of F.S.）

社外校正を2010年8月に実施し、トレーサビリティが確認されている標準流量計との校正式を求めてある。

電力計　　オムロン　K3FL-WT3

精度：　±25W（±0.5% of F.S.）

検定は、メーカーによる検定を2009年２月に実施済み。

3．　調査結果

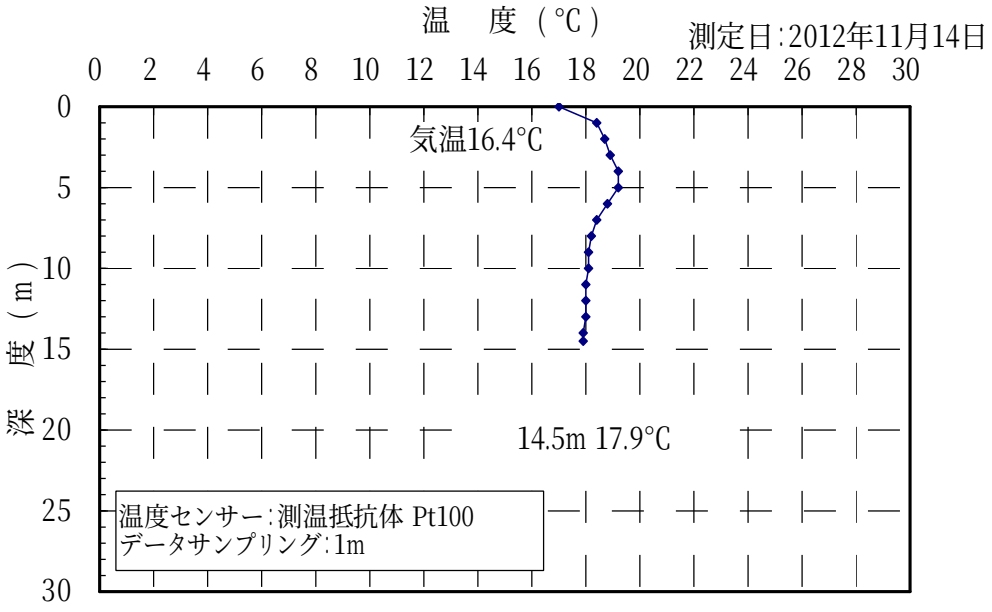
3－1　初期温度測定

U字管内の温度を測定した結果を第４図に示す。地質は、0m～6.15mは埋立土の細砂とシルト、6.15 m～孔底までは旧海底と思われる細砂である。

初期温度分布を見ると、深度5mまでは深度が深くになるにつれて温度は上昇し、それ以深では低下する傾向となっている。深度9～14mではほぼ等温であり、地下水流動がある可能性を示唆している。



写真－２　U字管内温度測定状況



第４図　U字管内温度測定結果

３－２　機器の設置

地中熱交換器の近傍に電気ヒーター内蔵の加熱・ポンプユニットを設置し、ポリエチレン製U字管に循環水用の配管を接続した。温度計、流量計の信号線を制御・記録ユニットに接続し、循環・加熱制御を行うと共にデータ収録をした。制御・記録ユニットは物置小屋の中に設置した。加熱・ポンプユニットはユニットからU字管までの配管に断熱材を巻くとともに、日射の影響をさけるためにアルミ蒸着シートで覆った。



