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）

実証試験結果報告書

≪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　：　積水化学工業株式会社、ミサワ環境技術株式会社
実証対象技術：　積水化学工業株式会社群馬工場における地中熱交換器
実証番号　　：　０５２－１２０２

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．地中熱利用と地中熱交換部 3
２．実証対象技術の概要 3
2.1 地中熱交換井及び地盤柱状図（図 1） 3
2.2 熱媒循環部および熱媒 5
３．実証試験結果 6
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） 6
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）の実証目的と実証項目 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及び現況 14
4.2 地質状況 15
4.3 地中熱交換器 15
4.4 熱媒循環部（U 字管）及び熱媒 16
4.5 地中熱利用ヒートポンプと空調対象の概要（参考） 17
4.6 参考情報 18
５．実証試験の内容と結果 19
5.1 サーマルレスポンス試験（TRT）の結果 19
5.2 熱媒循環部及び熱媒の実証結果 25
5.3 考察 26
６．実証試験の品質管理・監査 27
○参考文献 28
○地中熱用語集 29
添付資料 1　サーマルレスポンス試験報告書 32
添付資料 2　熱媒循環部　エスロハイパーＡW地中熱交換器　製品仕様書 47
添付資料 3　熱媒循環部　エスロハイパーシリーズ　技術資料 54

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 - 1202
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	積水化学工業株式会社群馬工場における地中熱交換器
実証申請者	積水化学工業株式会社、ミサワ環境技術株式会社
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 12 月 8 日～12 月 11 日

１．地中熱利用と地中熱交換部

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 地中熱交換井及び地盤柱状図（図 1）

本実証対象技術の設備は、積水化学工業株式会社群馬工場（群馬県伊勢崎市）内に設置されたものであり、この工場内にある本館事務所のコンピュータサーバー室の空調設備として、平成 24 年 7 月から実用運転をしている。ヒートポンプは、株式会社コロナ製の冷房能力 4kW の設備である。本件は、サーマルレスポンス試験であるため、地下の温度分布を安定させる目的で、10 月 22 日から実証試験開始直前までの約 1.5 ヶ月間、空調設備の運転を停止している。

地中熱交換器は、ボーリング孔にU字管を挿入して間隙を珪砂で充填した一般的な構造である。

・地中熱交換器：掘削深度 77m、坑径φ170mm
・充填材：2 号珪砂
・地中熱交換井内には、地下温度モニターのため、深度 10m、50m、75m に白金抵抗体温度計（Pt100）が設置されている。

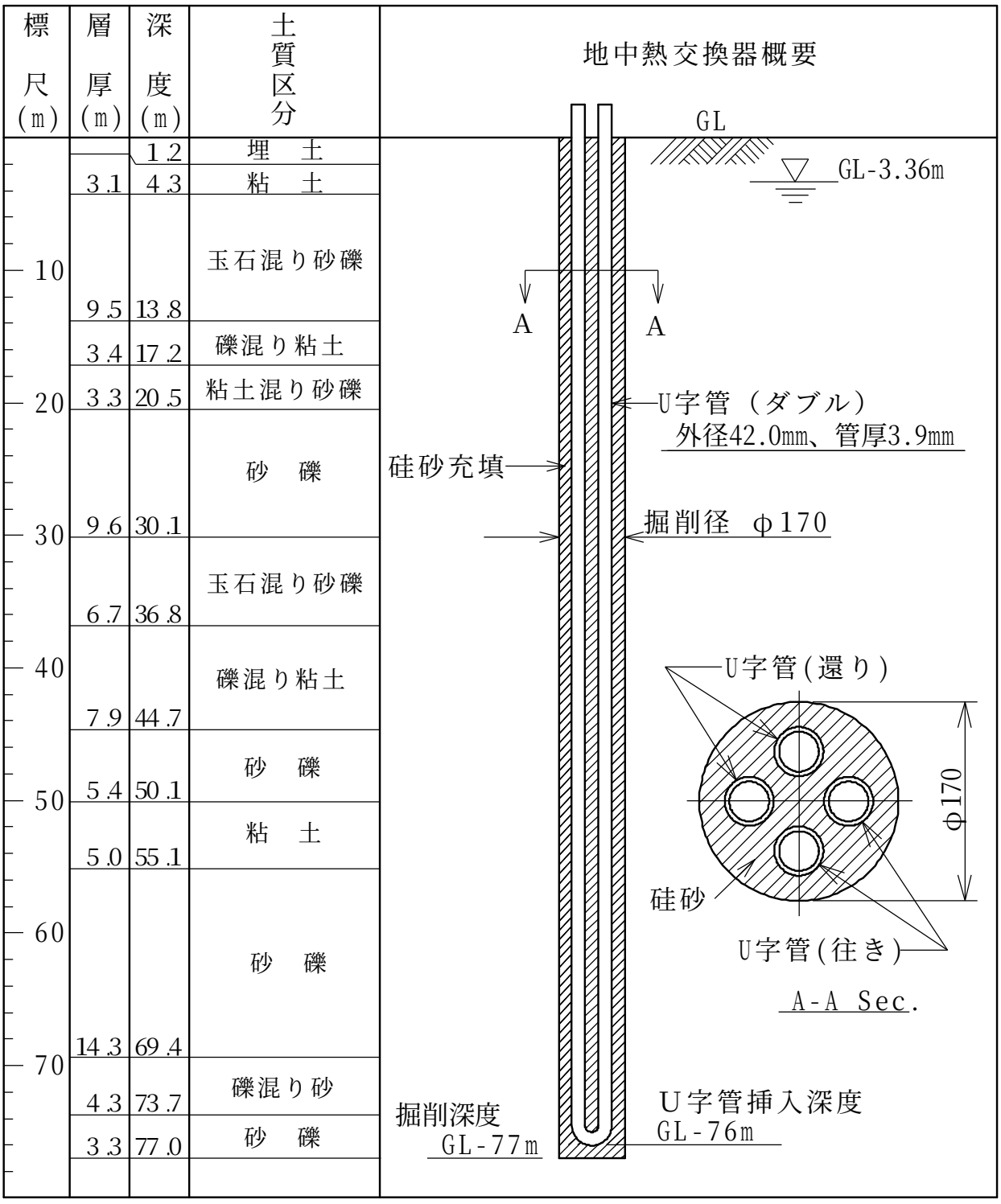


図１　地盤柱状図及び地中熱交換器の概要

2.2 熱媒循環部および熱媒

熱媒循環部（U字管）の仕様を表１に、写真を図２に示す。

表１　熱媒循環部　　メーカーカタログより

製品名及び型式	地中熱エスロハイパーAW　呼び径 30
製造・販売事業者	積水化学工業株式会社
材　質	高密度ポリエチレン材料（PE100）
寸　法	パイプ外径　42.0㎜、厚さ　3.9㎜
設置方式	ダブルU字管
設置深度	76mまで挿入

図２　熱媒循環部の写真

熱媒は、運転開始当初使用していたのはブラインであるが、今後の実運転では水を主体に使用することを検討中なので、サーマルレスポンス試験の熱媒は、水を使用した。このため、熱媒については特に該当する実証項目はない。

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 3 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 2 に示す。

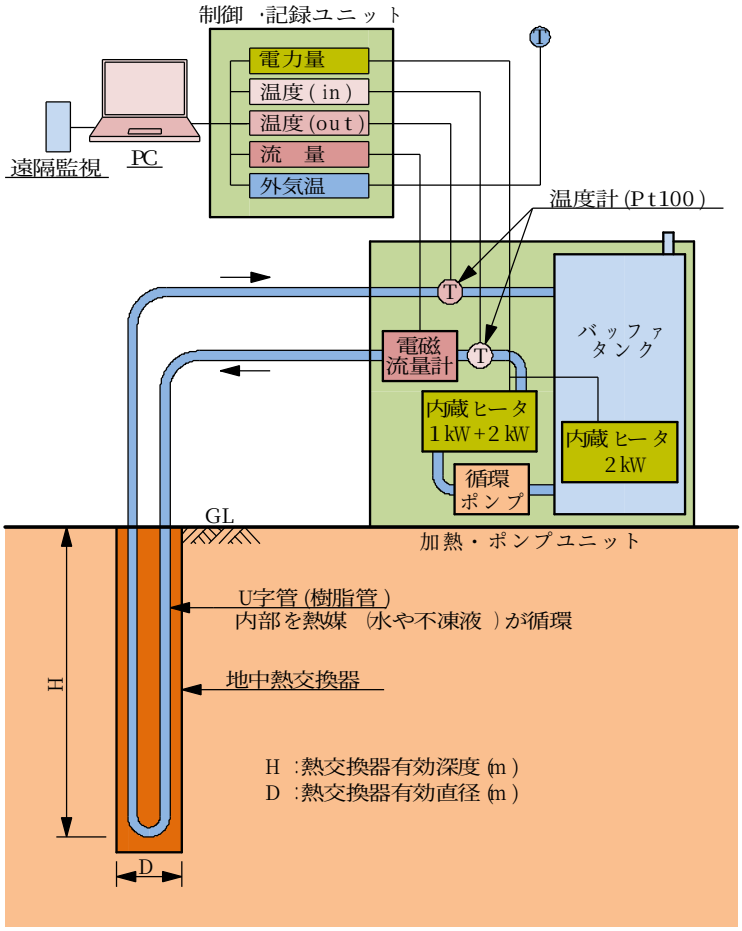


図 3　サーマルレスポンス試験装置と試験模式図

表 2　サーマルレスポンス試験実施工程

項目	日数	平成 24 年 12 月								
		8	9	10	11	12	13	14	15	16
装置設置・準備	0.5 日	▬								
非加熱循環	0.1 日	▪								
加熱循環	3 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とサーマルレスポンス試験による算出結果を表 3 に示す。

表３　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	0.073[K/(W/m)]	坑径 170mm、ダブル U 字管（外径 42mm）、U 字管挿入深度 GL-76m、硅砂充填
b．土壌部分の熱伝導率	1.66[W/(m･K)]	

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。

なお、熱媒については、今後の実運転では主に水を使用することを検討中であるため、該当する実証項目はない。

表４　熱媒循環部（U字管）の特性（既存資料より）

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（耐薬品性）	表 5 参照			
e．耐圧性	● 内圧クリープ試験 以下の試験において割れ、破損その他の欠点がないこと。			
	試験温度	20℃	80℃	
	試験時間	100 時間	165 時間	1000 時間
	試験圧力	2.48MPa (25.3kgf/cm2)	1.10MPa (11.2kgf/cm2)	1.00MPa (10.2kgf/cm2)
	● 耐圧試験 適切な方法で内部に常温の水を 2.5MPa(25.5kgf/cm2)の圧力を加えてそのまま 2 分間保持し、割れ、破損その他の欠点がないこと。			

表５　配水用ポリエチレン管材料の主な耐薬品性（既存資料より）

薬品名	温度（℃）		薬品名	温度（℃）		薬品名	温度（℃）	
	20	60		20	60		20	60
酸及び酸性薬品			塩類			有機溶剤		
塩酸 35	S	S	塩化第二鉄	S	S	アセトアルデヒド	S	L
オレイン酸	S	S	塩化バリウム	S	S	アセトン	L	L
蟻酸＜80%	S	S	過酸化水素 30%	S	S	アニリン	S	L
クロム酸 50%	S	L	過酸化水素 90%	S	NS	エタノール 40%	S	L
酢酸＜10%	S	S	過マンガン酸カリ	S	S	エチルエーテル	L	―
シュウ酸	S	S	重クロム酸カリ	S	S	グリセリン	S	S

