

4. ボーリング調査による地中情報の収集・整理

4.1 候補地の選定

(1) 候補地選定の考え方

本業務の主たる目的は、地中熱を活用した省エネ技術の開発および普及であり、地中熱利用の普及に資することを課題とし、検討および開発段階における地中熱利用の適地として、以下のポイントを整理した。

- ◇生活および経済の基盤となるエリアに位置すること
- ◇対象地域を代表する地質が分布すること
- ◇地下水の有無や流動特性など地下水環境の差異による影響を把握できること

検討の結果、下記の3地点で調査を行うこととした。

表 4.1 各調査地の特徴

業務地	沖縄県立博物館・美術館 会議室	沖縄コンベンションセンター 劇場棟-管理事務室	沖縄総合教育センター 産業技術センター 執務室	
スペース				
今年度業務遂行に関して	ボーリング作業	<ul style="list-style-type: none"> ○ スペースはやや広い ○ 掘削水の現場確保 可 ○ 泥水処理 △ 埋設物(汚水管等)があり注意が必要 ○ 騒音に対する養生 特になし 	<ul style="list-style-type: none"> ○ スペースは広い ○ 掘削水の現場確保 可 △ 埋設物注意(雨水管有り) ○ 騒音に対する養生 特になし 	
	熱物性試験	<ul style="list-style-type: none"> ○ 熱物性試験位置から、分電盤までの距離が約200mあり、仮設電気工事(200V)が難 △ パス等が通る校内道路があり、ケーブルブローカーが必要 △ 隣が公園で、不特定多数の人が出入するため物置(デラックやホップ置き場)の管理に注意が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> △ 200V用に電気を返還するためにスコットトランスが必要 ○ 仮設電気工事(200V)は可能、管理者と調整 ○ 仮設電気工事(200V)は可能、管理者と調整 ○ 総合教育センターの敷地内であるため、特定の人のみ出入するため物置の管理は容易 	
	熱需要概況	<ul style="list-style-type: none"> 【設置予定室: 1F会議室(71.6㎡、天井高さ2.75m) 利用者: 約5人~10人(間歇利用)】 ファンコイルユニット・単一ダクト併用方式 主に全館一括空調を行い、個室毎に外気を取り入る。熱需要を示すことは困難 	<ul style="list-style-type: none"> 【設置予定室: 1F 事務室(204.4㎡、天井高さ3.6m) 利用者: 約16人 (常時利用)】 △ ターボ冷凍機による劇場棟全体の一括空調。個別の部屋の熱需要を示すことは困難 	<ul style="list-style-type: none"> 【設置予定室: 1F 班長室(46.2㎡、天井高さ3.0m) 利用者: 約1~4人 (常時利用)】 ○ 空冷マルチパッケージエアコン方式 ○ 彼の部屋と同じ室外機を利用しているが、
導入予定居室				
	項目評価	△	△	△
次年度拡張計画に関して	<ul style="list-style-type: none"> △ 植栽スペースが限られているため、熱交換井の増設が難 × 建物壁の開孔が困難 	<ul style="list-style-type: none"> △ 熱交換井のスペースが観賞用の庭となっているため増設には、植栽を優先した取組み等が必要 × 	<ul style="list-style-type: none"> △ 建物の裏側にも適度なスペースがあつて、熱交換井の増設も可能 ○ 地中熱ヒートポンプ設置するための壁開孔設置 可 ○ ※産業教育棟1F全体への導入は検討することが可能か? ……大規模なシステムとなり設計に時間を要するため、次年度以降の取組みとなる。 	
	項目評価	×	△	○
調査の方針	<ul style="list-style-type: none"> ・次年度以降実証事業の見直しは厳しい。 ・今年度の調査のみ実施する。20m規模 	<ul style="list-style-type: none"> ・施設側は本事業についての理解がある。 ・次年度以降実証データが取りづらい。 ・今年度調査の進捗を見ながら、次年度の方策を決める。 	<ul style="list-style-type: none"> ・執務室を前提とした調査と実証事業が可能。 ・大規模な導入については、次年度検討する。 	
ボーリング調査詳細	<ul style="list-style-type: none"> 想定地質 掘削深度 地下水調査準 備考 	<ul style="list-style-type: none"> ・島尻泥岩 ・20m(地表から泥岩が分布した場合の最低深度) ・自然水位以下ストレーナー管挿入 ・地下水が確認されない場合は実施しない ・次年度の実証は行わない 	<ul style="list-style-type: none"> ・サンゴ礫混じり土、島尻泥岩 ・50m ・自然水位以下ストレーナー管挿入 ・1F事務室対象に実証を行う場合、10kwクラスのHPが想定され、50m×3本の採熱孔の増設が必要。計200mの採熱装置とする。 	<ul style="list-style-type: none"> ・島尻砂岩 ・20m(地表から砂岩が分布した場合の最低深度) ・自然水位以下ストレーナー管挿入 ・植物バイオ室で実証する場合、次年度20m×4本の採熱孔の増設、計100mの採熱装置とする
	項目評価	△	△	○

