

平成 28 年度

地中熱を活用した省エネ技術の開発・普及事業委託業務

報 告 書

(概 要 版)

平成 29 年 3 月

沖 縄 県 環 境 部 環 境 再 生 課

中 央 開 発 ・ ワ ー ル ド 設 計 共 同 企 業 体

【目次】

1. 業務概要	1
2. 実施方針	
2.1 基本方針	2
2.2 地中熱に係る基礎情報の整備	2
2.3 ボーリング調査による地中情報の収集・整理	4
2.4 地中熱ヒートポンプ設置に係る検討の実施	6
2.5 県内企業の育成の実施	7
2.6 地中熱利用に係る情報収集・整理の実施	7
2.7 栽培漁業センターにおける計測機器の整備等	7
3. 地中熱利用に係る基礎情報の整備	
3.1 沖縄県版の地中熱採熱期待値マップの作成	8
3.2 地中熱採熱期待値マップの作成	13
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	18
4.2 ボーリング結果と試験仕様	19
4.3 多点温度検層結果	22
4.4 流向・流速測定結果	23
4.5 水質試験	25
4.6 熱応答試験	26
4.7 採熱試験	28
4.8 熱物性測定	29
5. 地中熱ヒートポンプ設置に係る検討の実施	
5.1 熱需要概況調査	32
5.2 地中熱利用ヒートポンプ導入実証サイトの選定	39
6. 県内企業の育成	
6.1 現地見学会の開催	42
6.2 技術講習会の開催	43
7. 地中熱利用に係る情報収集・整理の実施	
7.1 情報収集・調査の視点の背景	45
7.2 各情報の整理	45
8. 栽培漁業センターにおける計測機器の整備等	
8.1 地下水熱利用状況	51
8.2 計測機器等の整備	52
8.3 試験運転の状況	53
8.4 今後の活用について	54

1. 業務概要

1.1 業務名称

平成 28 年度 地中熱を活用した省エネ技術の開発・普及事業委託業務

1.2 履行期間

自) 平成 28 年 10 月 5 日

至) 平成 29 年 3 月 27 日

1.3 業務場所

沖縄島中南部を中心とする沖縄県下

1.4 業務目的

「21 世紀ビジョン基本計画」に謳われている「低炭素島しょ社会の実現」に取り組むには、既存技術を活用した排出削減対策や環境教育等とおした地球温暖化防止対策等を推進するとともに、クリーンエネルギーに係る技術革新を進める必要がある。

本事業では、県内で普及が進んでいない地中熱を活用した省エネ技術の実証試験や県内企業の育成等とおして、経済的メリットのある地球温暖化対策を県内に普及することを目的とした。

1.5 業務内容

- (1) 地中熱利用に係る基礎情報の整備
 - 1) 地中情報の収集及び整理
 - 2) 地中熱冷房導入支援システム（仮称）の作成
- (2) ボーリング調査による地中情報の収集・整理
- (3) 地中熱ヒートポンプ設置に係る検討の実施
 - 1) 熱需要概況調査の実施
 - 2) 地中熱ヒートポンプ設置に係る計画策定
- (4) 県内企業の育成の実施
- (5) 地中熱利用に係る情報収集、整理の実施
- (6) 栽培漁業センターにおける地下水熱利用計測機器の整備

1.6 受託者

中央開発・ワールド設計共同企業体

〒900-0001 沖縄県那覇市港町 2 丁目 6 番 18 号 極東ビル

中央開発（株）沖縄支店内

（企業体構成員）

中央開発株式会社 沖縄支店

〒900-0001 沖縄県那覇市港町 2 丁目 6 番 18 号 極東ビル TEL : 098-861-6553

株式会社ワールド設計

〒901-2114 沖縄県浦添市安波茶 1 丁目 32 番 13 号 TEL : 098-878-2215

2. 実施方法

2.1 基本方針

- ◆平成 30 年度までに、一般家庭や事業所に広く普及できる技術の開発を目指し、初年度の今年度は、必要な基礎的情報の収集・整理を確実に行う。
- ◆民生利用に関する先端技術を有する研究機関と連携して業務を行う。
- ◆県内企業の育成を図るため設計・施工業者のネットワークを構築する。

2.2 地中熱利用に係る基礎情報の整備

(1) 地中情報の収集及び整理

地中熱利用において必要な地中情報は、大きくは当該地の「①地盤構成」「②地盤の熱物性」「③地下水情報」の 3 点に集約される。このうち、「②地盤の熱物性」についての沖縄県内の情報は乏しく、地温分布について農業気象資料にある程度である。従って、沖縄県における基本的な地層や地盤についての熱物性は、本業務におけるフィールドワークを通じて明らかにする必要がある。とりわけ、沖縄に固有な琉球石灰岩などのローカルソイルについては、一般値が不明でありこれを明らかにする必要がある。