・積水化学工業株式会社「水道配水用ポリエチレン管（耐震管）エスロハイパーシリーズ技術資料」より。

・摘要　S：無圧下で使用できる。L：多少浸食される。NS：使用できない。

４．実証試験実施状況写真

写真１　サーマルレスポンス試験を実施した積水化学工業群馬工場事務所遠景。事務所脇の車が停車している付近で実施した。

写真２　ダブルＵ字管や配管と試験装置の保温前の接続状況

写真３　配管の保温後の接続状況、試験装置の制御装置は奥の方に設置している。

（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申請した内容であり、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		積水化学工業（株）群馬工場における地中熱交換器
製造(販売)企業名		積水化学工業株式会社
連絡先	TEL／FAX	TEL：03-5521-0748　FAX：03-5521-0557
	ウェブサイトアドレス	http://www.sekisui.co.jp/
	E-mail	eslon-times@sekisui.com
製造(販売)企業名		ミサワ環境技術株式会社
連絡先	TEL／FAX	TEL：0824-66-2281　FAX：0824-66-2975
	ウェブサイトアドレス	http://www.ecomisawa.com
	E-mail	info@ecomisawa.com
設置条件		・ボーリング機材の仮設ヤード（10m×20m）が確保できれば、場所を選ばずどこでも設置できます。 ・地中熱交換器の設置間隔は、通常 5m 以上が必要です。
メンテナンスの必要性･コスト 耐候性･製品寿命等		・地中熱交換器や横引き送水管の地中埋設部は、継手も含めて全て高密度ポリエチレンを使用しており、メンテナンスフリーです。
施工性		・先端の U 継手はコンパクト設計のソケット融着を採用しており、信頼性向上と掘削径縮小を同時に実現しています。 ・横引き配管でエスロハイパーAW の豊富な継手群と融着接続が可能です。
コスト概算		イニシャルコスト

機　器	数量	金額
掘削費 L=77m	1 式	1,200,000
ダブル U チューブ	1 式	310,000
合　計		1,510,000

○ その他実証申請者または開発者からの情報

本施設では、掘削口径を最大限活用して 30A(外径 42mm)ダブル U チューブを挿入し採熱効率を高めています。
群馬工場は、U チューブを始め、横引き配管や継手でも豊富な品揃えを誇るエスロハイパーAW の生産工場であり、地中熱利用システム施設だけでなく、管材製品の製造工程見学が可能です。

●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の「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。

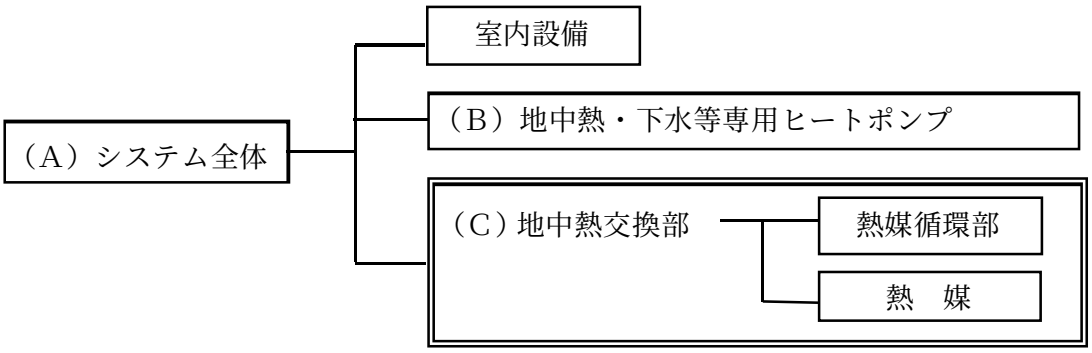


図 1-1 実証対象技術の全体像

本件はこれらの階層的技術の内、「（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。

実証試験申請者である積水化学工業株式会社は熱媒循環部のＵ字管を構成する高密度ポリエチレン管の製造事業者である。また、ミサワ環境技術株式会社は本実証対象技術の設計施工業者である。サーマルレスポンス試験は、技術提案と見積金額を審査し、下記の業者へ外部委託した。

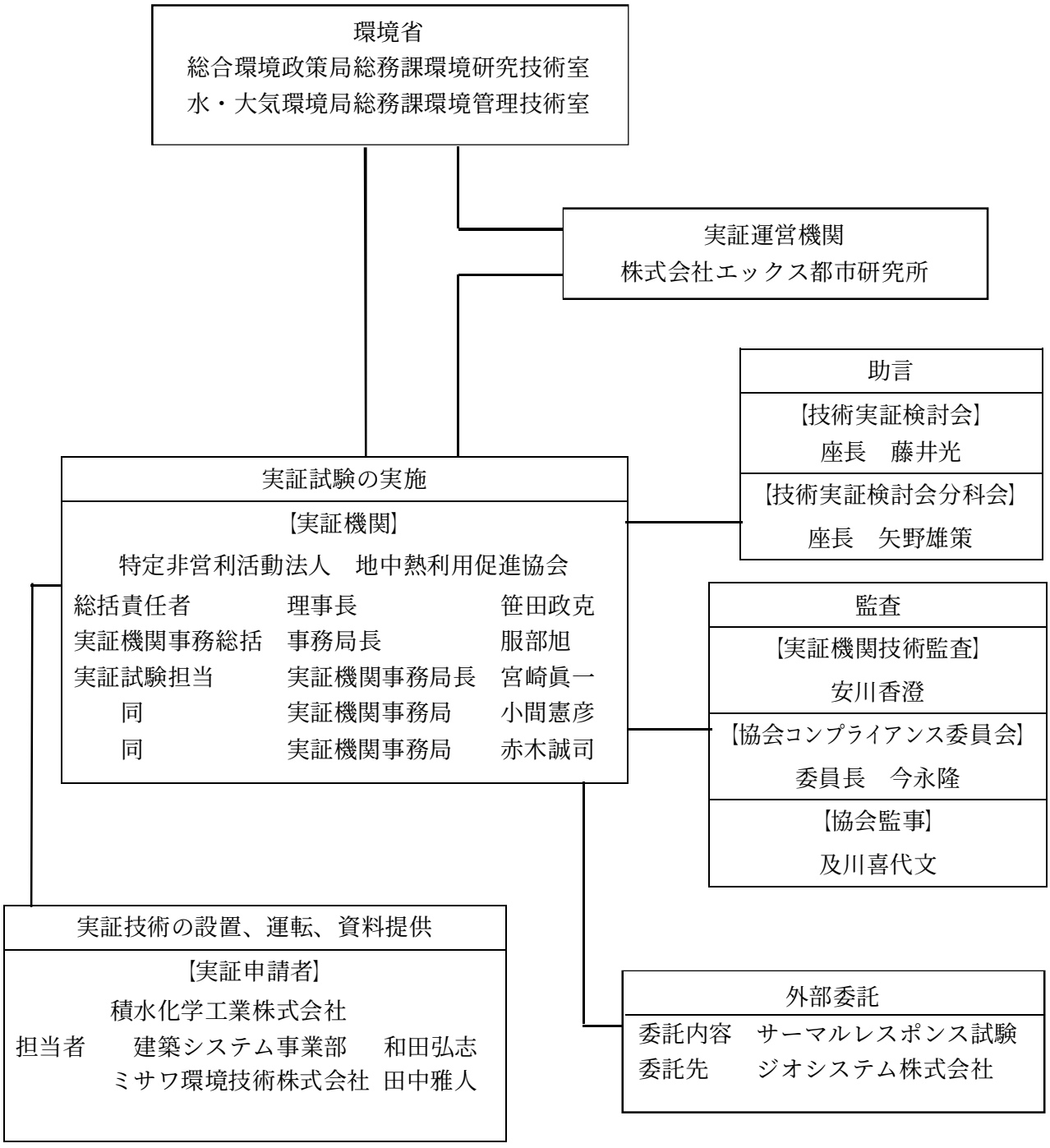


図 2-1　実証試験体制

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	積水化学工業株式会社 ミサワ環境技術株式会社	実証機関への必要な情報提供と協力	和田弘志 田中雅人
		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）の実証目的と実証項目

3.1 実証単位（C）の実証目的

実証単位（C）の実証目的は、以下の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」で熱源は「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。ただし本システムの実運転では、熱媒は水を使用する計画であり、本試験においても熱媒は水を使用したので、熱媒については特に実証すべき実証項目はない。※（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

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

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

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及び現況

・所在地：群馬県伊勢崎市境下渕名 54 番地　積水化学工業株式会社群馬工場内　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

本実証対象技術設備は、積水化学工業株式会社群馬工場内に設置されたもので、工場の本館事務所のコンピュータサーバー室の空調設備として使用している。ヒートポンプは、株式会社コロナ製の冷房能力 4kW の設備である。

4.2 地質状況

地中熱交換井のボーリング柱状図を図 4-3 に示す。

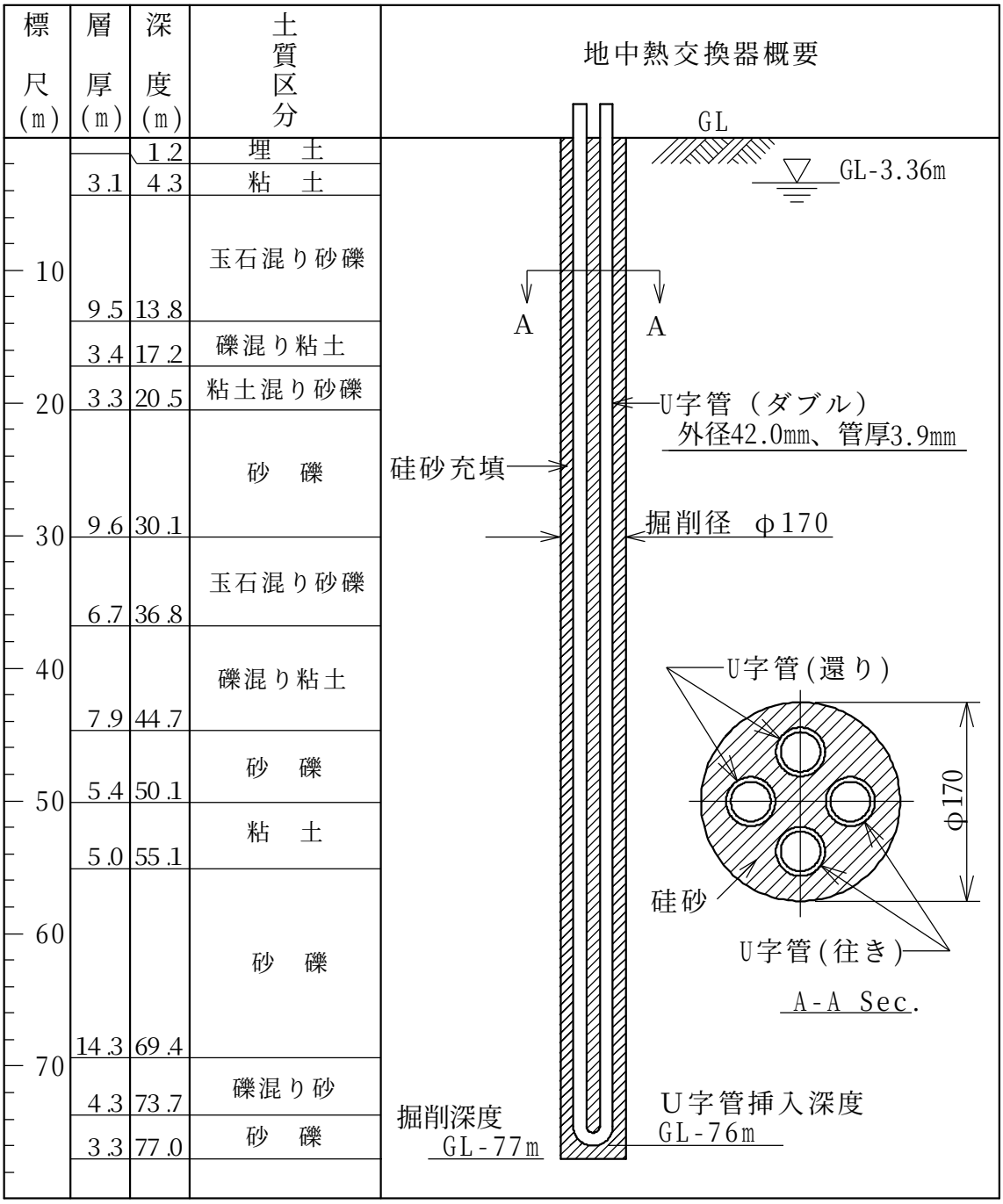


図 4-3　ボーリング柱状図及び地中熱交換井の概要図

4.3 地中熱交換器

この地中熱交換器は、ボーリング孔にU字管を挿入して間隙を珪砂で充填した一般的な構造のものである。

地中熱交換井の概要は、以下の通り。概要図を図 4-3 に示す。

・掘削径：φ170、掘削深度：GL-77m、U字管挿入深度：GL-76m
・充填材：2 号珪砂
・U字管：積水化学工業製地中熱エスロハイパーＡW、呼び径 30（外径 42mm）、ダブルU字管