写真－３　TRT装置設置状況（制御・記録ユニット）



写真－４　TRT装置設置状況（加熱・ポンプユニット）

３－３　試験実績

TRTの試験実績を第３表に示す。

第３表　TRT試験実績表

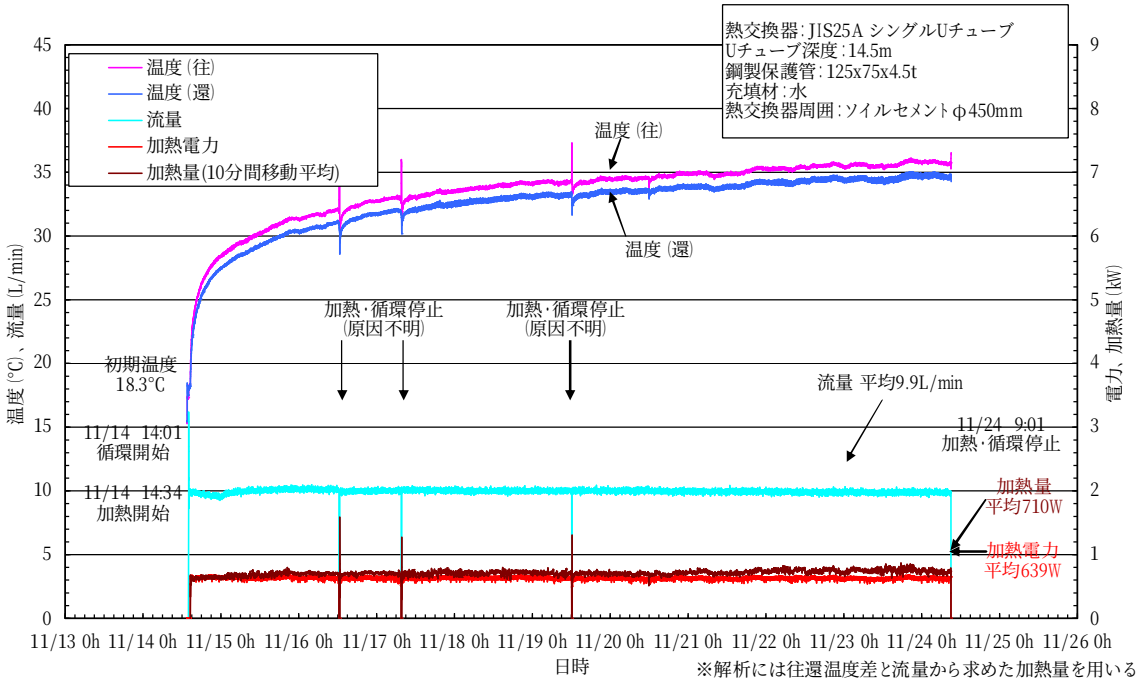
名称	月　日	時刻	イベント	非加熱時間(h)	加熱時間(h)	加熱量(kW)
地中熱交換器	11月14日	14:01	循環開始			
	11月14日	14:34	加熱開始	0.5		平均
	11月24日	09:01	加熱停止		234.5	0.71

３－４　測定結果

非加熱循環と加熱循環を第３表の通り行い、循環水の温度変化を測定した結果を第５図に示す。第５図には、U字管を通して循環する循環水の往復の温度、流量、加熱電力、循環水の往復温度差と流量から求めた加熱量の時間変化を示している。

非加熱循環中の安定した温度は18.3℃であった。

電気ヒーターによる加熱によって、循環水温度は全体的には滑らかに上昇した。ただし、循環・加熱の停止が11月16日、11月17日、11月19日に発生したため、その直後は循環水の温度は若干低下したが、停止時間が10分間程度と全体の加熱時間に比較して短時間であったので、試験期間全体の温度変化に大きな影響はなかった。



第５図　サーマルレスポンステスト測定状況

４．　有効熱伝導率と熱抵抗の解析

地盤の熱伝導率と熱交換器の熱抵抗を、加熱時の温度上昇データを用いて、Kelvinの線源理論によって解析した。ここで求められるのは地中熱交換器全体に対する見かけの熱伝導率（有効熱伝導率）である。

４－１　加熱時データを用いた作図法による解析

（１）解析方法

TRTの加熱開始から十分に時間経過した後の熱交換器入口温度と出口温度の循環水の平均温度Taveの変化（レスポンスカーブ）は、加熱時間tの自然対数ln(t)によって①式のように近似できる。mは実測データから求められる単回帰式の傾き、b は単回帰式の切片である。

熱交換井における単位長さ当たりの熱交換量の測定値qと、導出したmの値を（②式）に代入して有効熱伝導率λ_{eff}を算出する。

$$T_{ave} - T_i = m \cdot \ln(t) + b \qquad (①式)$$

$$\lambda_{eff} = \frac{q}{4\pi \cdot m} \qquad (②式)$$

T_{ave}：熱交換器入口温度と出口温度の循環水の平均温度（K）

Ti：非加熱循環時の初期温度（K）

m：上記単回帰分析における回帰式の傾き

t：時間　（s）

q：単位長さ当たりの熱交換量　（W/m）

一方、地中熱交換器の熱抵抗Rの値は、以下のように熱伝導率λ_{eff}を③式に代入し、算出する。

$$T_{ave} - T_i = \frac{q}{4\pi\lambda_{eff}}\left(ln\frac{4\alpha t}{r^2} - 0.5772\right) + qR \qquad (③式)$$

r：地中熱交換井中心から地中熱交換器表面までの半径（m）

α：地盤の温度伝導率（熱拡散率）（m^2/s）

R：地中熱交換器の熱抵抗　[K/(W/m)]

なお、レスポンスカーブの直線近似においては、近似区間の選択によって傾きmの値が変化する。これは、地中熱交換器の熱容量が有限であることや線源理論の近似式の適用制限によるものである。このため、線形理論の近似式の直線近似可能な領域は、次式の最小加熱循環時間以上とする。

$$t_b = \frac{5r^2}{\alpha} \qquad (④式)$$

t_b：最小加熱循環時間（s）

ここで、熱拡散率αは、

$$\alpha = \frac{\lambda_{eff}}{\rho C} \qquad (⑤式)$$

で定義される。

ρ：熱媒の比熱[J/(g・K)]

C：熱媒の比重[g/cm^3]