4.2 ボーリング結果と試験仕様

各調査地のボーリングから明らかとなった地盤状況及び原位置試験の仕様を示す。

(1) 沖縄コンベンションセンター

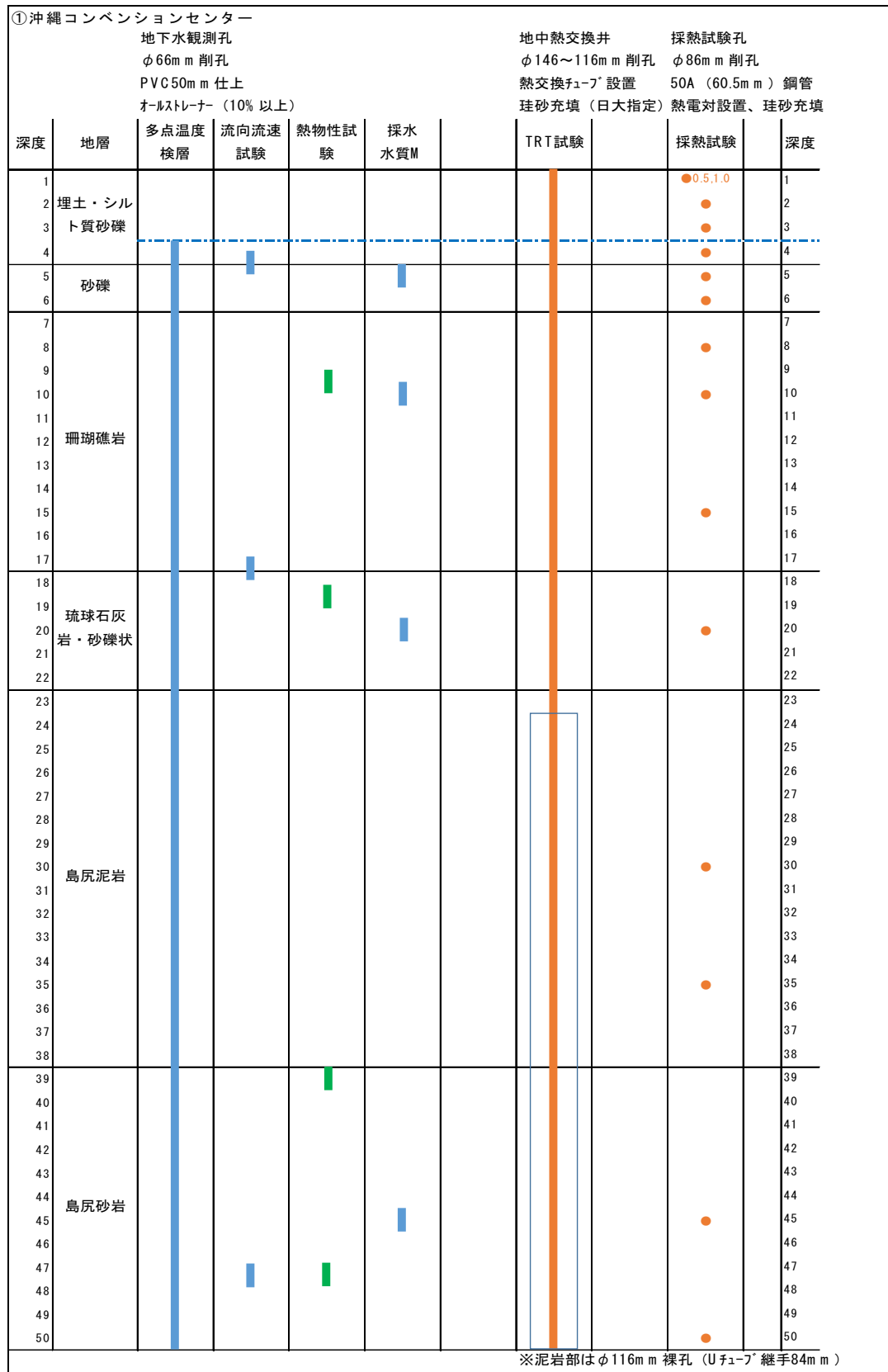


図 4.1 調査仕様 (沖縄コンベンションセンター)

① 地下水調査

深度 3.0～50.0m の帯水層を対象に多点温度検層を実施した。本検層により地下水流動層が確認された3深度（4.0m、17.5m、47.0m）について地下水の流向流速試験を実施した。

② 熱応答試験

地中熱交換井を削孔し、熱応答試験を実施した。

③ 採熱試験

採熱試験孔を削孔し採熱試験を実施した。採熱試験孔はφ86mmで削孔し、50Aの鋼管を建て込み仕上げを行った。熱電対の設置深度は、0.5m、1.0m、2.0m、3.0m、4.0m、5.0m、6.0m、8.0m、10.0m、15.0m、20.0m、30.0m、35.0m、45.0m、50.0mとした。

④ 熱物性試験

コア観察結果に基づき、確認した地質を網羅するように、珊瑚礁岩、琉球石灰岩、島尻砂岩（2試料）を対象とした。

(2) 県立博物館・美術館

② 県立博物館・美術館										
		地下水観測孔 φ66mm 削孔 PVC50mm 仕上 オルストレーナー（10%以上）			地中熱交換井 φ86mm 削孔 50A（65mm）鋼管 16A塩ビ×2			採熱試験孔 φ86mm 削孔 50A（60.5mm）鋼管 熱電対設置、珪砂充填		
深度	地層	多点温度 検層	流向流速 試験	熱物性試 験	採水 水質M	TRT試験		採熱試験		深度
1	盛土粘性土							●		1
2								●		2
3								●		3
4				■						4
5								●		5
6										6
7								●		7
8										8
9										9
10								●		10
11	島尻泥岩									11
12										12
13										13
14										14
15								●		15
16										16
17										17
18										18
19										19
20								●		20

※地下水が分布しないため、地下水調査は実施していない。地下水観測孔を採熱試験孔に転用した。

図 4.2 調査仕様（県立博物館・美術館）

① 地下水調査

深度 20.0m までに帯水層が存在しないため地下水調査は実施していない。地下水調査孔は、採熱試験孔として活用した。

② 熱応答試験

地中熱交換井を削孔し熱応答試験を実施した。地中熱交換井はφ86mmで削孔し、50Aの鋼管を建て込み仕上げを行った。

③ 採熱試験

採熱試験孔を削孔し、採熱試験を実施した。採熱試験孔はφ86mmで削孔し、50Aの鋼管を建て込み仕上げを行った。採熱試験は、熱応答試験後に温度回復のために4日間以上の期間をおいて実施した。