本件申請者は、平成 24 年 7 月より本地中熱交換井を利用した地中熱ヒートポンプシステムによる空調を行っている。そのため、地中熱交換井内の温度分布が自然状態から変化しているため、その温度分布が安定な状態へ回復するよう、10 月 22 日から実証試験開始直前までの約 1.5 ヶ月間、空調の使用を停止した。

なお､地中熱交換井内には､地下温度モニターのため､深度 10m､50m､75m に白金抵抗体温度計(PT100)が設置されている。

4.4 熱媒循環部（U 字管）及び熱媒

熱媒循環部は、実証申請者である積水化学工業株式会社製の以下の表 4-1 に示すU字管を使用している。

また、平成 24 年 7 月の運転開始時当初は、U字管内の熱媒は濃度の高いブラインを使用していたが、その後の検討で、熱媒は、水又は低濃度のブラインの方が適切なことが分かった。

サーマルレスポンス試験の時点において、以後の実運転で使用する熱媒は、未定（検討中）であったが、今回のサーマルレスポンス試験では、水を熱媒として実施することとした。

表 4-1　U 字管（地中熱エスロハイパーAW）の仕様

製品名及び型式	地中熱エスロハイパーAW　呼び径 30
製造・販売事業者	積水化学工業株式会社
材　質	高密度ポリエチレン材料（PE100）
寸　法	パイプ外径　42.0㎜、厚さ　3.9㎜
設置方式	ダブルU字管
設置深度	76mまで挿入
製品の特長	・掘削口径を最大限活用し、30A（外径 42㎜）のダブルU字管を挿入して採熱効率を高めている。 ・高密度ポリエチレン樹脂（PE100）の使用により信頼性の高いU字管である。 ・先端のU継手はコンパクト設計のソケット融着を採用しており、信頼性の向上と掘削径の縮小を実現している。 ・横引き配管でエスロハイパーAW の豊富な継手群と融着接続が可能である。

表 4-2　U字管（地中熱エスロハイパーAW）の寸法・重量

呼び径	長さ L（m）	外径 D（mm）	厚さ t（mm）	A (参考)	B (参考)	e (参考)	f (参考)	巻外径 J(参考)	巻内径 I(参考)	巻幅 K(参考)	参考質量 (kg/巻)
25	60	34.0	3.4	161	81.5	40.6	7.0	1020	800	420	42
	110	34.0	3.4	161	81.5	40.6	7.0	1220	800	420	78
30	105	42.0	3.9	172	99.1	50.6	7.0	1250	700	450	100

本実証試験では呼び径 30 のU字管を使用した。

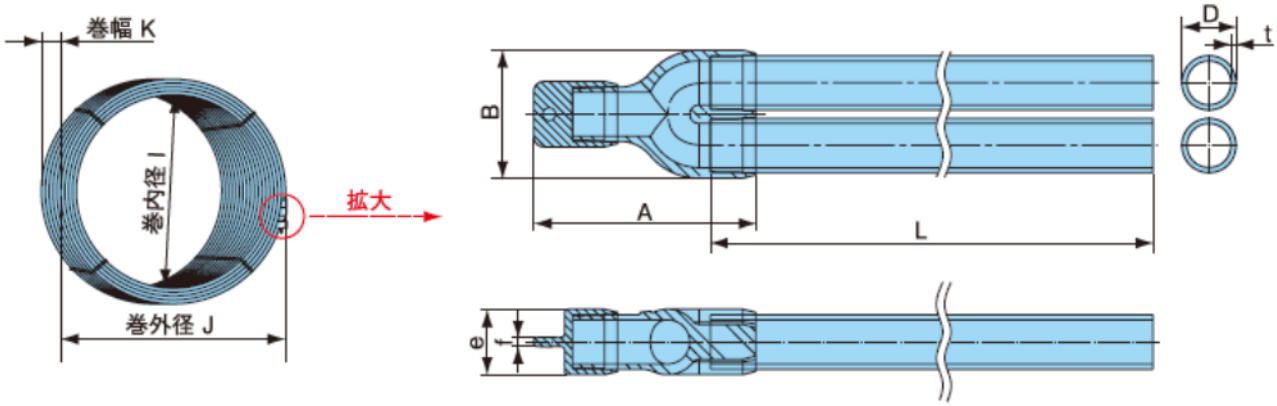


図 4-4　U字管先端部の形状

図 4-5　U字管の写真

4.5 地中熱利用ヒートポンプと空調対象の概要（参考）

本システムは 2012 年 7 月より積水化学工業群馬工場において空調システムの一部として使用されている。実証単位（C）の実証試験とは直接関係しないが、参考のため本地中熱交換井に接続している地中熱利用ヒートポンプの概要を表 4-3 に、空調対象の部屋の概要を表 4-4 に示す。

表 4-3　地中熱ヒートポンプの概要

製品名及び型式名	家庭用地中熱ヒートポンプエアコン GeoSIS　GTS-C4000
製造・販売事業者	株式会社コロナ
定格能力	暖房：5.0kW、冷房：4.0kW
標準消費電力	暖房：1,389W、冷房：1,000W
寸　法	高さ 533×780×奥行 278mm
方　式	2 次側直膨方式
用　途	冷暖房

表 4-4　空調対象の部屋の概要

空調対象の部屋	本館事務所のコンピュータサーバ室
部屋の広さ	約 40m^2
特徴	年間を通じて冷房が主体。暖房期間は短い。

4.6 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申請した内容であり、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		積水化学工業（株）群馬工場における地中熱交換器
製造(販売)企業名		積水化学工業株式会社
連絡先	TEL／FAX	TEL：03-5521-0748　　FAX：03-5521-0557
	ウェブサイトアドレス	http://www.sekisui.co.jp/
	E-mail	eslon-times@sekisui.com
製造(販売)企業名		ミサワ環境技術株式会社
連絡先	TEL／FAX	TEL：0824-66-2281　　FAX：0824-66-2975
	ウェブサイトアドレス	http://www.ecomisawa.com
	E-mail	info@ecomisawa.com
設置条件		・ボーリング機材の仮設ヤード（10m×20m）が確保できれば、場所を選ばずどこでも設置できます。 ・地中熱交換器の設置間隔は、通常 5m 以上が必要です。
メンテナンスの必要性･コスト耐候性･製品寿命等		・地中熱交換器や横引き送水管の地中埋設部は､継手も含めて全て高密度ポリエチレンを使用しており､メンテナンスフリーです。
施工性		・先端の U 継手はコンパクト設計のソケット融着を採用しており、信頼性向上と掘削径縮小を同時に実現しています。 ・横引き配管でエスロハイパーAW の豊富な継手群と融着接続が可能です。
コスト概算		イニシャルコスト

機　　器	数量	金額
掘削費 L=77m	1 式	1,200,000
ダブル U チューブ	1 式	310,000
合　　計		1,510,000

○ その他実証申請者または開発者からの情報

本施設では、掘削口径を最大限活用して 30A(外径 42mm)ダブル U チューブを挿入し採熱効率を高めています。
群馬工場は、U チューブを始め、横引き配管や継手でも豊富な品揃えを誇るエスロハイパーAW の生産工場であり、地中熱利用システム施設だけでなく、管材製品の製造工程見学が可能です。

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）の結果

地中熱交換部全体の実証は、サーマルレスポンス試験（TRT）により行った。

(1)実施日程

サーマルレスポンス試験は平成 24 年 12 月 8 日～11 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	平成24年12月									
		8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
装置設置・準備	0.5日	▬									
非加熱循環	0.1日	▬									
加熱循環	3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（P28、参考文献 2)）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）※及び参考文献 3)(P28 参照)に準拠する方法で行った。

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

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U字管直径を考慮して30L/min（１本のU字管当たり15L/min）を目安とする。
熱交換器の仕様は、一般的なボアホール熱交換器であるため、加熱時間は３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、地下水流動が速い可能性を考慮して比較的大熱量の50～60W/m、全孔で4kWとした。

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」と言う）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。

⑥ 加熱終了後に、機器を撤収する。

⑦解析はケルビンの線源理論で行う。

(3)測定項目及び計測機器

サーマルレスポンス試験の計測機器は次のものを使用した。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。

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	±(0.3+0.005×｜t｜)
熱交換井内の熱媒温度	測温抵抗体	同上
熱媒流量	電磁流量計	±2.0%

サーマルレスポンス試験模式図及び試験装置の概要を図 5-1 に示す。なお、温度計、流量計、電力計、加熱用電気ヒーターの仕様等の詳細は、添付資料１p.32 に示す。

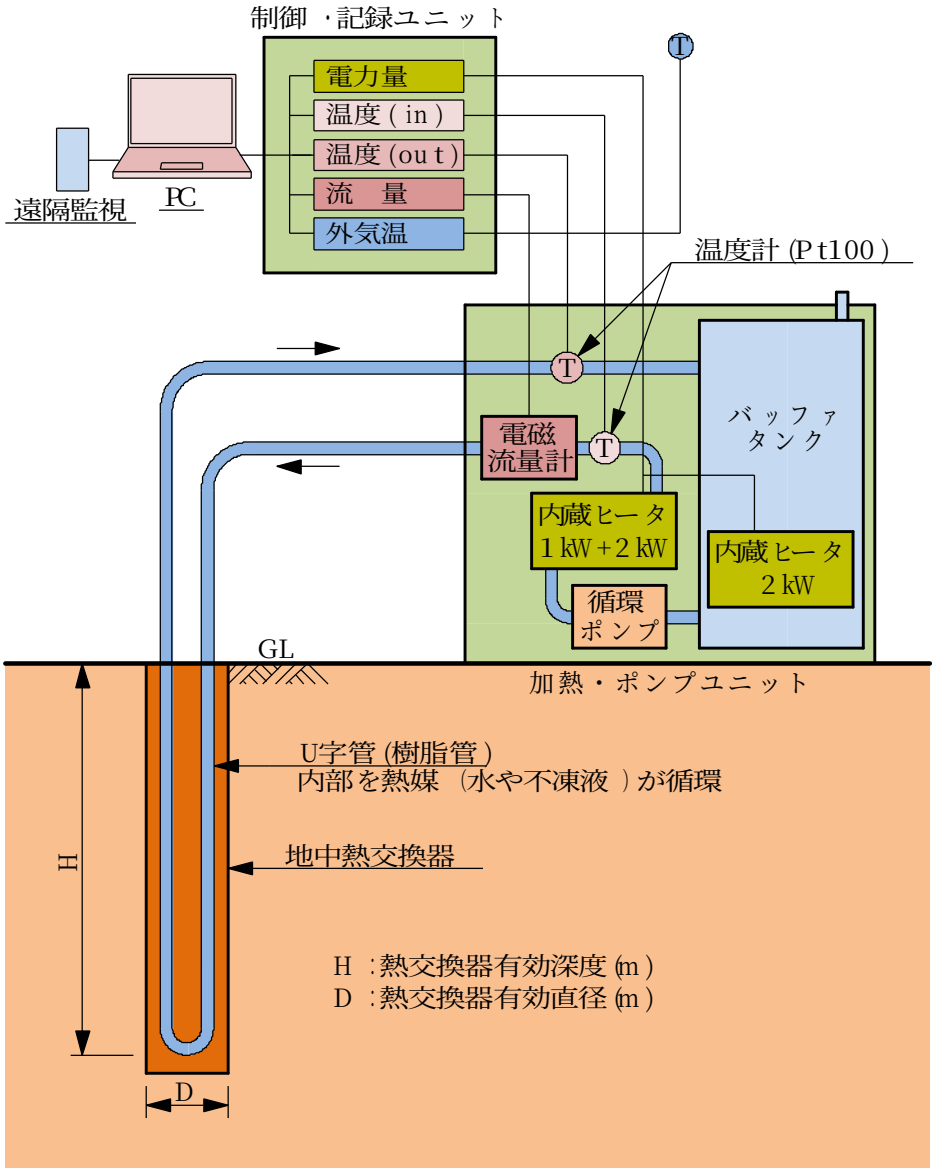


図 5-1 サーマルレスポンス試験模式図

(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。

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。

ρ：熱媒の比熱[J/(g・K)]
C：熱媒の比重[g/cm^3]