実際の解析では、ある仮定したt_b以降のデータの直線近似からλ_{eff}を求め、そのλ_{eff}から④式を

使って計算されるt_bが一致するように収束計算を実施し、t_bとλ_{eff}を同時に求める。

（2）解析結果

前述の線源理論に基づきデータを解析し、地盤の有効熱伝導率、地中熱交換器の熱抵抗を求めた。

解析に使用したパラメータは以下の通りである。なお、地中熱交換器はポリエチレン製U字管、水、鋼製保護管、H形鋼を含むソイルセメント部によって構成されている。ここではソイルセメントの外径までを熱交換器とみなし、それよりも外側を地盤とした場合の有効熱伝導率と熱抵抗の計算を行った。本地中熱交換井の地質は砂、シルトで構成されている。このため、ここでは地盤の密度、比熱は砂＋粘土の値を使用した。

第４表　土壌・岩盤の有効熱伝導率と熱容量

種類	密度 kg/m^3	比熱 J/(kgK)	熱伝導率 W/(mK)	熱拡散率 m^2/s	備考 （含水率）
有機質土	1,340	1,700	0.7	0.30×10^{-6}	41.5%
ローム	1,230	2,800	0.9	0.26×10^{-6}	36.6%
粘土	1,700	1,800	1.2	0.39×10^{-6}	27.7%
砂	1,510	1,100	1.1	0.68×10^{-6}	7.9%
砂＋粘土	1,960	1,200	2.1	0.93×10^{-6}	21.6%
粘土質土	1,860	1,680	1.5	0.48×10^{-6}	
普通コンクリート	2,200	880	1.4	0.72×10^{-6}	

空気調和・衛生工学便覧ほかより

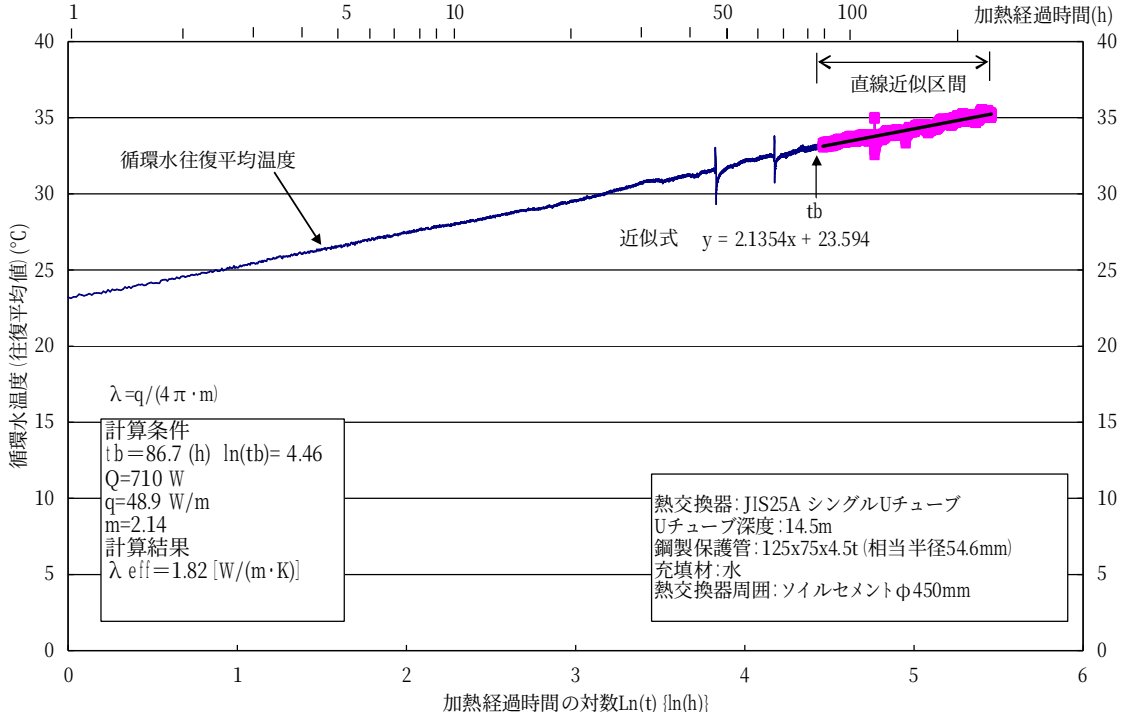
Q：平均加熱量　710[W]　（測定値から求めた加熱量の平均）
H：地中熱交換井有効深度　14.5 [m]　（測定値）
r：地中熱交換井有効半径　0.225[m]（ソイルセメント範囲の直径0.45m）
ρ：地中の代表密度　1,960[kg/m^3]（推定値）
C：地中の代表比熱　1,200　[J/(kg･K)]　（推定値）
T_i：地中熱交換井の初期温度　18.3[℃]　（測定値）