熱電対の設置深度は、1.0m、2.0m、3.0m、5.0m、7.0m、10.0m、15.0m、20.0mとした。

④ 熱物性試験

コア観察結果に基づき、島尻泥岩を対象に実施した。

(3) 県立総合教育センター

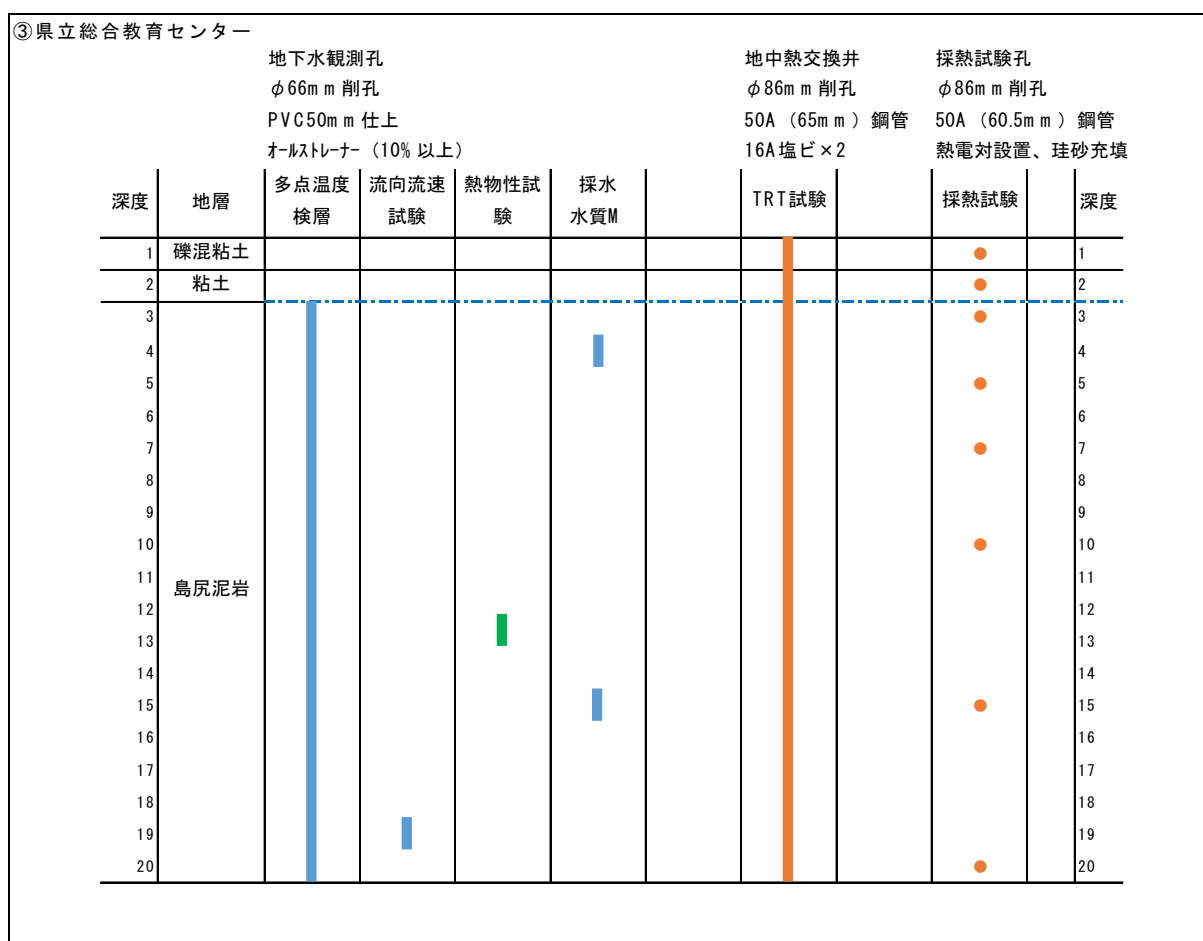


図 4.3 調査仕様 (県立総合教育センター)

① 地下水調査

深度 2.0~20.0m の帯水層を対象に多点温度検層を実施した。本検層により地下水流動層が深度 18.5m で確認されたため、同深度で地下水の流向流速試験を実施した。

島尻泥岩を対象として、地下水の採取および水質分析を 2 深度 (4m、15m) で実施した。

② 熱応答試験

地中熱交換井を削孔し熱応答試験を実施した。地中熱交換井はφ86mmで削孔し、50Aの鋼管を建て込み仕上げを行った。

③ 採熱試験

採熱試験孔を削孔し採熱試験を実施した。採熱試験孔はφ86mmで削孔し、50Aの鋼管を建て込み仕上げを行った。採熱試験は、熱応答試験後に温度回復のために4日間以上の期間において実施した。熱電対の設置深度は、1.0m、2.0m、3.0m、5.0m、7.0m、10.0m、15.0m、20.0mとした。

④ 熱物性試験

コア観察結果に基づき、島尻泥岩を対象に実施した。

4.3 多点温度検層結果

(1) 試錐孔諸次元

今回検層を実施した試錐孔の諸次元を表4.2に示す。

表 4.2 試錐孔の諸次元

調査箇所	検層深度 (GL-m)	測定時間	自然水位 (GL-m)	湯入れ直後 水位(GL-m)	検層30分後 水位(GL-m)
沖縄コンベンションセンター	3.5~50.0	10:00~11:11	3.86	3.86	3.91
県立総合教育センター	0.0~20.0	14:30~15:14	1.02	0.00	0.62