(5)試験状況写真

サーマルレスポンス試験の実施状況を写真 5-1~4 に示す。

写真 5-1　サーマルレスポンス試験を実施した積水化学工業群馬工場事務所遠景。事務所脇の車が停車している付近で実施した。

写真 5-2　ボアホール頭部のダブルU字管の取出し状況

写真 5-3　ダブルU字管や配管と試験装置の保温前の接続状況

写真 5-4　配管の保温後の接続状況、試験装置の制御装置は奥の方に設置している。

(6) 測定結果

U字管内の初期温度は 11 月 26 日に測定した。その結果を図 5-2 に示す。GL-5m に最高値があり、それ以深は深くなるにつれて徐々に温度は低下する傾向が見られる。

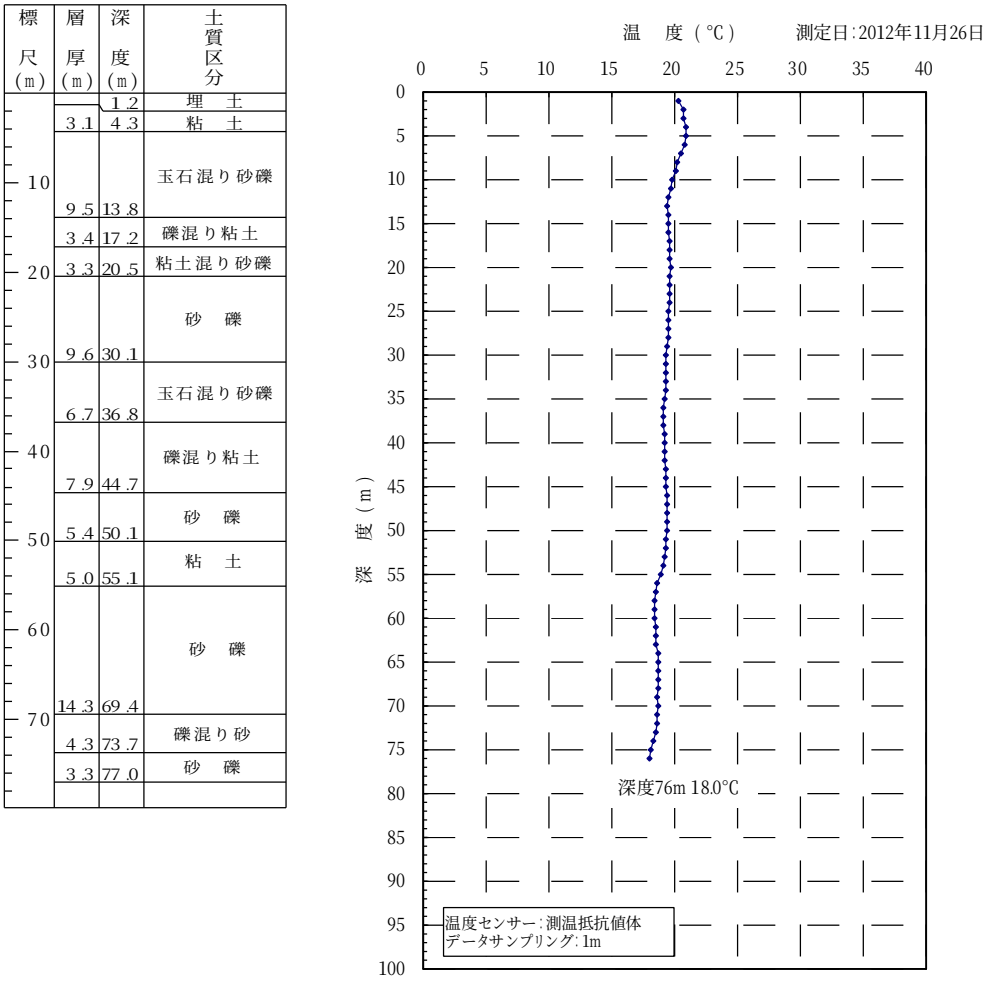


図 5-2　U字管内初期温度測定結果

サーマルレスポンス試験の試験時間の実績を第5-3表に示す。

表5-3　TRT試験実績表

坑名	月　日	時刻	イベント	非加熱時間 (h)	加熱時間 (h)	加熱量 (kW)
熱交換井	12月　8日	11:23	循環開始			
	12月　8日	13:11	加熱開始	1.8		平均
	12月11日	14:05	加熱・循環停止		72.9	3.56

サーマルレスポンス試験による温度、流量、加熱量等の測定結果を図 5-3 に示す。

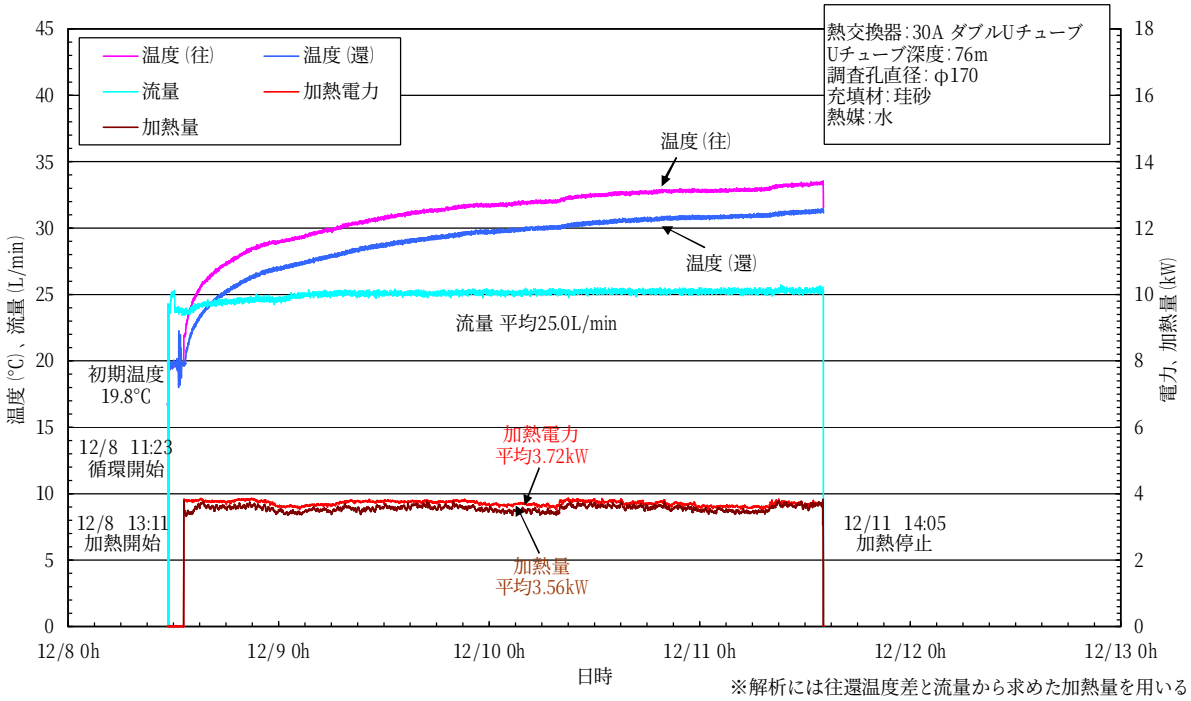


図 5-3　サーマルレスポンス試験測定結果

前述の線源理論に基づきデータを解析し、地盤の熱伝導率、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、珪砂によって構成されている。ここではボアホール直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礫や粘土などで構成されている。このため、ここでは地盤の密度、比熱は表5-4の砂＋粘土の下記の値を使用した。

Q：平均加熱量　3,560[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　76 [m]　（測定値）
r：地中熱交換井有効半径　0.085[m]（ボアホール径の平均φ170mm）
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　19.8[℃]　（測定値）

表5-4　地中熱交換井の土質と物性値

土質	密度 [kg/m^3]	比熱 [J/(kg･K)]	熱伝導率 [W/(m･K)]	熱拡散率 [m^2/s]	備考（含水率）
砂＋粘土	1,960	1,200	2.1	0.93×10^{-6}	21.6%

空気調和・衛生工学便覧他より

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、P21の③式より熱抵抗Rが求められる。

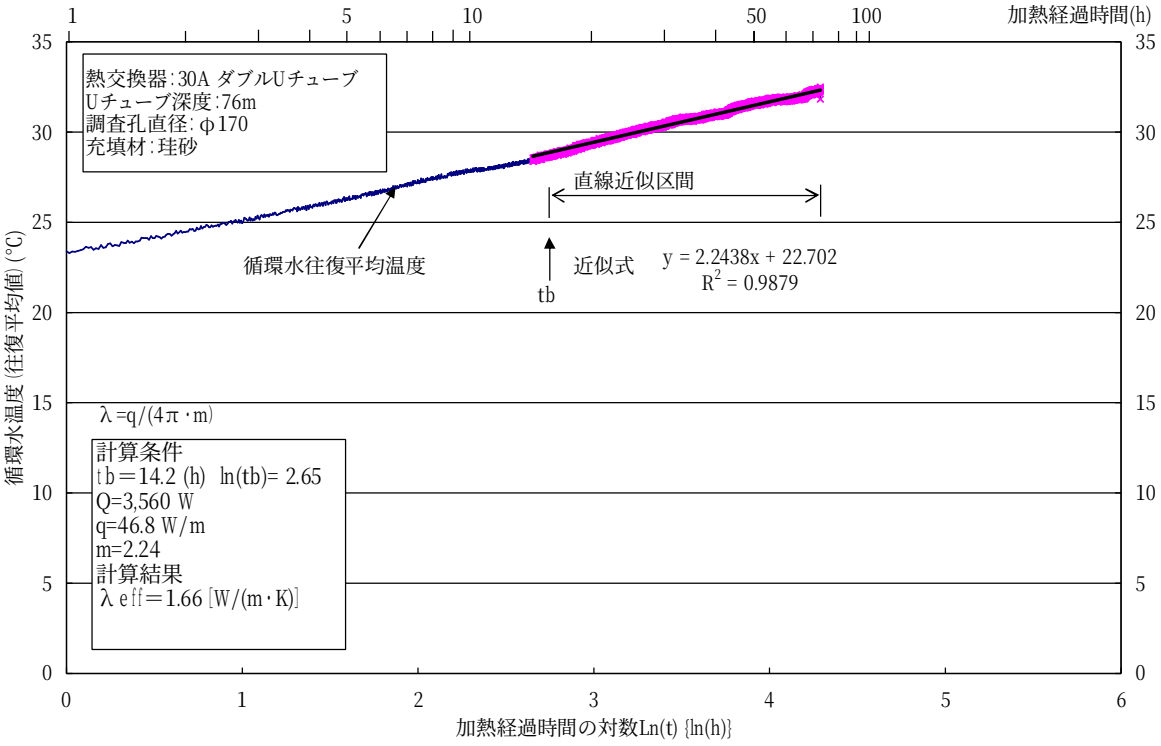


図 5-4　地盤の熱伝導率の解析結果

このように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有効熱伝導率は1.66 [W/(m･K)]、熱抵抗は0.073[K/(W/m)]であった。