試験で得られたデータについて、横軸を加熱経過時間の自然対数、縦軸を循環水温度とした解析グラフを第６図に示す。この図の通り、最小加熱時間t_bが86.7時間以降の温度上昇は、ほぼ直線で近似され、その傾きより有効熱伝導率が求められる。また、③式により熱抵抗が求められる。このように加熱時の温度上昇データを用いて解析した有効熱伝導率は1.82W/(m･K)、熱抵抗は0.199K/(W/m)であった。この有効熱伝導率は、埋め立て地の地盤のものとしてはやや高い値であると思われるが、砂やシルトなどの堆積物からなる土壌のものとしては一般的な値と同程度である。

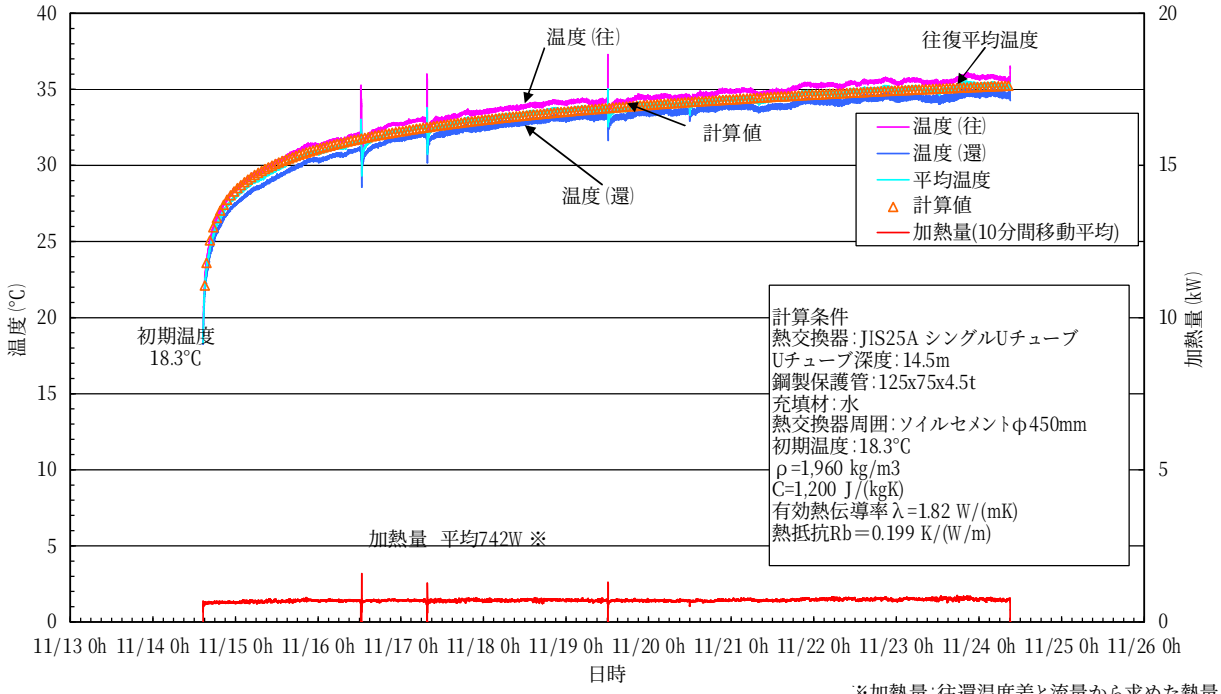
熱抵抗は、熱交換器直径が一般的なボアホールよりも大きいため、シングルU字管の熱交換器としては高い値である。

解析結果によって得られた地盤の熱パラメータを用いて、理論計算値と実測値の比較を行い、パラメータの信頼性の確認を行った。この結果を第７図に示す。なお、この図における計算値は循環水の往復温度の平均に相当する。

この図の通り、加熱時の実測値と計算値は、加熱初期においては評価式の近似範囲を越えているため、若干の相違はあるものの、加熱後半では良く合致している。



第６図　有効熱伝導率の解析結果（加熱時データ）



第７図　解析結果によるマッチング確認

※加熱量：往還温度差と流量から求めた熱量

４－２　考察

（１）熱抵抗について

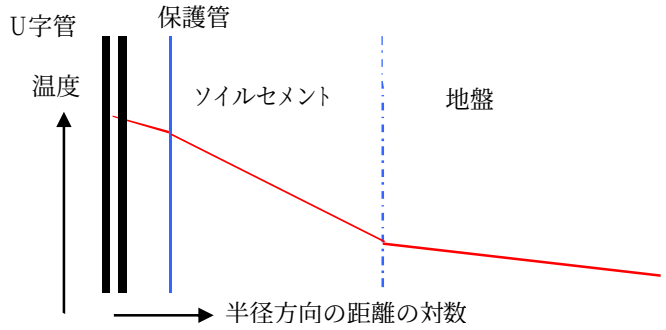
本試験で求められた熱抵抗は0.199K/(W/m)であり、この値はボーリング孔にU字管を挿入した通常の熱交換器の一般的な熱抵抗値である0.05～0.1 K/(W/m)と比べるとかなり高い値である。しかしこの熱抵抗値は、熱交換器の直径が大きいためであり、熱交換性能が悪いということではない。