地中情報の収集・整理方法については、ボーリングコアの整理方法など、琉球大学理学部の助言を受けながら実施した。また、他で入手できない学部所蔵の資料については、提供を受けた。

1) ボーリング柱状図の収集

ボーリングデータからは、当該地及びその周辺エリアの地盤構成や地下水位に関する重要な情報が得られる。柱状図の収集は、原則として国、自治体、研究機関などから公開されている資料としたが、協力が得られる機関からの未公開資料の掘り起こしも行った。なお、沖縄島中南部を中心とした収集ではあるが、可能な限り、北部地域や主要離島についても収集を行った。

2) 柱状図の整理方法

収集した柱状図は地中熱採熱期待値マップの作成に必要な情報について電子化した。データフォーマットについては、事後使いやすいフォーマットとして、「ボーリング交換用データ XML 形式（地質・土質調査成果電子納品要領(案) 平成 20 年 12 月版)」を採用した。

(2) 地中熱採熱期待値マップの作成

1) 基本方針

沖縄県内の設備設計者が利用し易いマップを目指し、地中熱システムの性能保証や見積を可能にするマップを構築するために、日本大学工学部が開発した「地中熱リファレンスマップ」を活用してシステムを構築した。

2) 地中熱採熱期待値マップの作成方法

地中熱採熱期待値マップの作成方法を以下に示す。

① 地盤モデルの作成

ボーリングデータ、各地層の熱物性(土壌熱伝導率、熱容量(比熱、密度))より地層の熱モデルデータベースを作成した。

メッシュサイズは、50m 程度を想定している。ボーリングデータが存在しない場合は、周辺のボーリングデータから地層を推定した。推定方法は、既往の研究成果等を参考とした。

マップの作成にはボーリングデータが必須なため、モデルの作成範囲はボーリングデータの収集分布状況により決定した。

熱物性等が新たに見直された場合は、このデータベースを修正することでモデルの更新が可能である。

② 運用パターンの設定

沖縄県で最適と考えられる地中熱システムの運用標準パターンを設定した。なお、運用パターンは複数パターン用意した。その複数パターンに対して、感度解析(代表的な地盤モデルを対象に標準パターンとその他(例えば官庁)のパターンでの解析を実施)を行うことで、読み替え表を作成した。

また、利用者(設備設計事業者)が、地中熱を導入したい地点、運用パターン(運転期間・時間)、冷房もしくは暖房モードに対応した採熱温度(熱交換器の外壁温度)、採熱管の長さ、運用年数をその都度システム上で指定し、その都度解析することも可能である。

③ 採熱解析

①、②を用いて、採熱一次元解析を実施した。なお、採熱解析は利用者の使い勝手を考慮して安全サイドとなる条件(地下水流速=0、不易層温度=平均気温)で実施した。

④ 出力データ

出力データは、地中熱利用設計でよく使用される「単位長さ当たりの採熱量」、冷房運用終了時での放熱能力を示す「設計採熱量」、運用期間中に採熱した熱量を運用時間で除した「平均採熱量」とした。なお、「設計採熱量」は運転期間中の能力を、「平均採熱量」は運転期力を示す。