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	0.073[K/(W/m)]	坑径 170㎜、ダブルU字管（外径 42㎜）、U字管挿入深度 GL-76m、硅砂充填
b. 土壌部分の熱伝導率	1.66 [W/(m･K)]	

5.2 熱媒循環部及び熱媒の実証結果

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 5-6、5-7 に示す。

表 5-6　熱媒循環部（U字管）の特性（既存資料より）

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	耐薬品性：表 5-7 参照			
e. 耐圧性	●内圧クリープ試験 以下の試験において割れ、破損その他の欠点がないこと。			
	試験温度	20℃	80℃	
	試験時間	100 時間	165 時間	1000 時間
	試験圧力	2.48MPa (25.3kgf/cm2)	1.10MPa (11.2kgf/cm2)	1.00MPa (10.2kgf/cm2)
	● 耐圧試験 適切な方法で内部に常温の水を 2.5MPa(25.5kgf/cm2)の圧力を加えてそのまま 2 分間保持し、割れ、破損その他の欠点がないこと。			

表 5-7 エスロハイパーシリーズの耐薬品性（既存資料より）

薬品名（%）	温度(℃)		薬品名（%）	温度（℃）		薬品名（%）	温度（℃）	
	20	60		20	60		20	60
酸及び酸性薬品			塩類			有機溶剤		
塩酸 35	S	S	塩化第二鉄	S	S	アセトアルデヒド	S	L
オレイン酸	S	S	塩化バリウム	S	S	アセトン	L	L
蟻酸＜80%	S	S	過酸化水素 30%	S	S	アニリン	S	L
クロム酸 50%	S	L	過酸化水素 90%	S	NS	エタノール 40%	S	L
酢酸＜10%	S	S	過マンガン酸カリ	S	S	エチルエーテル	L	―
シュウ酸	S	S	重クロム酸カリ	S	S	グリセリン	S	S

・摘要　S：無圧下で使用できる。L：多少浸食される。NS：使用できない。

・積水化学工業株式会社「水道配水用ポリエチレン管（耐震管）エスロハイパーシリーズ技術資料」より

熱媒は、運転開始当初使用していたのはブラインであるが、今後の実運転では、水を主に使用することを検討中である。このため、サーマルレスポンス試験の熱媒は、水を使用した。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

本実証対象技術設備は、形状、構造などが、一般的なものであり、この度、環境技術実証事業において、初めて実証し、その実証結果を示したことは、今後の利用等に意義あるものである。

(2) 試験結果の数値について

本サーマルレスポンス試験により求められた土壌部分の熱伝導率は、礫や粘土等の堆積物からなる土壌の一般的な値と同等である。また、地中熱交換井の熱抵抗値は、一般的なダブルU字管の熱抵抗値と同程度である。

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が現地の確認を行って、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、解析は実証試験担当者が行い、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 10 月 19 日 （現地調査）	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 12 月 8 日 （サーマルレスポンス試験）	—	実証試験担当者	小間憲彦

(4) 品質管理及び監査の内容

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をした。	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、その結果は品質管理責任者と実証試験担当者が確認を行った。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す。引用資料は本章末に示す。

●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
積水化学工業株式会社群馬工場における
サーマルレスポンス試験
報告書

平成２５年１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群馬県伊勢崎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、積水化学工業株式会社ならびにミサワ環境技術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 …… 2
２．サーマル・レスポンス・テスト（TRT）概要 …… 3
３．調査結果 …… 6
３－１　初期温度測定 …… 6
３－２　機器の設置 …… 6
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
５．まとめ …… 12

参考文献

添付資料

サーマル・レスポンス・テストデータ（含む熱電対データ）　　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、積水化学工業株式会社群馬工場における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

積水化学工業株式会社　群馬工場内

第１図　調査位置図

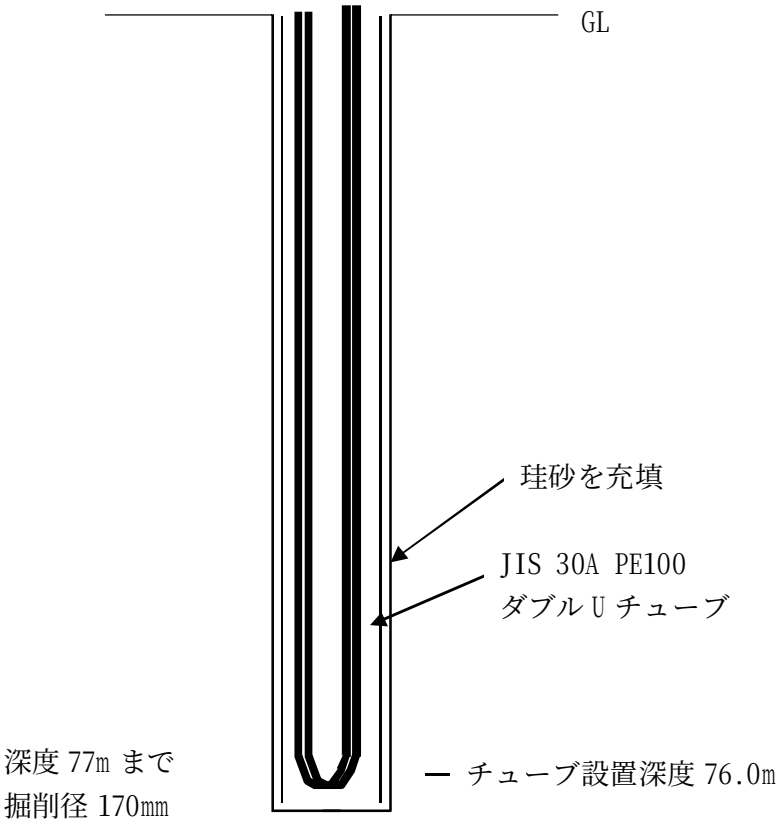
１－３　調査名称

平成２４年度環境技術実証事業積水化学工業株式会社群馬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

地中熱交換井のTRT

地中熱交換井の仕様の概略は第２図の通り。



第２図　地中熱交換井の仕様概略

1－5　調査工程

現地調査　平成24年12月８日～16日

第１表　TRT実施工程

項　　目	日数	12/8　9　10　11　12　13　14　15　16
TRT		
装置設置・準備	0.5日	▬
非加熱循環	0.1日	▬
加熱循環	３日	▬▬▬▬▬
撤収	0.5日	▬

２．サーマル・レスポンス・テスト（TRT）概要

TRTは、地中熱交換井に挿入したポリエチレン製Uチューブ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。

⑦ Uチューブ内の温度分布を測温抵抗体で深度1m毎に測定する。

⑧ TRT装置をUチューブに接続し、Uチューブ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チューブ内に循環させる。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。

⑨ 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。

⑩ 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Uチューブ直径を考慮して30L/min（Uチューブ当たり15L/min）を目安とする。
熱交換器の仕様は、一般的なボアホール熱交換器であるため、加熱時間は３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、地下水流動が速い可能性を考慮して比較的大熱量の50～60W/m、全孔で4kWとした。

⑪ 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。

⑫ 加熱終了後に、機器を撤収する。

⑬ 解析は線源理論で行う。

写真－１　制御・記録ユニット、加熱・ポンプユニット装置写真

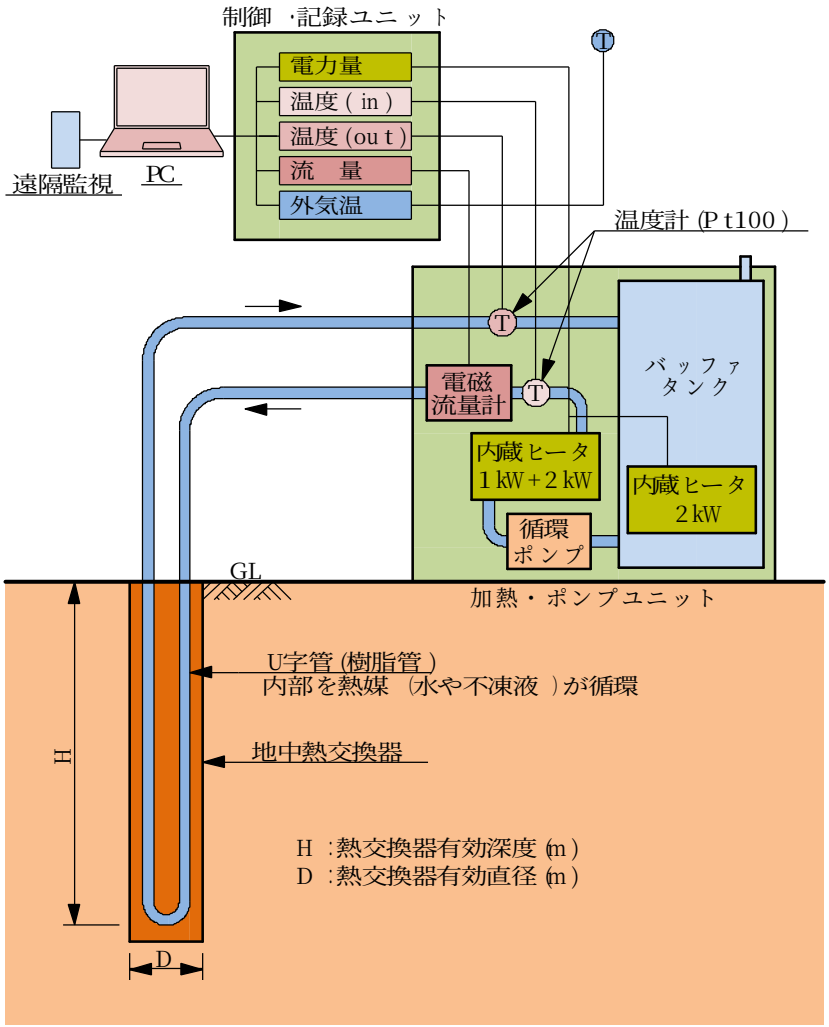
第２表　TRT 装置の諸元

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25kg)