すなわち本解析では､直径45cmのソイルセメント部の内側を全て熱交換器として解析しており、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ものであるために、このような大きな値になったものである。

（２）加熱初期のソイルセメント部の影響に関する検討

本試験の対象である地中熱交換器は、ソイルセメント部の半径が大きいので、短時間の熱交換ではソイルセメント部の影響を強く受けると考えられる。そこで、本試験の加熱初期のデータを用いて、ソイルセメント部の影響が強い区間の熱交換への影響について、見かけの熱伝導率として解析、検討した。

本試験の対象である地中熱交換器は前述の通り、U字管、鋼製保護管、H型鋼を含むソイルセメント部であり、それよりも遠方に元来の地盤がある。このため、加熱を開始してからしばらくはソイルセメントの熱伝導率を反映した温度上昇をし、その後地盤の熱伝導率を反映した温度上昇をすると考えられる。ソイルセメントの熱伝導率が地盤よりも低い場合の周辺温度分布の模式図を第８図に示す。熱伝導率が均一な区間の温度分布は中心からの距離の対数に比例する温度変化をし、地盤よりもソイルセメントの傾きの方が大きくなる。したがって、このような構造になっていた場合、TRT中の循環水温度変化は加熱時間の経過とともに緩やかになると考えられる。



第８図　熱交換器周囲の温度分布模式図

そこで、U字管、水、保護管を熱交換器と仮定して、加熱の影響が地盤に届く前の加熱開始後72時間のデータを用いて解析すれば、ソイルセメント部の影響が強い区間の有効熱伝導率が求められると考えられる。

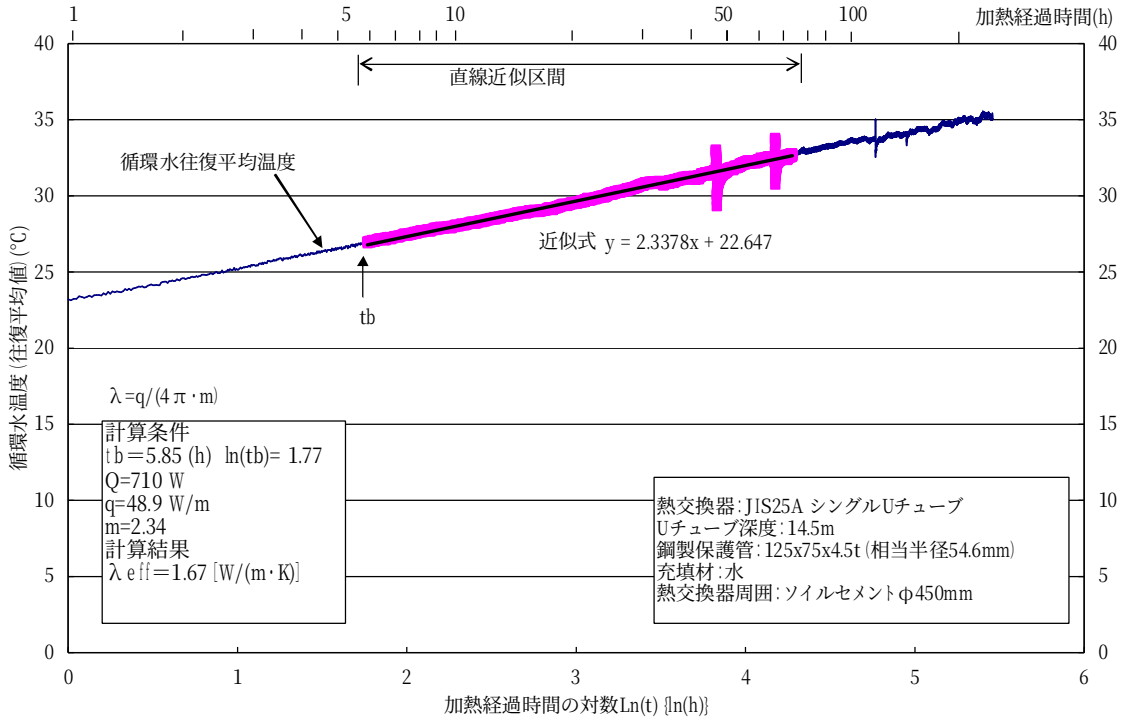
第９図にはU字管、水、保護管を熱交換器と仮定して、加熱開始後72時間のデータを用いて解析した有効熱伝導率のグラフを示す。また、解析結果によって得られた地盤の熱パラメータを用