(2) 検層結果

今回実施した試錐孔における地下水流動層の推定深度をまとめて表4.3に示す。

表 4.3 地下水流動層・地下水滲出箇所の存在深度

Bor.	検層30分後水位 (GL-m)	地下水流出深度 (GL-m)	7分後 温度復元率 (%)	30分後 温度復元率 (%)
沖縄コンベンションセンター	3.91	4.0	42.1	82.4
		16.7~19.0	30.9~40.1	55.2~61.9
		17.5	40.1	61.9
		37.0~40.3	27.0~29.5	60.2~61.4
		42.0~50.0	26.1~50.2	63.7~83.3
		42.0	36.6	65.3
		45.0	37.5	70.7
県立総合教育センター	0.62	16.0~20.0	28.9~37.7	61.7~67.9
		18.5	37.7	67.9

今回実施された多点温度検層結果から、沖縄コンベンションセンターの試錐孔には、深度 GL-4.0m の砂礫層に脈状の地下水流動箇所が、深度 GL-16.7～19.0m の珊瑚礁岩～琉球石灰岩に層状の弱い地下水流動層が検出された。その下部、島尻泥岩及び島尻砂岩にも深度 GL-37.0～40.3m 及び GL-42.0～50.0m に地下水流動層が検出された。県立総合教育センターの試錐孔には、深度 GL-16.0～20.0m の島尻泥岩に層状の弱い地下水流動層が検出された。

4.4 流向流速測定結果

(1) 測定原理

地下水の流れがない時に中心ヒーターに電圧を加えると、発生した熱は周囲に均等に拡散し中心部から外側へ同心円状に温度分布が形成される（図4.4左）。一方、流れがある場合発生した熱は地下水の流れに乗って下流方向に移流する。そのために下流方向に配置された温度計は、上流側に配置された温度計よりも高い温度を示すことになる（図4.4右）。

つまり、ヒーター周辺に配置された温度計の加電前の温度と加電後の温度の差は、地下水の流速が遅いほど大きく、速いほど小さくなる。よって温度差の大小で流速を求めることができる。

以上より、ヒーターの周囲とその周りに配置された温度計の数値を測定し、その温度の違いを知ることで地下水の流動方向と流速値に関する情報を得ることが可能となる。

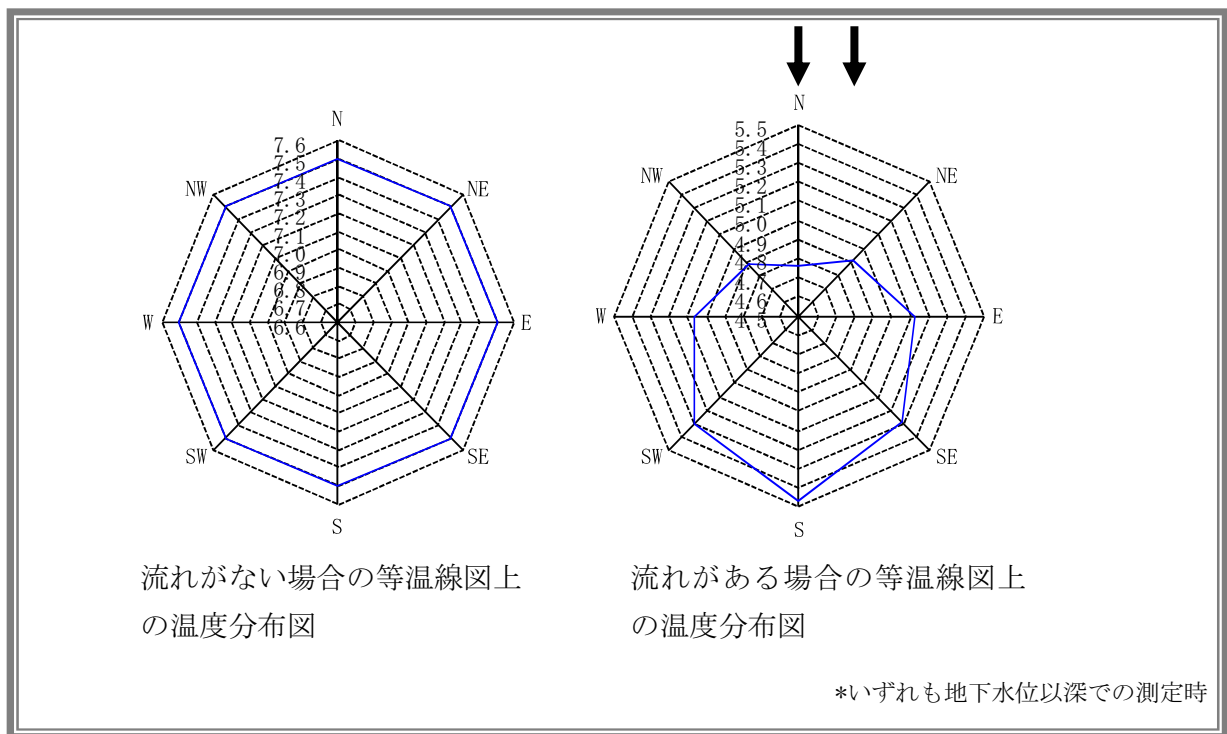


図4.4 熱移流によるセンサー周辺の等温線図上の温度分布状況

(2) 測定結果

①流速

測定結果を表 4.4 に示す。

表 4.4 推定された流速

調査箇所	測定深度 (GL-m)	自然水温 (°C)	平均温度差 Δ θ (°C)	流速 (m/sec)
沖縄コンベンションセンター	4.0 (下げ潮)	24.66	5.21	5.7×10^{-5}
	4.0 (上げ潮)	24.63	5.98	1.2×10^{-5}
	17.5	24.84	4.20	2.5×10^{-4}
	47.0	24.67	4.34	2.2×10^{-4}
県立総合教育センター	18.5	23.97	5.86	1.6×10^{-5}