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



第３図　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.）

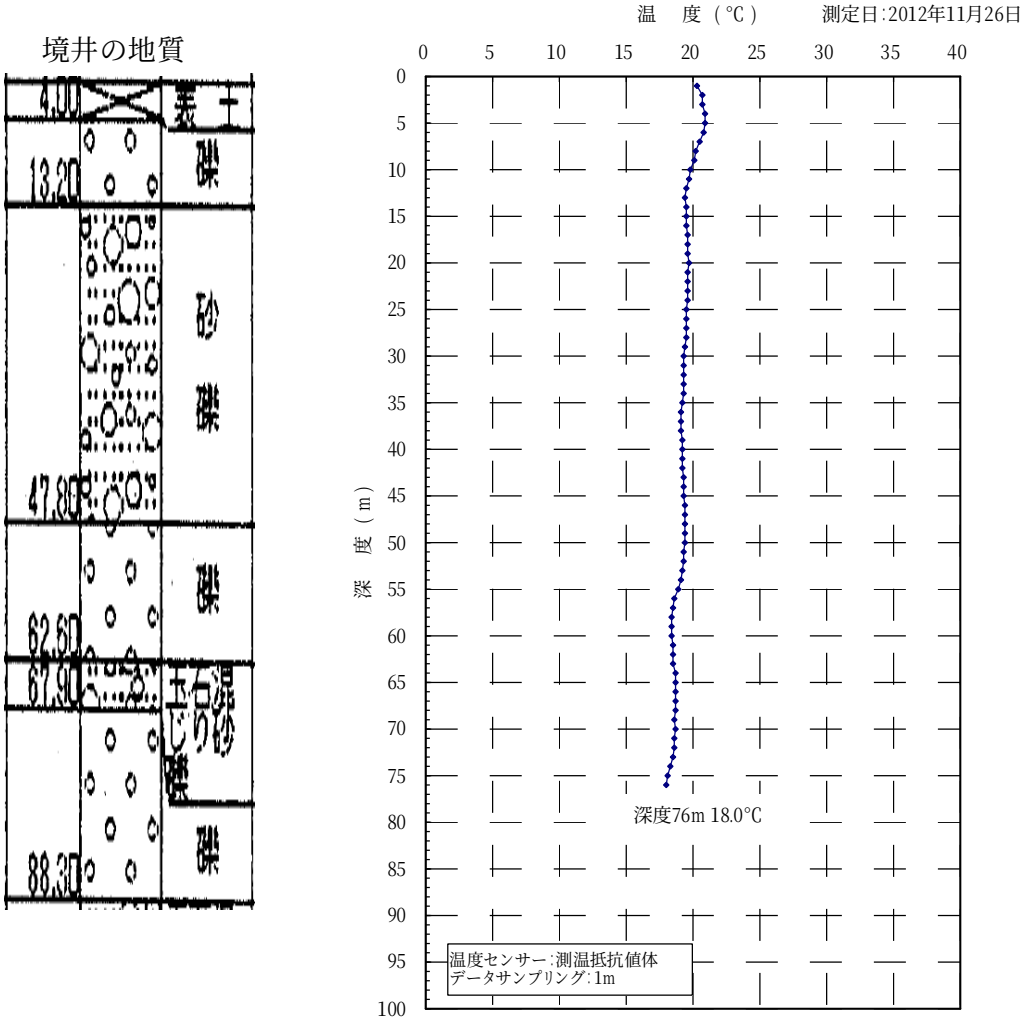
検定は、メーカーによる検定を2009年２月に実施済み。

３．調査結果

３－１　初期温度測定

Uチューブ内の温度を測定した結果を第４図に示す。

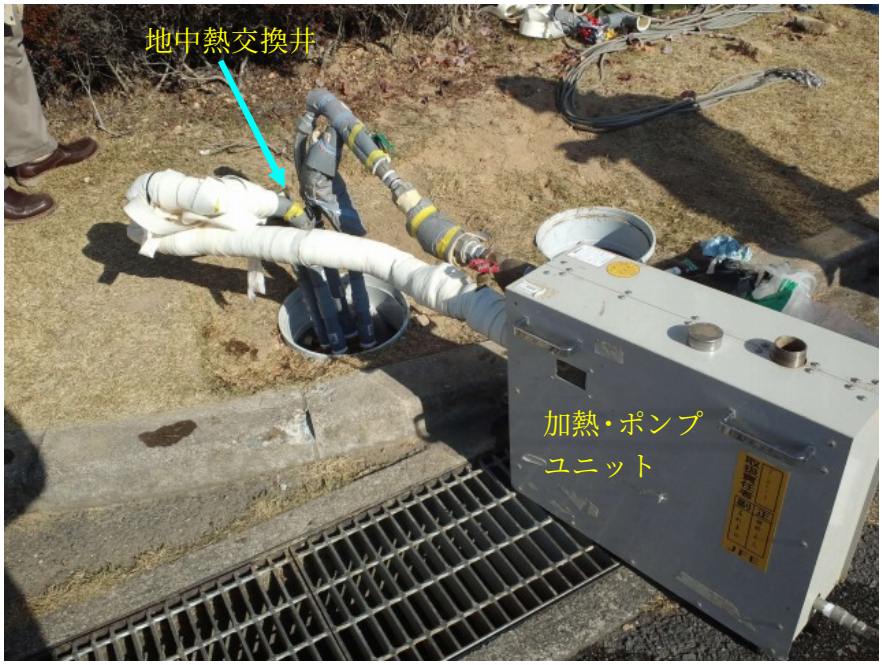
深度5mに最高値があり、それ以深は、深くなるにつれて徐々に温度が低下する傾向が見られる。深度12～53m、57～70m付近の温度はほぼ等温である。このような等温領域では地下水が流動している可能性がある。



第４図　Uチューブ内温度測定結果

３－２　機器の設置

地中熱交換井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チューブ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・記録ユニットはブルーシートで覆い風雨の影響を受けないようにした。また、加熱・ポンプユニットからUチューブまでの配管には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－２　TRT装置設置状況

写真－３　TRT測定状況

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

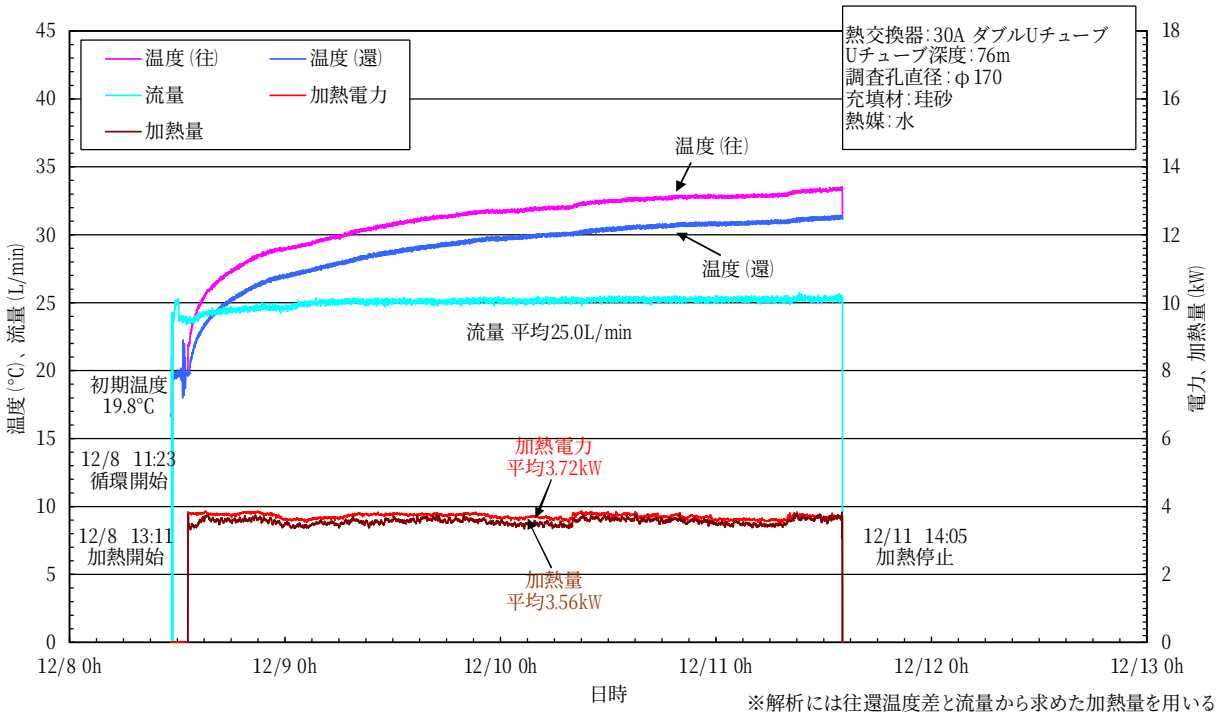
坑名	月　日	時刻	イベント	非加熱時間 (h)	加熱時間 (h)	加熱量 (kW)
熱交換井	12月　8日	11:23	循環開始			
	12月　8日	13:11	加熱開始	1.8		平均
	12月11日	14:05	加熱・循環停止		72.9	3.56

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チューブ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。

電気ヒーターによる加熱によって、循環水温度は滑らかに上昇した。



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。

（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チューブ、珪砂によって構成されている。ここではボアホール直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礫などで構成されている。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

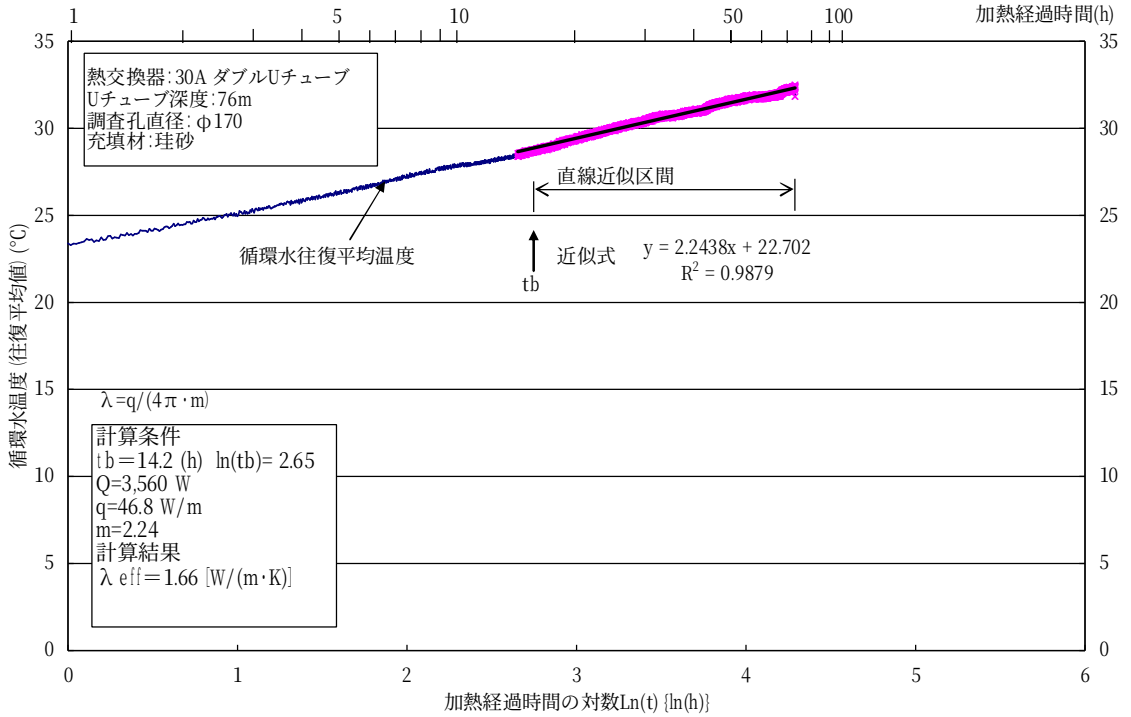
種類	密度 kg/m^3	比熱 J/(kgK)	熱伝導率 W/(mK)	熱拡散率 m^2/s	備考（含水率）
有機質土	1,340	1,700	0.7	0.30×10^{-6}	41.5%
ローム	1,230	2,800	0.9	0.26×10^{-6}	36.6%
粘土	1,700	1,800	1.2	0.39×10^{-6}	27.7%
砂	1,510	1,100	1.1	0.68×10^{-6}	7.9%
砂＋粘土	1,960	1,200	2.1	0.93×10^{-6}	21.6%
粘土質土	1,860	1,680	1.5	0.48×10^{-6}	
普通コンクリート	2,200	880	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　3,560[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　76 [m]　（測定値）
r：地中熱交換井有効半径　0.085[m]（ボアホール径の平均φ170mm）
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　19.8[℃]　（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。