いて、理論計算値と実測値の比較を行い、パラメータの信頼性の確認を行った。この結果を第10図に示す。

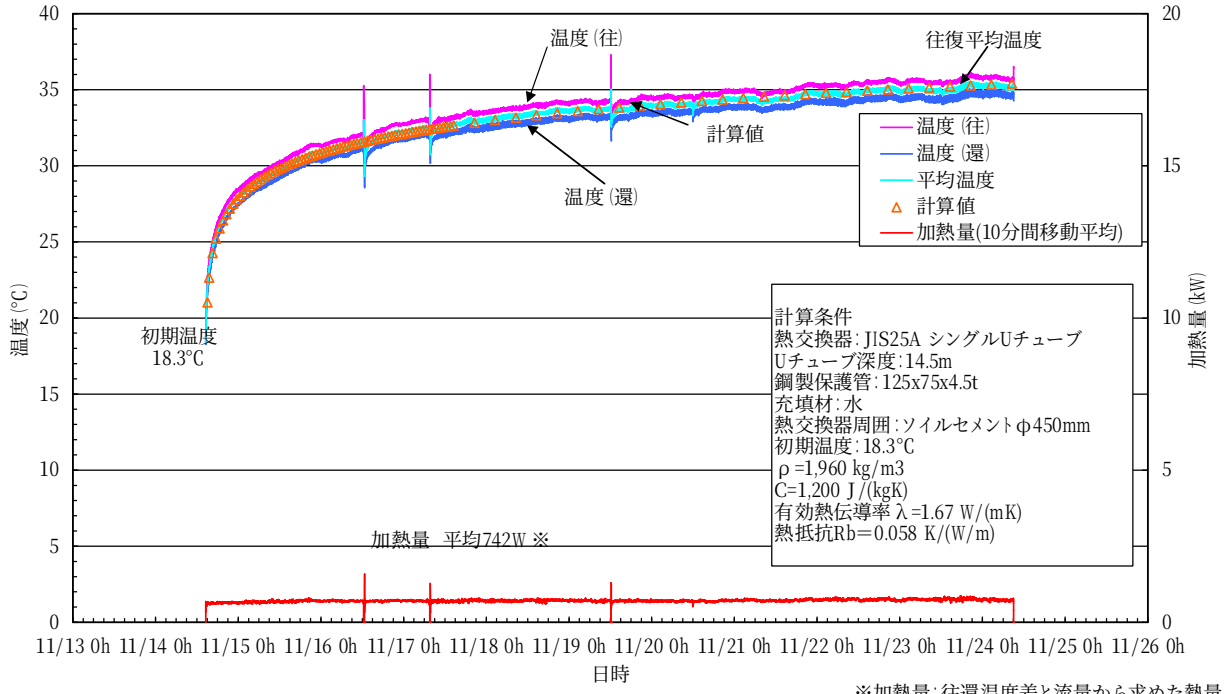
解析の結果、加熱開始当初のデータから求められた有効熱伝導率は1.67 W/(m･K)であった。これは前述のソイルセメントの影響が無くなったと考えられる後半の有効熱伝導率よりも低い。しかし、この有効熱伝導率の値はソイルセメントとしては高いと考えられる。この原因としては、H型鋼(H-250x250x9x14、長さ15m)が放熱板の役割をして、見かけ上の熱伝導率を高くしていることが考えられる。

第10図に示す計算結果のマッチング状況は、加熱開始直後でも計算値は実測値と良く合致している。グラフ上では72時間以降でも計算値と実測値の差は大きくない。しかし、長期では時間経過とともに計算値は実測値から乖離すると予想される。

以上のように熱交換器の仮定の仕方や加熱時間の違いで得られる有効熱伝導率、熱抵抗が異なる。これはU字管周囲の熱物性が不均一であるためである。地中熱熱交換器の熱交換評価においては、長期挙動をより正しく予測できる方が良いと考えられるので、基本的には、ソイルセメントまでを熱交換器と仮定して求めた有効熱伝導率、熱抵抗を使用することが良いと考えられる。



第９図　有効熱伝導率の解析結果（72 時間までのデータを使用）



※加熱量：往還温度差と流量から求めた熱量

第 10 図　解析結果によるマッチング確認

5.　　まとめ

TRTを実施し、地盤の有効熱伝導率、地中熱交換器の熱抵抗を求めた。ここで求められた有効熱伝導率は、砂・シルトなどとしては一般的な値である。一方、熱抵抗は一般的なボアホールにシングルU字管を設置した場合よりは大きいが、熱交換器直径が大きいためであり、熱交換性能が悪いということではない。