この表から、今回調査した沖縄コンベンションセンターの試錐孔周辺には 1.2×10^{-5} m/sec ~ 2.5×10^{-4} m/sec 程度の地下水流の存在が推定される。深度 GL-4.0m の上げ潮での流速値は、潮止まりから上げ潮に変化したばかりの測定になり、下げ潮測定時と比べ流速が遅くなった影響が考えられる。県立総合教育センターの試錐孔周辺には 1.6×10^{-5} m/sec 程度の地下水流の存在が推定される。ただし、調査精度の下限値 (1×10^{-5} m/s) 付近の値に関しては計算値上の流速であり、誤差の影響も含まれてくることを考慮する必要がある。調査精度の限界値は、実験結果そのものの速度に制約されている。

②流動方向に対する考察

結果を表 4.5 にまとめる。

表 4.5 温度差と推定された流向・流速

調査地点	測定深度 (GL-m)	平均温度差 Δ θ (°C)	流速 (m/sec)	流動方向
沖縄コンベンションセンター	4.0	5.21	5.7×10^{-5}	北東→南西
	4.0	5.98	1.2×10^{-5}	北西→
	17.5	4.20	2.5×10^{-4}	南西→北東
	47.0	4.34	2.2×10^{-4}	南南西→北北東
県立総教育センター	18.5	5.86	1.6×10^{-5}	----

測定結果を見ると、沖縄コンベンションセンター深度 GL-17.5m (下げ潮) において地下水は、南西方向から北東方向に、深度 GL-47.0m (下げ潮) において地下水は南南西方向から北北東方向へと概ね海に向かって流動していると推定される。下げ潮時と上げ潮時の 2 回測定した深度 GL-4.0m において地下水は、下げ潮時の測定において、北東から南西方向へ概ね海に向かって流動していると考えられる。一方、上げ潮時の測定においては、北西からの地下水流入が検出され、概ね陸に向かっての流動方向に変化した。このことから、沖縄コンベンションセンターの試錐孔周辺の地下水は、潮の干満の影響を受けている可能性が考えられる。

県立総合教育センター深度 GL-18.5m において地下水は、流速が遅く明確な流動方向が検出されなかった。

今回実施された流向流速結果から、沖縄コンベンションセンターの試錐孔周辺には $1.2 \times 10^{-5} \text{m/sec} \sim 2.5 \times 10^{-4} \text{m/sec}$ 程度の地下水流の存在が推定され、流動方向は、海の潮位の影響を受けている可能性がある方向性となった。

県立総合教育センターの試錐孔周辺には $1.6 \times 10^{-5} \text{m/sec}$ 程度の地下水流の存在が推定され、流動方向については、明確な流動方向が検出されなかった。

4.5 水質試験

地中熱応答試験の実施に先駆け、地下水の水質試験を実施した。

水質試験は、pH（水素イオン濃度）、ORP（酸化還元電位）、EC（電気伝導度）、水温を対象として実施した。地中熱交換孔設置後の初期値を測定し、熱応答試験時はサーマルバランスの変化に伴う値を把握するため、採熱試験後に再度実施した。

表 4.6 水質測定結果

場所	区分	採取日	採取深度 (GL-m)	対象地質	水温(°C)	PH	電気伝導度 EC (ms/cm)	酸化還元電位 (ORP)		
								表示値 (mV)	測定時水温 (°C)	報告値 (mV)
総合教育センター	初期値	H29.2.3	4.0	島尻泥岩	22.8	7.67	6.96	220	22.1	428
	採熱試験後	H29.3.7			24.5	7.64	7.30	181	23.7	387
	初期値	H29.2.3	15.0	島尻泥岩	23.2	7.68	6.91	197	22.6	404
	採熱試験後	H29.3.7			26.1	7.68	7.35	126	25.4	331
沖縄コンベンションセンター	初期値	H29.2.3	5.0	珊瑚礁岩	24.2	7.46	3.84	19	22.9	226
	採熱試験後	H29.3.7			24.9	7.26	10.73	-19	23.6	187
	初期値	H29.2.3	10.0	琉球石灰岩	23.6	7.23	14.10	-13	23.4	194
	採熱試験後	H29.3.7			24.5	7.04	11.59	-90	23.9	116
	初期値	H29.2.3	20.0	島尻砂岩	23.8	7.23	13.03	-42	23.4	165
	採熱試験後	H29.3.7			24.5	7.02	12.23	-76	23.7	130
	初期値	H29.2.3	45.0	島尻砂岩	24.1	7.29	8.65	-38	22.8	169
	採熱試験後	H29.3.7			24.5	7.00	6.69	-95	23.2	112

(1) 水温

採熱試験後は、初期値に対して僅かであるが高い値を示した。

総合教育センターの深度 15m では、採熱試験後にやや高い値を示すものの、その他の深度では、概ね年平均気温と同程度もしくは年平均気温 +1~2°C の範囲を示した。