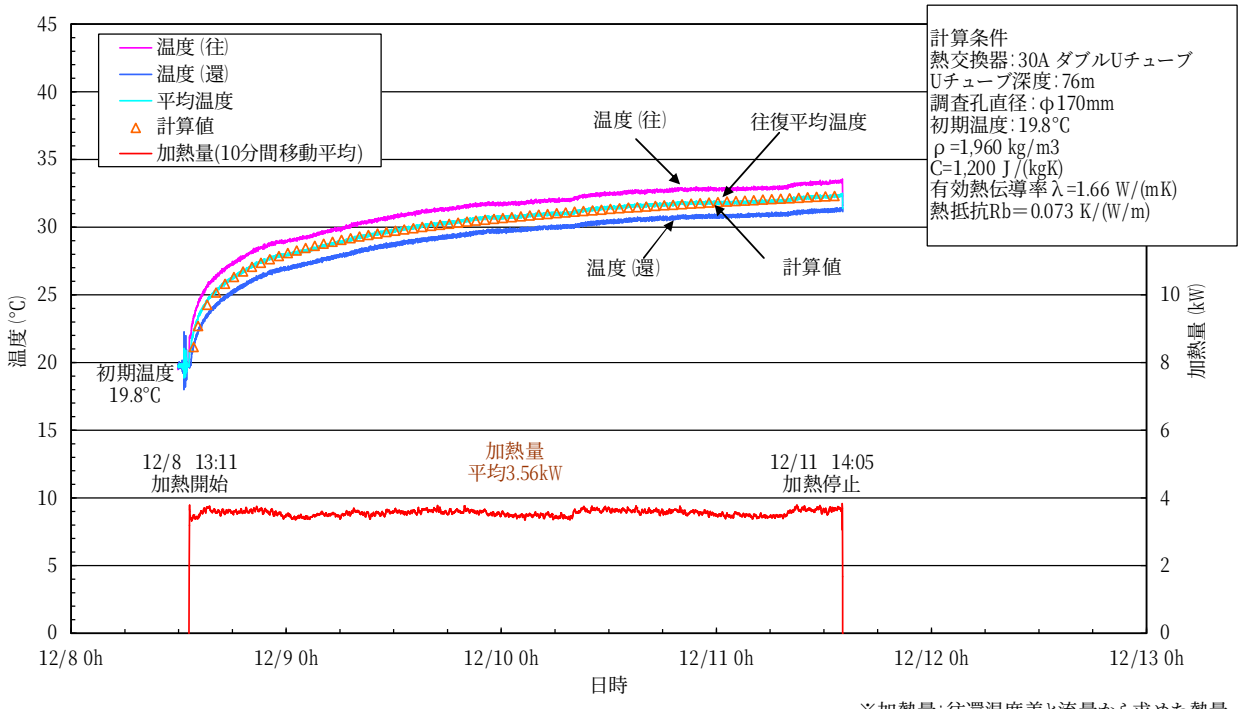
このように、加熱時の温度上昇データを用いて解析した有効熱伝導率は1.66W/(m･K)、熱抵抗は0.073K/(W/m)であった。この有効熱伝導率は、一般的な砂礫などの堆積物からなる土壌のものとしては、一般的な値と同程度である。一方、熱抵抗は、従来のダブルUチューブと比べ、若干高い値である。熱抵抗が高い原因としては、一般的には、Uチューブ内の流動が層流である場合や、充填材の不均一などが考えられる。本試験では、Uチューブ内の流動は、乱流になっていると考えられるので、Uチューブ内の熱伝達に問題はないと考えられる。このため、Uチューブ周囲の珪砂充填の不均質が、原因として考えられるが、確かではない。



第６図　有効熱伝導率の解析結果（加熱時データ）

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、全領域で良く合致している。



※加熱量:往還温度差と流量から求めた熱量

第７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、砂礫などとしては一般的な値であった。熱抵抗はダブルUチューブとしては一般的な値の範囲内である。

第３表　熱交換能力に関するパラメータ一覧

有効熱伝導率λ	1.66［W/(m･K)］　作図法
熱抵抗R	0.073［K/(W/m)］　作図法

以上

添付資料２　熱媒循環部　エスロハイパーＡＷ地中熱交換器　製品仕様書

SEKISUI

製品仕様書

エスロハイパーAW
地中熱交換器

～給水用高密度ポリエチレン管及び継手～

2011 年 6 月 1 日

積水化学工業株式会社

エスロハイパーAW 地中熱交換器 製品仕様書

（建築設備用ポリエチレンパイプシステム研究会規格:PWA005準拠品）

1. 適用範囲

この仕様書は、地中熱交換器に使用する給水用高密度ポリエチレン管及び継手について規定する。

2. 材料及び製造方法

管の材料は、エチレン重合体を主体とし、ISO TR 9080 に規定する外挿方法及び ISO TR 12162 に規定する分類表でPE100に分類される高密度ポリエチレンを用いて押出成形、射出成形または2次加工によって製造する。ここで2次加工とは、押出成形品及び射出成形品を加熱加工、加熱融着加工または切削加工する方法をいう。

3. 外観及び形状

3.1 外観

管の外観は、内外面が滑らかで、実用上有害な傷、割れ、ねじれ及びその他の欠点があってはならない。

3.2 形状

管の形状は、断面が実用的に正円でなければならない。

3.3 色

管の色調は、濃青色とする。

4. 寸法

管の寸法及び許容差は付図による。

5. 性能

管の性能は6. 試験方法によって試験し、表-1 の規定に適合すること。

表-1. 性能

項目		性能	試験方法
引張特性	引張降伏強さ	20.0MPa {204 kgf/cm²} 以上	6.4
	引張破断伸び	350%以上	
耐圧性		割れ、破損その他の欠点がないこと	6.5
破壊水圧強さ		破壊水圧4.0MPa以上	6.6
熱安定性		酸化誘導時間20分以上	6.7
加熱伸縮性		±3%以内	6.8
浸出性	濁度	0.2度以下	6.9
	色度	0.5度以下	
	過マンガン酸カリウム消費量	1.0mg/ℓ 以下	
	残留塩素の減量	0.7mg/ℓ 以下	
	臭気	異常がないこと	
	味	異常がないこと	
内圧クリープ性		割れ、破損その他の欠点がないこと	6.10
耐塩素水性		水泡発生がないこと	6.11
耐環境応力き裂性		き裂発生がないこと	6.12
耐候性	外観	き裂発生がないこと	6.13
	引張破断伸び	350%以上	
	熱安定性	酸化誘導時間10分以上	
低速き裂進展性		割れ、破損その他の欠点がないこと	6.14
融着部相溶性		割れ、破損その他の欠点がないこと	6.15

6. 試験方法

6.1 試験片

管の試験に用いる試験片の作製方法及び状態調整は、表-2 による。

表-2. 試験片

試験項目	試験片				
	形状	作製方法	個数	状態調整	
				温度(℃)	時間(h)
外観及び形状	直管	—	5	常温	1以上
寸法	直管	—	5	常温	1以上
引張試験	図-1	供試管から図-1に示す形状に切り取る。	5	23±2	2以上
耐圧試験	管状	供試管から長さ1000㎜以上に切り取る。	1	常温	1以上
破壊水圧試験	管状	供試管に供試継手をEF接合したものから継手を中心に長さ1000㎜以上に切り取る。	1	常温	1以上
熱安定性試験	—	供試管から15±5㎎の試験片を切り取る。	5	—	—
加熱伸縮試験	管状	供試管から長さ200±20㎜に切り取る。	1	23±2	2以上
浸出試験	管状	供試管から長さ500㎜に切り取る。	1	—	—
内圧クリープ試験	管状	供試管から管外径の3倍以上の長さの試験片を切り取る。	3	80±1 20±1	1以上
塩素水試験	管状	供試管から短冊状試験片を切り取る。	3	—	—
環境応力き裂試験	図-2	供試管から図-2に示す形状に切り取る。	10	23±2	1以上
耐候性試験	図-1	暴露試験後、引張試験は供試管から図-1に示す形状に切り取る。熱安定性試験は、表-2の熱安定性試験と同型の試験片を切り取る。	3	23±2	1以上
低速き裂進展試験	図-3	供試管から管外径の3倍以上の長さの試験片を切り取り、図-3に示すノッチをほぼ中央に4方向等間隔に入れる。	3	80±1	1以上
融着部相溶性試験	管状	供試管より融着部を含む1000㎜以上の試験片を切り取る。	3	80±1	1以上

6.2 外観及び形状

管の外観及び形状は、目視によって調べる。

6.3 寸法

管の寸法は、JIS B 7502 に規定するマイクロメータ、JIS B 8507 に規定するノギス、JIS B 7512 に規定する鋼製巻尺またはこれらと同等以上の精度を有するものを用いて測定する。

6.4 引張試験

管の引張試験は、供試管から図-1 に示す形状・寸法の試験片を管の内側から打ち抜いて作り、23±2℃で2時間以上状態調節後、JIS K 7161 に準じて行う。この場合、試験速度は 25±2.5 mm/min.で行う。なお、厚さは 10±1 mmとなるまで加工してもよい。

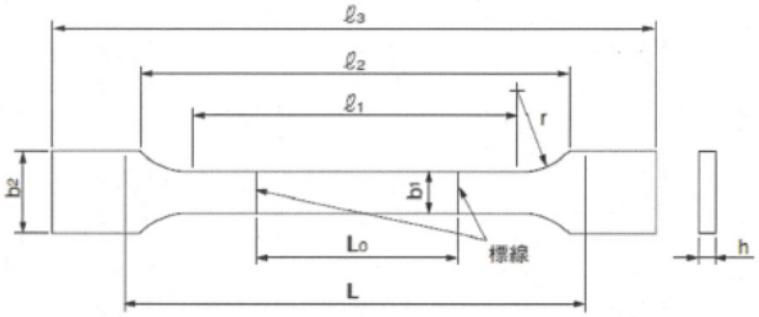


図-1. 引張り試験片形状・寸法

単位：mm

ℓ_1	ℓ_2	ℓ_3	r	b_1	b_2	h	L_0	L
幅の狭い平行部分の長さ	幅の広い平行部分の間隔	全長	半径	狭い平行部分の幅	端部の幅	厚さ	標線間の距離	つかみ具間の初めの間隔
60±0.5	115±0.5	≧150	≧60	10.0±0.5	20.0±0.5	管厚または 10±1	50.0±0.5	115^{+5}_{-0}

6.5 耐圧試験

管の耐圧試験は、表-2 に示す試験片を作製し、適切な方法で内部に常温の水で 2.5MPa {25.5kgf/cm²}の圧力を加えてそのまま2分間保持する。

6.6 破壊水圧試験

管の破壊水圧試験は、表-2 に示す試験片を作製し、適切な方法で内部に常温の水で、管が破壊するまで一定速度で加圧し，最大圧力を測定する。

6.7 熱安定性試験

管の熱安定性試験は、表-2 に示す試験片を作製し、PWA005 附属書Bに準拠して行う。

6.8 加熱伸縮試験

管の加熱伸縮試験は、表-2 に示す試験片を作製し、管表面の中央部に 100 mmの間隔で2つの標線を記入し、23±2℃で2時間以上状態調整後に標線長さを測定し、110±2℃のポリエチレングリコール内に30分間浸せきする。その後試験片を取り出し、23±2℃の空気中で2時間以上自然冷却させて標線間の長さを測定し、長さ変化率を算出する。

6.9 浸出試験

管の浸出試験は PWA005 附属書Cに準拠して行う。

6.10 内圧クリープ試験

管の内圧クリープ試験は、表-2 に示す試験片を作製し、水を満たした後、試験温度で1時間以上状態調整を行う。その後、表-3 に示す圧力を加え、そのままの温度及び圧力で所定時間保持する。