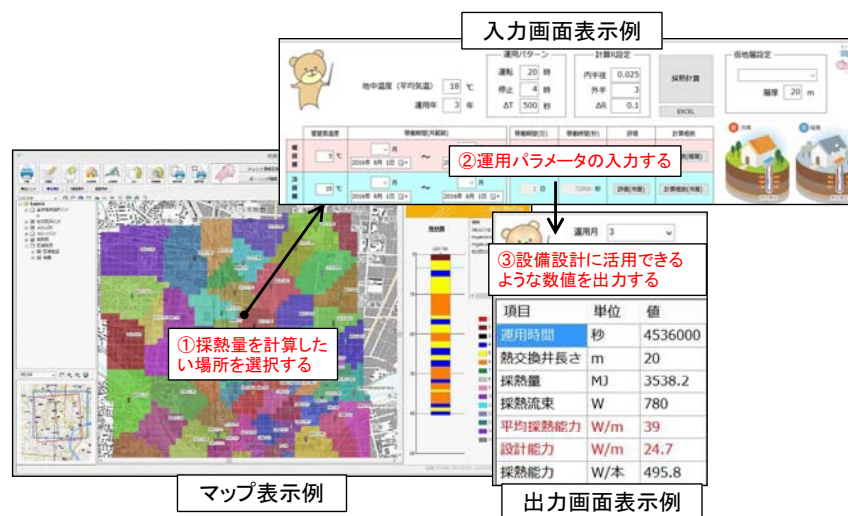


図 2.1 システムの画面例

3) 地中熱採熱期待値マップの成果イメージ

成果品として、上記検討を随時実施可能な環境を構築するため、地中熱採熱期待値マップシステム（スタンドアローンタイプ）を作成した。

2.3 ボーリング調査による地中情報の収集・整理

県内での普及を前提とし、代表的な地質や地下水環境が想定される場所を3箇所選定（発注者と協議）し、地中熱利用を普及する際の参考となると考えられるデータを取るため、ボーリング調査を行った。代表的な地質としては、琉球石灰岩、島尻砂岩・泥岩、サンゴ混じり礫などを考慮しており、調査深度内での帯水層の有無等も考慮した。ボーリング調査と併せて、コアサンプルによる熱物性測定、熱応答試験、採熱試験及び地下水調査（地下水温度、流速、電気伝導度）等を行った。

(1) ボーリング調査

ボーリング調査は、熱応答試験、コアサンプリング、地下水調査、採熱試験など複数の調査を実施するため、本孔（地中熱交換孔）および別孔（地下水調査孔および採熱試験測定孔）とした。

ボーリング調査は、地下水調査孔（オールコアボーリング）をパイロット孔として先行実施し、地層や地下水の賦存状態を把握し、本孔の仕様や試験計画を確定した上で、本孔および採熱試験孔の削孔を行った。調査に際しての基本事項は次ぎのとおりとした。

1) 地中熱交換孔

熱応答試験を実施するための地中熱交換井である。調査深度は、対象地の地盤構成等により異なるが、以下の考え方を基本とし発注者と協議の上で決定した。

① A サイト

50m 程度×1 孔：標準的な地中熱交換孔のデータを取得する目的で実施した。

② B、C サイト

20m 程度×2 孔：地中熱利用の普及促進を図るため、浅部の地中熱を利用したシステムの導入を検討する目的で実施した。沖積層や島尻層の分布や地下水条件など地盤構成の異なる箇所を考慮した。

使用したボーリング機械には、掘削速度が遅いという欠点はあるものの、狭隘地・傾斜地など様々な用地や地質に対応可能で汎用性の高いロータリー式とした。

2) 地下水調査孔

地盤構成確認、コアサンプリング、地下水調査を実施するため、地中熱交換孔の近傍（1m 程度離れた場所）に地下水調査孔を設置した。掘進長は地中熱交換孔と同深度とした。

3) 採熱試験孔

採熱試験を実施するため、地中熱交換孔の近傍（1m 程度離れた場所）に採熱試験孔を設置した。掘進長は地中熱交換孔と同深度とした。

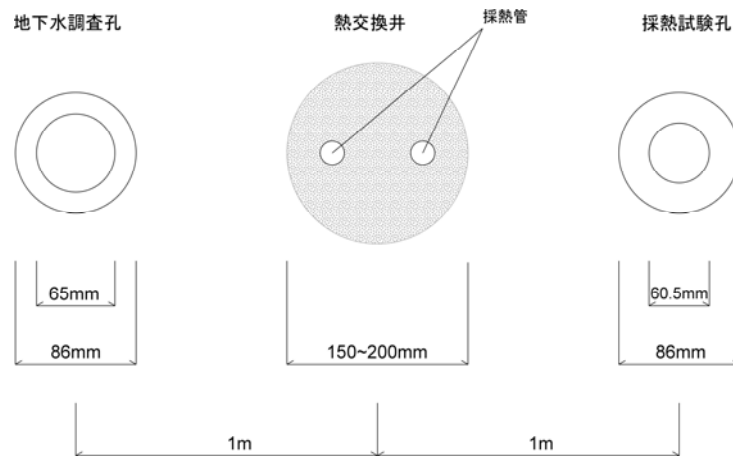


図 2.2 ボーリング孔配置イメージ

(2) 地下水調査、熱応答試験および採熱試験

1) 地下水調査

地中熱応答試験の実施に先駆け、地下水調査を実施した。調査項目は、地下水検層、流向流速試験、水質調査とした。地下水調査孔設置後に地下水検層を実施し、帯水層、地下水流動層、地下水流速について把握した。地下水流動層が確認される場合は、対象とする深度において地下水の流向流速試験を実施した。