第４表　熱交換能力に関するパラメーター一覧

地中熱交換器の熱抵抗R	0.199 [K/(W/m)]　作図法
土壌部分の熱伝導率λ	1.82 [W/(m･K)]　作図法

以上

添付資料２　熱媒循環部カタログ（抜粋）



U-ポリパイ

●商品特長

高性能・高密度ポリエチレン

優れた耐久性・耐衝撃性・耐薬品性をもつ材料（PE100）を使用しています。

片側平面形状

片側が平滑になっているため、2組で挿入しやすくなっています。



※2組をビスで固定します。



JIS規格準拠サイズ

水道用2種管の規格に準拠したサイズと、PE100材料を組み合わせることで高い耐圧設計となっています。

ソケット接合

パイプとU字継手はソケット融着の面接合なので融着部の強度はパイプ部よりも強く、地中の中でも安心です。

地中熱専用設計のU字部

採熱孔への挿入がしやすいコンパクト設計です。



●パイプには、1mピッチで長さが印字されているので、埋設時の長さがわかります。

U-ポリパイの材料は、ISO/TR9080に規定する試験法で、『PE100』と認定された高密度ポリエチレンを使用しております。
ポリエチレン材料としては世界最高水準の長期静水圧強度をもった材料です。

※長期静水圧強度
管内水圧により管壁に常時一定の周方向応力が発生しますが、時間と共に管が変形していく現象を『クリープ現象』といいます。この『クリープ』を促進する『長期静水圧試験』を行うことにより、管の長期寿命をはかることができます。管が破壊しない周方向応力を長期静水圧強度（MRS）といいます。



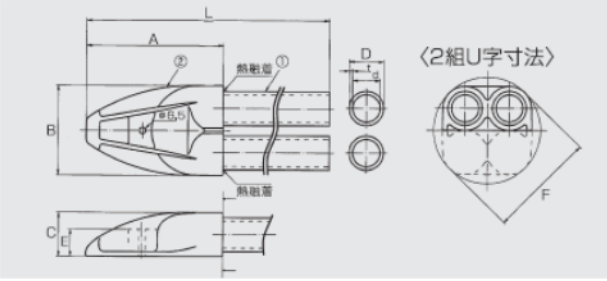
※PE100
長期静水圧試験を行い、20℃で50年間、管が破壊しない周方向応力（長期静水圧強度=MRS）が10MPa以上であると分類された、ポリエチレン樹脂材料のことです。

4

●仕様

◎U-ポリパイ





製品記号	呼び径	パイプ部				U字継手部			参考製品重量	製品巻径		ピス穴深さ	2組U字	最小	保有
		長さL	外径D	厚さt	近似内径d	長さA	幅B	厚みC		内径	外径	参考E	外径F	曲げ半径	水量※3
		(m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(kg)	(cm)	(cm)	(mm)	(mm)	(cm)	(L/m)
GUP-20A60	20A	60	27.0	3.0	21.0	119	78	35	26	約156	約180	22.5	93	85	0.35
GUP-20A110	20A	110							48						
GUP-25A60	25A	60	34.0	3.5	27.0	129	86	43	39	約153		27.0	106	105	0.57
GUP-25A110	25A	110							71						

※1 製品長さは片側長さを記しています。製品の総長は上記の倍になります。
※2 上記以外の長さにつきましては別途ご相談下さい。
※3 片側の管１本のｍあたり保有水量です。
※U-ポリパイと金属継手を接続する際は、補修・点検ができる施工をお願いします。

◎横引き管（受注生産）



製品記号	呼び径	寸法				参考製品重量	製品巻径		最小曲げ半径	保有水量
		長さL	外径D	厚さt	近似内径d		内径	外径		
		(m)	(mm)	(mm)	(mm)	(kg)	(cm)	(cm)	(cm)	(L/m)
GSP-20A60	20A	60	27.0	3.0	21.0	13	約156	約180	85	0.35
GSP-20A110	20A	110				24				
GSP-25A60	25A	60	34.0	3.5	27.0	19	約153		105	0.57
GSP-25A110	25A	110				35				
GSP-30A60	30A	60	42.0	4.0	34.0	27	約153		130	0.91
GSP-30A110	30A	110				50				

※納期は弊社営業所へ確認下さい。

◎不凍液／ハイブライン



製品記号	仕様
DBP50-18	凍結温度(−20℃)18kg／ケース、主成分プロピレングリコール
DBP100-18	凍結温度(−60℃)18kg／ケース、主成分プロピレングリコール

U-ポリパイ

技術データ

PE100 基本物性

試験名		試験方法	単　位	物性値例
物理的物性	密度	JIS K 7112	kg/m³	942~953
機械的物性	引張降伏強さ(引張降伏応力)	JIS K 7161	MPa	20 以上
	破断点伸び(引張破壊呼びひずみ)		%	350 以上
	曲げ弾性率	JIS K 7171	MPa	900~1200
	硬度(デュロメータ硬さ)	JIS K 7215	HDD	63~68
	衝撃強さ(シャルピー衝撃強度)	JIS K 7111	kJ/m²	16~18
熱及び電気的物性	線膨張係数	JIS K 7197	10^{-5}/°C	11~13
	比熱(比熱容量)	JIS K 7123	kJ/kg・K	1.9~2.3
	熱伝導率	ASTM C177	W/m・k	0.46~0.50
	融点	JIS K 7121	°C	128~132
	軟化温度(ビカット軟化温度)	JIS K 7206	°C	125~127
	脆化温度	JIS K 7216	°C	-70 以下
	燃焼性	-	-	可燃性