(2) pH（水素イオン濃度）

地下水の一般的な指標として酸性、中性、アルカリ性を示す。採熱試験後などに大きく変化した場合は、地下水環境の変化について追加調査や考察を行う必要がある。

測定結果では、pH は 7.00~7.68 の範囲にあり中性を示している。珊瑚礁岩や琉球石灰岩の分布深度においてもアルカリ性を示す傾向は認められていない。

酸性やアルカリ性に偏るなど、地中熱交換井の耐食性能などに係る特徴的な傾向は認められていない。

初期値と採熱試験後（一定加熱後）の値にも変化は認められていない。

(3) EC（電気伝導度）

地下水の一般的な指標として不純物の混入具合や降雨の影響等を把握する。値が大きく変化した

た場合は、地下水環境の変化について追加調査や考察を行う必要がある。

測定値は、3.84～14.10mS/cm の範囲にあり、採熱試験の前後で大きく変化した箇所は認められていない。沖縄コンベンションセンターの浅部では、海水の影響等も懸念されたが、一般的な海水の電気伝導率（45～50mS/cm）よりも小さい値を示した。

(4) ORP（酸化還元電位）

地下水が酸化傾向にあるのか還元傾向にあるのかを判断する指標等として用いる。値が大きく変化した場合は、熱供給による金属イオンの溶出環境の変化などが想定されるため、地下水環境の変化について追加調査や考察を行う必要がある。

測定値は、112～428mV の範囲にあり、概ね酸化領域にある。採熱試験の前後で大きく変化した箇所は認められていない。沖縄県の特徴でもあるが、地下水の涵養期間が短く還元環境下で酸素等が消費される期間が短い結果とも考えられる。

4.6 熱応答試験

ヒートバランスの変化を検討する目的で、地盤特性として熱伝導率、熱抵抗、熱拡散率、比熱、密度が必要となる。熱応答試験（以下、TRT 試験）は、「官庁施設における地中熱利用システム導入ガイドライン（案）および促進協のマニュアル（一定加熱・温水循環方式熱応答試験技術書：地中熱利用促進協会）に準じて実施した。

(1) 解析結果

1) 沖縄コンベンションセンター

熱応答試験装置は、従来の試験装置（ジオシステム社製）を使用した。

50m ボアホール式地中熱交換器を用いた熱応答試験結果を以下に示す。循環媒体である水を一定熱量で加熱を行った。その時の熱交換器に流入出する循環媒体の温度の平均値の変化を図 4.5 に示す。