なお、80℃における試験圧力 1.10MPa の試験の供試管が165時間以内に延性破壊した場合は、その試験を無効とし再試験することができる。

表-3. 内圧クリープ試験の試験温度、試験時間及び試験圧力

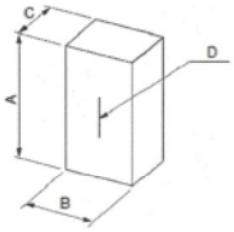
試験温度	20℃	80℃	
試験時間	100時間	165時間	1000 時間
試験圧力	2.48MPa {25.3kgf/cm²}	1.10MPa {11.2kgf/cm²}	1.00MPa {10.2kgf/cm²}

6.11 塩素水試験

管の塩素水試験は、表-2 に示す試験片を作製し、PWA005 附属書 D によって行う。

6.12 環境応力き裂試験

管の環境応力き裂試験は、表-2 に示す試験片を作製し、JIS K 6922-2 の附属書4. 7（定ひずみ環境応力き裂試験）による。この場合、供試管から切り出した円弧状のもの、板状のものまたは供試管を切り開いて加熱プレスした板状のものから図-2 に示す形状・寸法に切り取り、その外面側にノッチを入れたものを試験片とし、温度 50±1℃のノニル・フェニル・ポリオキシエチレン・エタノール 10mass%水溶液中に240時間浸せきする。



単位：mm

A	試験片の長さ	38.0±2.5
B	試験片の幅	13.0±0.8
C	試験片の厚さ	2.0+0.2 0
D	ノッチの深さ	0.30+0.10 0
	ノッチの長さ	19.1±0.1

図-2. 環境応力亀裂試験片の形状

6.13 耐候性試験

管の耐候性試験は、PWA005 附属書 E によって暴露し、次の試験を行う。

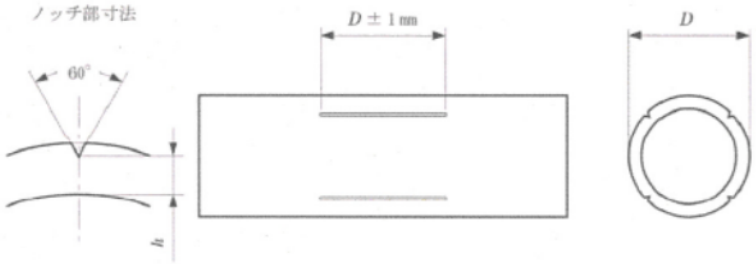
a）外　観　　外観は目視によって行う。

b）引張試験　　引張試験は 6.4 によって行い、引張破断伸びを求める。

c）熱安定性試験　熱安定性試験は 6.7 によって行い、酸化誘導時間を測定する。この場合、試験片は供試管の外面から切り取る。

6.14 低速き裂進展試験

管の低速き裂進展試験は、表-2 に示す試験片を作製し、水を満たした後、試験温度で1時間以上状態調整を行う。その後、0.92MPa {9.39kgf/cm²} の圧力を加え、80±1℃の熱水中にその圧力で165時間保持する。



単位 mm

呼び径	h	
	最小	最大
20	2.6	2.8
25	2.6	2.8
30	3.0	3.2
40	3.4	3.6
50	4.3	4.5
75	6.3	6.6

図-3. 低速き裂進展試験片の形状

6.15 融着部相溶試験

管の融着部相溶試験は、管を異なる材料の管または管継手と融着する場合、表-2 に示す試験片を作製し、6.10 内圧クリープ試験に規定する 80℃における試験圧力 1.10MPa{11.2kgf/cm2} の試験を行う。

7. 検査

管の検査は、呼び別に 6.4～6.15 の試験を行い5. 性能の規定に適合していることを確認する。当社は試験結果を記録し、注文者より要求がある場合は速やかに提出するものとする。なお、検査の試料の採取方法は、受渡当事者間の協定による。

7.1 形式検査

形式検査とは製品の品質が設計で示されたすべての特性を満足するかどうかを判定するための検査で、次による。

a) 外観及び形状検査
b) 寸法検査
c) 引張検査
d) 耐圧検査
e) 破壊水圧検査
f) 熱安定性検査
g) 加熱伸縮検査
h) 浸出検査
i) 内圧クリープ検査
j) 塩素水検査
k) 環境応力き裂検査
l) 耐候性検査
m) 低速き裂進展検査
n) 融着部相溶検査

7.2 受渡検査（立会検査）

受渡検査（立会検査）とは、既に形式検査に合格したものと同じ設計・製造に係わる製品の受渡しに際して必要と認められる特性が満足するものであるかどうかを判定するための検査で、次による。

a) 外観及び形状検査
b) 寸法検査
c) 引張検査

d）耐圧検査
e）破壊水圧検査

8. 試験結果の数値の表し方

試験の結果は、規定の数値より1桁下の位まで求め、JIS Z 8401 によって丸める。

9. 表示

管の外側には、容易に消えない方法で、最大間隔1m以内に次の事項を表示しなければならない。

a）)(の記号
b） 呼び径
c） 製造年月又はその略号
d） 製造業者名又はその略号

添付資料３　熱媒循環部　エスロハイパーシリーズ　技術資料

SEKISUI

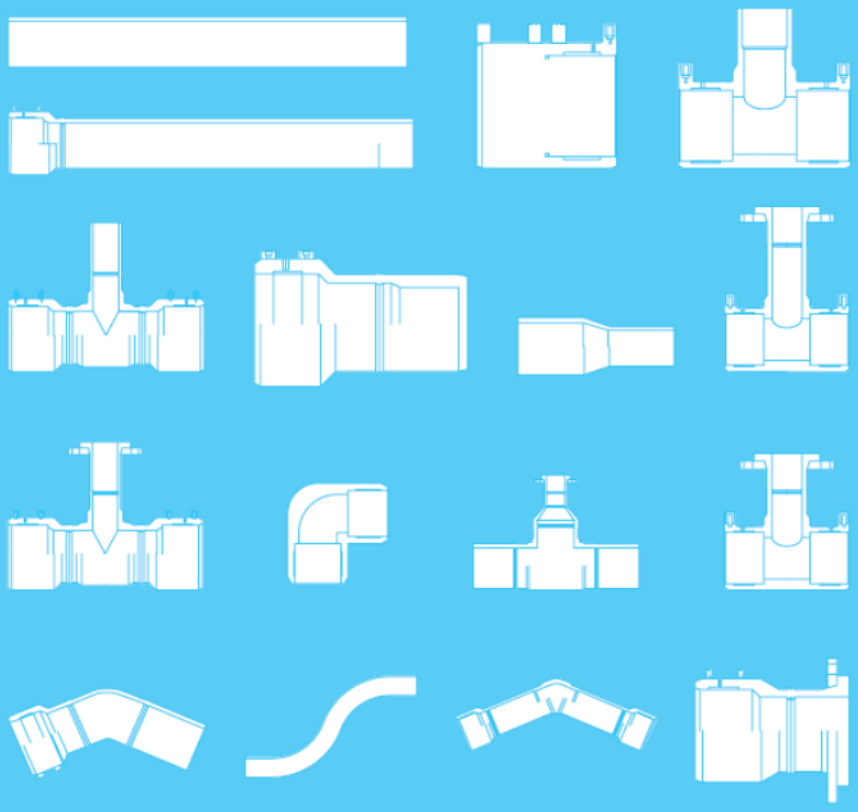
2012.11 改訂13版

水道配水用ポリエチレン管（耐震管）

エスロハイパーシリーズ

技術資料

【規格】JWWA K 144／145（PTC K 03／13）
PWA 001／002



積水化学工業株式会社

4. 性能評価

4-1 諸性能

4-1-1 基本物性

表4-1

試験名		試験方法	単位	物性値	備考
物理的性質	比重（密度）	JIS K 7112 '99	kg/m³	942～953	ISO 1183 '87
	吸水率	JIS K 7209 '00	%	0.03以下	ISO 62 '99
機械的性質	引張降伏強さ（引張降伏応力）	JIS K 7161 '94	MPa	20以上	ISO 527-1 '93
	破断点伸び（引張破壊呼びひずみ）		%	350以上	
	引張弾性率		MPa	900～1100	
	ポアソン比		—	0.46	
	曲げ強さ	JIS K 7171'94	MPa	24～25	ISO 178 '93
	曲げ弾性率		MPa	1000～1200	
	硬度（デュロメータ硬さ）	JIS K 7215 '86	HDD	67～68	ISO 868 '85
	衝撃強さ（シャルピー衝撃強度）	JIS K 7111 '96	kJ/m²	16～18	ISO 179 '96
熱及び電気的性質	線膨張係数	JIS K 7197 '91	10^{-5}/℃	11～13	ASTM D696
	比熱（比熱容量）	JIS K 7123 '87	kJ/kg・K	1.9～2.3	
	熱伝導率	ASTM C 177	W/m・K	0.46～0.50	
	融点	JIS K 7121 '87	℃	128～132	
	軟化温度（ビカット軟化温度）	JIS K 7206 '99	℃	125～127	
	脆化温度	JIS K 7216 '80	℃	−70以下	
	燃焼性	—	—	可燃性	
	体積固有抵抗	ASTM D 257	MΩ・cm	10^{9}以上	
	絶縁破壊強さ（絶縁破壊電圧）	ASTM D149	MV/m	17.3～23.6	
	誘電率	ASTM D150	—	2.30～2.35	

注：物性値は試験方法により異なります。

4-1-2　耐薬品性

配水用ポリエチレン管材料の主な耐薬品性を表4-2に示す。
（この表は、ISO/TR10358に基づいて作成したものである。）

摘要　S　：無圧下で使用出来る。　NS：使用出来ない。
　　L　：多少浸食される。　　－　：データ無し。

表4-2　配水用ポリエチレン管材料の主な耐薬品性

薬品名	温度℃		薬品名	温度℃		薬品名	温度℃	
	20	60		20	60		20	60
酸及び酸性薬品			塩　類			有機溶剤		
塩　酸	S	S	塩化第二鉄	S	S	ホルマリン　40%	S	S
オレイン酸	S	S	塩化バリウム	S	S	メチルアルコール	S	S
蟻　酸　<80%	S	S	過酸化水素　30%	S	S	ガ　ス		
クロム酸　50%	S	L	”　90%	S	NS			
酢　酸　<10%	S	S	過マンガン酸カリ 20%	S	S	亜硫酸ガス（乾燥）	S	S
シュウ酸	S	S	重クロム酸カリ	S	S	一酸化炭素	S	S
硝　酸　<25%	S	S	炭酸カルシウム	S	S	塩素ガス	L	NS
”　50%	L	NS	硫　安	S	S	オゾン	L	NS
”　>50%	NS	NS	有機溶剤			天然ガス	S	－
乳　酸	S	S				二酸化炭素	S	S
氷酢酸	S	L	アセトアルデヒド	S	L	その他		
マレイン酸	S	S	アセトン	L	L			
硫　酸　<75%	S	S	アニリン	S	L	海　水	S	S
”　98%	S	NS	エタノール　40%	S	L	ガソリン	S	L
燐　酸　50%	S	S	エチルエーテル	L	－	写真現像液	S	S
アルカリ			グリセリン	S	S	尿　素	S	S
			クロロホルム	NS	NS			
アンモニア水溶液	S	S	四塩化炭素	L	NS			
苛性カリ　10%	S	S	トルエン	L	NS			
苛性ソーダ　40%	S	S	二硫化炭素	L	NS			
水酸化カルシウム	S	S	ベンゼン	L	L			

注.管に圧力または他の応力が加わった状態では、別の挙動を示すことがあるので、注意が必要である。
　ご使用に当たっては別途ご相談ください。