地下水調査は、pH（水素イオン濃度）、ORP（酸化還元電位）、EC（電気伝導度）、水温、水位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、終了後に観測を行った。

2) 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（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に準じて実施した。

熱応答試験は、温度循環試験および温度回復試験を行う。温度循環試験は、ヒーターによって加熱した水を地中熱交換器内に循環させ、地中熱交換器の循環水の出入口温度や流量等をモニタリングする。モニタリング時間は 60 時間以上とした。

3) 採熱試験

熱応答試験は、その地中熱交換器の鉛直長さに対する地盤の有効熱伝導率を示すものであるが、地中熱交換器の採熱能力は地盤の熱伝導率ならびに熱容量から決まるので、熱応答試験結果から直接的に地中熱交換器の放熱能力を決定することはできない。特に琉球石灰岩や島尻泥岩など沖縄独特の地層に対する熱物性が不明であり、過去の知見や経験が使用できるかどうかは保証がない。そこで、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した。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。

試験は、熱応答試験などで使用される放熱管（地中熱交換孔を使用）に対して、一定のパタ

ーン（一定温度による連続加熱、もしくは間欠加熱）を行い、その放熱能力を測定した。

測定は、放熱管（地中熱交換孔）から 1m 程度離れた位置に採熱試験測定孔を設置し、孔内に設置した温度計により地中温度変化を同時に測定した。

採熱試験の概要を図 2.3 に示す。

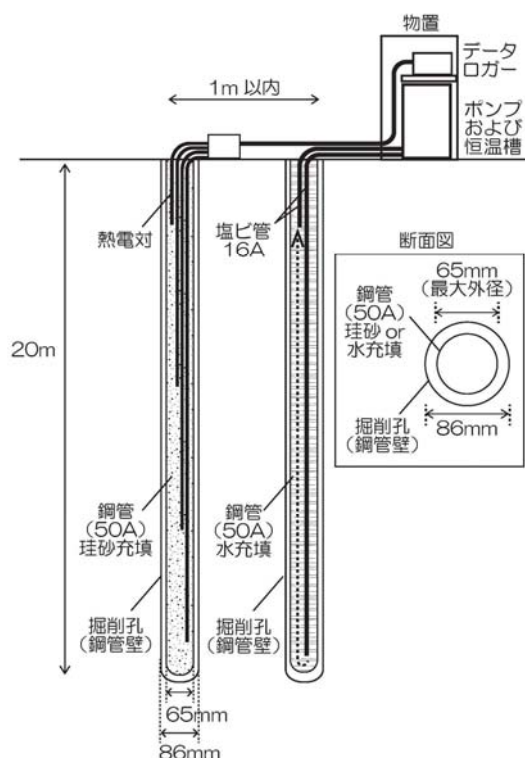


図 2.3 採熱試験概要図

(3) 熱物性測定および解析

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た。

2.4 地中熱ヒートポンプ設置に係る検討の実施

(1) 熱需要概況調査の実施

ボーリング調査を行った場所の近傍にある建物で地中熱を導入した場合の効果を大まかに把握するため、熱需要の調査等を実施した。

調査は、空調利用の状況とその他の熱利用について行った。対象とする施設は公共施設および一般施設とした。空調利用の状況として、冷房負荷 q_m (W) について調査を行い、地中熱利用ヒートポンプを導入した場合との比較検討を行った。既存の対象建物について、季節毎の平均外気温、空調方式、冷房稼働状況、使用電力を調査すると共に、建物外皮の断熱構造について現地確認等を行った。地中熱利用ヒートポンプを用いた場合の冷房負荷は、「建築設備設計基準 第4編 空気調和設備 第1章 熱負荷計算 第2章 冷房負荷計算」に基づき算出した。

その他の熱利用（給湯利用等）がある場合は、地中熱利用ヒートポンプを導入した場合との比較検討を行った。

(2) 地中熱ヒートポンプ設置に係る計画策定

以上の調査結果を踏まえ、沖縄県内の事業所に地中熱冷房システムを設置する際のモデルとなる計画を策定し、コストや効果を試算した。なお、計画策定にあたっては、県外で普及している50m以上の地中熱交換器を設置するボアホールタイプにこだわらず、沖縄の気候や地質を踏まえ、設置が容易、費用対効果が高い等普及しやすい方法も考慮した。

間接方式の地中熱交換器は、クローズドタイプ^{*1}とオープンタイプ^{*2}に区分されるが、県内での様々な住宅や施設への普及促進を図ることを目的とし、クローズドタイプを主体として検討した。比較検討するタイプとしては、深さ50m程度以上の標準的なシステムと設置が容易で費用対効果の高いシステムとして、浅部の地中熱利用システムを基本とした。