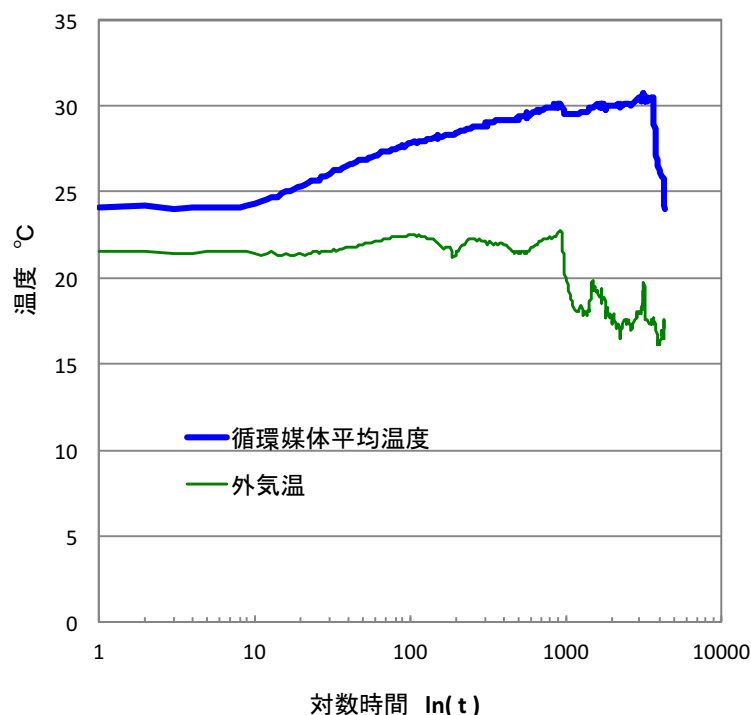


図 4.5 出入口平均温度と経過時間（沖縄コンベンションセンター）

この循環媒体の経時変化曲線から、試験開始後 24 時間後から 61.7 時間までのデータを使用して、有効熱伝導率を求めると以下のとおりとなる。

- ・加熱量 : 1kW
- ・経時変化勾配 : 0.74
- ・有効熱伝導率 : 2.2W/mK

2) 県立博物館・美術館

20m ボアホール式地中熱交換器を用いた熱応答試験結果について以下に示す。熱交換器に流入する循環媒体の温度の平均値の変化を図 4.6 に示す。

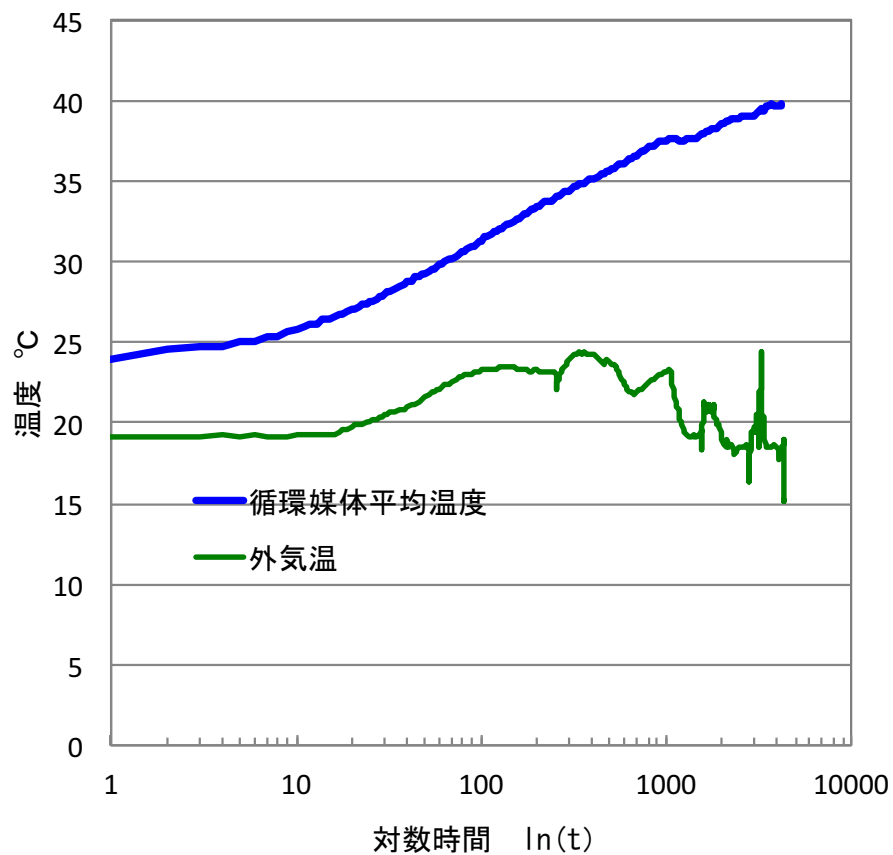


図 4.6 出入口平均温度と経過時間（県立博物館・美術館）

この循環媒体の経時変化曲線から、試験開始後 24 時間後から 72.7 時間までのデータを使用して、有効熱伝導率を求めると以下のとおりとなる。

- ・加熱量 : 1kW
- ・経時変化勾配 : 1.85
- ・有効熱伝導率 : 2.3W/mK

3) 県立総合教育センター

20m ボアホール式地中熱交換器を用いた熱応答試験結果について以下に示す。熱交換器に流入する循環媒体の温度の平均値の変化を図 4.7 に示す。

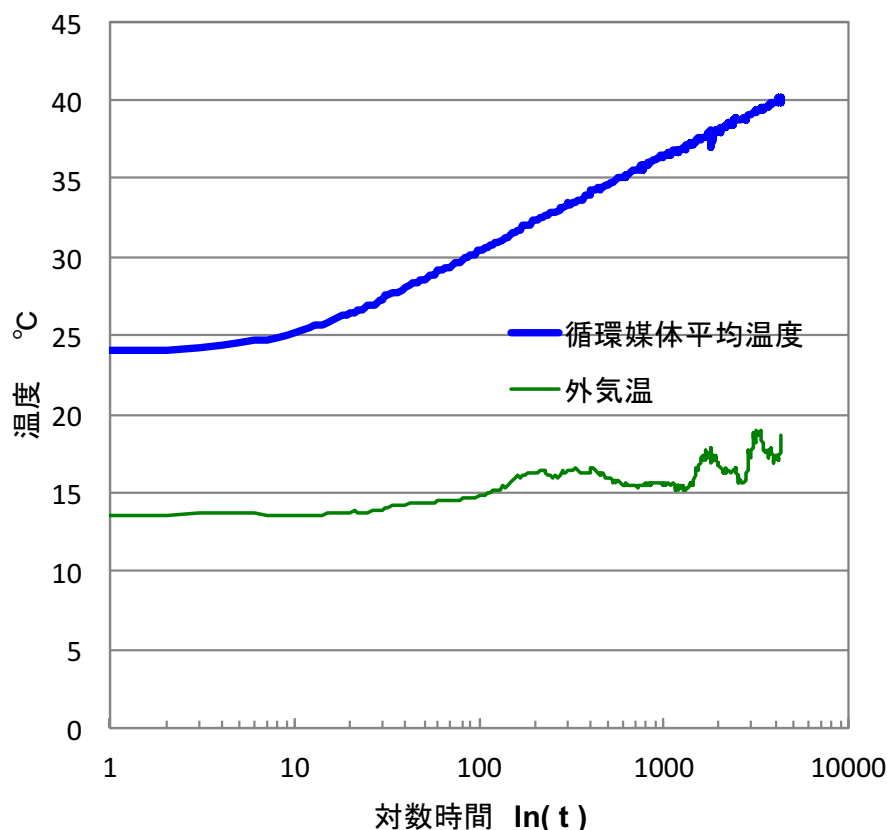


図 4.7 出入口平均温度と経過時間（県立総合教育センター）

この循環媒体の経時変化曲線から、試験開始後 24 時間後から 72.7 時間までのデータを使用して、有効熱伝導率を求めると以下のとおりとなる。

- ・ 加熱量 : 1kW
- ・ 経時変化勾配 : 2.54
- ・ 有効熱伝導率 : 1.7W/mK

4.7 採熱試験

(1) 採熱試験の特徴

熱応答試験とは別に採熱試験を行い、熱応答試験結果やコアサンプルによる熱物性測定結果が妥当であるかを確認する。特に浅い地盤での地中熱利用においては、原理的に熱応答試験では正しい熱物性値を示すことができないので、この採熱試験による確認が必須である。採熱試験の特徴を以下に示す。

- 従来の熱応答試験と同様に平均熱伝導率を求める（ただし、地中温度分布の影響は考慮する）。

- ある一定の温度で加熱し続けると、離れた場所の地中温度が変化する。
- この変化は、地盤の熱伝導率／熱容量で決まる。
- 熱伝導率が既知であるので、変化量から熱容量が決定可能となる。

【基本的な原理】

- 加熱地点（熱交換井）から、離れた場所に温度測定点を設ける。本業務では、1m離れた場所に熱電対を設置した測定孔を設置している。
- 対象とする地盤の熱伝導率は同じであるが、熱容量が異なる2種類を考慮する。
- 同じ温度で加熱し続けると、熱容量が大きい地盤のほうが、離れた地点での温度変化は小さくなる。
- つまり、加熱温度と熱伝導率が既知であれば熱容量が求まる。