※上記物性値は、代表値であり保証される数値ではありません。

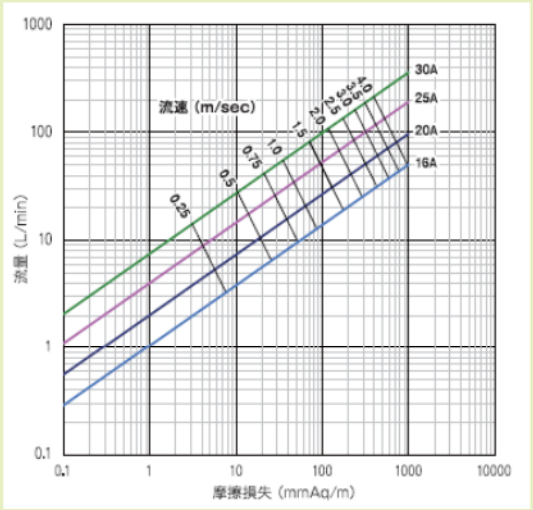
高密度ポリエチレン管及び継手の性能規格

性能項目	性能	試験条件
引張降伏強さ	20.0MPa 以上	引張速度 :25mm/ 分
引張破断点伸び	350% 以上	
耐圧性	漏れ、変形、破損その他の欠点がないこと	2.5MPa×2 分間
破壊水圧強さ	4.0MPa 以上	
熱安定性	酸化誘導時間 20 分以上	200℃、O_2 雰囲気化
加熱伸縮性	±3% 以内	110℃のエチレングリコール浸せき ×30 分間
熱間内圧クリープ性	割れその他の欠点がないこと	20℃, 2.48MPa×100 時間 80℃, 1.10MPa×165 時間 80℃, 1.00MPa×1000 時間
耐塩素水性	水泡発生がないこと	60℃, 有効塩素濃度 2000ppm×168 時間
耐環境応力き裂性	き裂発生がないこと	ISO4427
低速き裂進展性	割れその他欠点がないこと	80℃, 0.92MPa×165 時間
融着部相溶性	割れその他欠点がないこと	80℃, 1.10MPa×165 時間

■最大常用圧力　連続安全使用温度範囲 -20～40℃（条件により50℃迄の使用も可能です。）　単位：MPa

使用温度（℃）	-20℃	-10℃	0℃	10℃	20℃	25℃	30℃	35℃	40℃
16A	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.54	1.44	1.32	1.22
20A	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.54	1.44	1.32	1.22
25A	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.41	1.32	1.21	1.12
30A	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.31	1.22	1.13	1.04

■U-ポリパイ（直管部）の流量線図



⚠ 取扱い注意事項

⚠ 保管上の注意

◎管の保管は屋内保管を原則とし、直射日光の当たらない場所に保管して下さい。
　屋外保管をする場合はシート等で覆って保管して下さい。
◎保管場所では管が曲がらないようにし、平面に横積み保管して下さい。
　枕木等、管に局部荷重のかかる置き方はしないで下さい。
◎管は洗剤、溶剤、油が付着する恐れがある場所や火気の近くには置かないで下さい。

⚠ 運搬上の注意

◎管は傷がつきやすいため、放り投げたり引きずったりしないで下さい。
　また、継手部に衝撃を与えないで下さい。
◎トラックで運搬の際、荷台の角等に管が直接当たらないように、緩衝材等で保護して下さい。

⚠ 施工上の注意

◎管の切断はパイプカッターなどの専用工具を使用して下さい。
◎継手はU-ポリパイ用 EF継手又はUポリメカ継手を使用して下さい。

9

添付資料３　熱媒循環部の品質表示（抜粋）

地中熱交換パイプ『U-ポリパイ』の性能についての品質表示

株式会社イノアック住環境

3 耐食性

①酸性土壌、腐食性土壌、塩害地域で優れた耐食性を維持します。

②電食の心配がありません。

耐薬品性の一例（温度20℃）

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					
重合クロム酸カリウム	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*1に基づいたものです。
2.◎印は耐薬品性があることを示しています。

4 衛生性

JWWA K 144(水道配水用ポリエチレン管)や厚生省令第15号*2及び厚生省告示第45号*3の浸出(溶出)試験などで、水道管として衛生的であることを確認しています。

検査項目の一例

濁度	カドミウム
色度	鉛
過マンガン酸カリウム消費量	その他重金属
残留塩素の減量	
臭気	
味	

＊1 Plastics pipes and fittings-Combined chemical-resistance classification table.
＊2 水道施設の技術的基準を定める省令
＊3 資機材等の材質に関する試験