(2) 採熱試験結果と熱応答試験の総括

表 4.7 に、通常の熱応答試験と今回新たに実施した採熱試験の結果一覧を示す。

表 4.7 熱応答試験および採熱試験結果一覧

箇所名	熱応答試験	採熱試験		
	熱伝導率 (W /m ·K)	熱伝導率 (W /m ·K)	熱容量 (M J/m ³ ·K)	温度伝導率 (m m ² /sec)
沖縄コンベンションセンター	2.2	2.2 [*]	-	-
県立博物館・美術館	2.3	1.38	3.45	0.4
県立総合教育センター	1.7	1.4	7	0.2

※採熱試験方式による熱伝導率の検証結果

採熱試験結果から得られた数値を見ると、熱伝導率が 1.38～2.2W/m·K 程度であり、一般に知られる岩石の熱伝導率と大差がなく、地中熱交換器全般にわたる地下水の移流による伝熱促進効果は見られない。実際の採熱試験においては、循環媒体の地中熱交換器における出入口温度差が小さいため、放熱量推定における誤差の範囲の把握が今後の課題と言える。

沖縄県における地中熱利用のデータは皆無に近く、今回の調査が初めてとも言えるが、有効熱伝導率については本州地域と大差がないか、やや高めという結果になっており、本業務では、少なくとも熱伝導率の面から沖縄県の地中熱利用が不利という結果は出ていない。

4.8 熱物性測定

(1) 測定方法

ヒートバランスの変化を検討する際、地盤特性として熱伝導率、熱抵抗、比熱、密度が必要となる。熱応答試験の結果と併せ、コアサンプルを用いて熱伝導率および熱容量を求める必要がある。

本業務では、ホットディスク法による手法を採用した。

(2) 測定結果

試験の対象とする試料は、今回ボーリング調査を行った地点の中で、沖縄県中南部地域の代表的地質の特性を把握することを目的とし、表 4.8 に示す 6 試料について試験を実施した。

表 4.8 熱物性試験結果一覧

対象箇所	深度 (G L-m)	地質	有効熱伝導率 (W /m K)	熱容量 (M J/m ³ K)	密度 (g/cm ³)	温度伝導率 (m m ² /s)
沖縄コンベンション センター	9.32~9.55	珊瑚礁岩	0.84	1.58	2.08	0.53
	19.00~19.30	琉球石灰岩	1.04	1.48	1.88	0.71
	39.00~39.25	島尻砂岩	1.77	1.55	1.95	1.15
	47.00~47.25	島尻砂岩	1.76	1.95	1.88	0.90
県立総合教育セン ター	12.68~13.00	島尻泥岩	1.48	2.23	1.90	0.66
県立博物館・美術館	4.78~5.00	島尻泥岩	1.44	2.38	1.85	0.60

- ・ 熱伝導率 : 熱の伝わりやすさ
- ・ 熱容量 : 比熱×密度、値が大きいほど温度変化を受け難い
- ・ 温度伝導率 : 熱伝導率/熱容量

珊瑚礁岩・琉球石灰岩、島尻砂岩・泥岩の熱伝導率は 1~2W/mK 程度であり、熱応答試験結果とも概ね一致する結果となった。珊瑚礁岩や琉球石灰岩は、間隙率は 30~40% であり一般的な岩と比較すると間隙が多く、固結度の低さや間隙の多さが、熱伝導率が小さくなる理由の一つと考えられる。乾燥状態の場合にはさらに低い値となるが、地下に存在する場合は湿潤状態であることから参考データとして取り扱うこととなる。

表 4.9 に、一般的な堆積物や岩の熱物性値との比較結果を示す。

珊瑚礁岩や琉球石灰岩の有効熱伝導率は、粘土や砂などの未固結の堆積物と同程度の値となった。密度は、一般的な岩 (2.4~2.7g/cm³) と比較すると小さく、間隙の多さと併せて熱伝導率が小さい理由の一つと考えられる。

コアの外観が良く似ている島尻泥岩と島尻砂岩を比較すると、より細粒の鉱物から組成される島尻泥岩では、熱伝導率が小さく熱容量が大きい結果となった。

表 4.9 熱物性値の比較

地質	有効熱伝導率 (W /m K)	熱容量 (M J/m ³ K)	密度 (g/cm ³)	温度伝導率 (m m ² /s)
珊瑚礁岩	0.8	1.58	2.08	0.53
琉球石灰岩	1.0	1.48	1.88	0.71
島尻砂岩	1.8	1.55	1.95	1.15
島尻砂岩	1.8	1.95	1.88	0.90
島尻泥岩	1.5	2.23	1.90	0.66
島尻泥岩	1.4	2.38	1.85	0.60
表土 (有機質土)※	0.7	2.28	1.34	0.31
粘土※	1.2	3.06	1.70	0.39
砂※	1.1	1.66	1.51	0.66
砂礫※	2.4	1.99	2.65	1.22
花崗岩※	4.3	2.92	2.65	1.48

※小熊正人, 一般住宅向け地中熱利用システムとその設計手法, 福島大学, 2016

表 4.10 に、地質毎の熱物性値の提案値を示す。

有効熱伝導率については、試験結果の平均値とし有効数字 2 桁で整理した。

表 4.10 熱物性値の提案値

地質	有効熱伝導率 (W /m K)	比熱 (kJ/kgK)	熱容量 (M J/m ³ K)	密度 (g/cm ³)	温度伝導率 (m m ² /s)
珊瑚礁岩	0.8	0.76	1.6	2.08	0.53
琉球石灰岩	1.0	0.79	1.5	1.88	0.71
島尻砂岩	1.8	0.92	1.8	1.92	1.15
島尻泥岩	1.5	1.23	2.3	1.88	0.60