※1：チューブ等の中を流れる循環媒体を介して地盤との間で熱交換を行うタイプ。ボーリング孔を利用するボアホール方式やチューブを水平に埋設する水平方式等がある。

※2：地下水を汲み上げて、その熱だけを利用する方式。効率の良い方式であるが、地下水が豊富な地域に限られる。また、排水の処理が問題となることがある。

2.5 県内企業の育成の実施

沖縄県内の関連事業者を対象に、下表に示す内容の地中熱に関する育成事業を行った。

表 2.1 県内企業育成の実施内容

対象	目的	規模	募集方法	内容
建築設備設計技術者 空調設備施工技術者 ボーリング技術者	基礎的情報の 提供	20人程度	業界団体を通じ て募集	基礎的講話（座学）：1.5日 モデルハウス：半日 熱応答試験現場：半日

地中熱利用についての県内の認知度はほぼゼロに近い。従って今年度はファーストステップとして現場見学や基礎的な講座とした。

2.6 地中熱利用に係る情報収集、整理の実施

沖縄県において、地中熱利用に必要と思われる情報について、収集と整理を行った。

2.7 栽培漁業センターにおける計測機器の整備等

沖縄県栽培漁業センターにおいて、地下水熱を利用した計測システムを導入した。同センターでは、稚魚の養殖水槽や植物プランクトンの養殖水槽の水温管理に、既設の海水井戸から汲み上げた安定した水温の海水を利用する実験設備を計画していた。その計画を受け、本業務において配管施設や温度センサー、流量センサーを設置した。

3. 地中熱利用に係る基礎情報の整備

3.1 沖縄県版の地中熱採熱期待値マップの作成

地中熱採熱期待値マップの作成は、以下の作業フローで実施した。

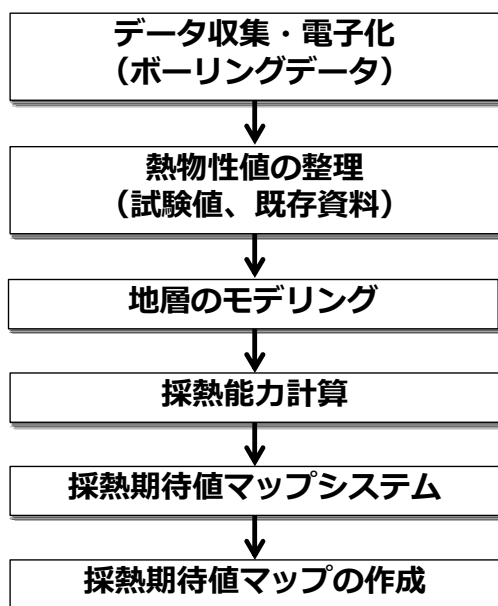


図 3.1 作業フロー

(1)データの収集・電子化（ボーリングデータベースの構築）

那覇市のボーリングデータ、沖縄県が実施したボーリングデータ及び KuniJiban (<http://www.kunijiban.pwri.go.jp/jp/index.html>) で公開されているボーリングデータを対象にデータベースを構築した。

海上もしくは海の近くで実施しているボーリングデータおよび、同一箇所で複数実施しているボーリングデータは除外した。

ボーリングデータの孔口標高は、基準点が不明なものや地形面と大きくずれるものが多数存在したため、全てのボーリングに対して、国土地理院の「基盤地図情報 数値標高モデル 5m メッシュ」に合わせる処理をした。

表 3.1 データベースの構築に用いたボーリングデータ

収集元	ボーリング本数	備考
沖縄県	97 本	ボーリング調査地周辺
那覇市	2,860 本	
KuniJiban (沖縄総合事務局)	493 本	沖縄県全域
	3,450 本	

(2)地層のモデリングについて

①沖縄県中南部の地盤について

那覇市一帯の地質は下位から上位へ新第三紀島尻層群、琉球石灰岩、赤褐色粘土層、沖積層及び現世珊瑚礁堆積物に分類される。また、福田ら（1970）※¹によると那覇市奥武山における天然ガス探査のための深層ボーリングで、地表から 933m（標高—929.89m）地点から名護層群相当の黒色千枚岩に着岩したことが報告されており、那覇市一帯は深度 900m 程度で本島北部山地を形成する名護層群が分布することがわかる。

図 3.2 に那覇市一帯の地質層序と N 値の分布を、図 3.3 に那覇市一帯の表層地質図をそれぞれ示す。

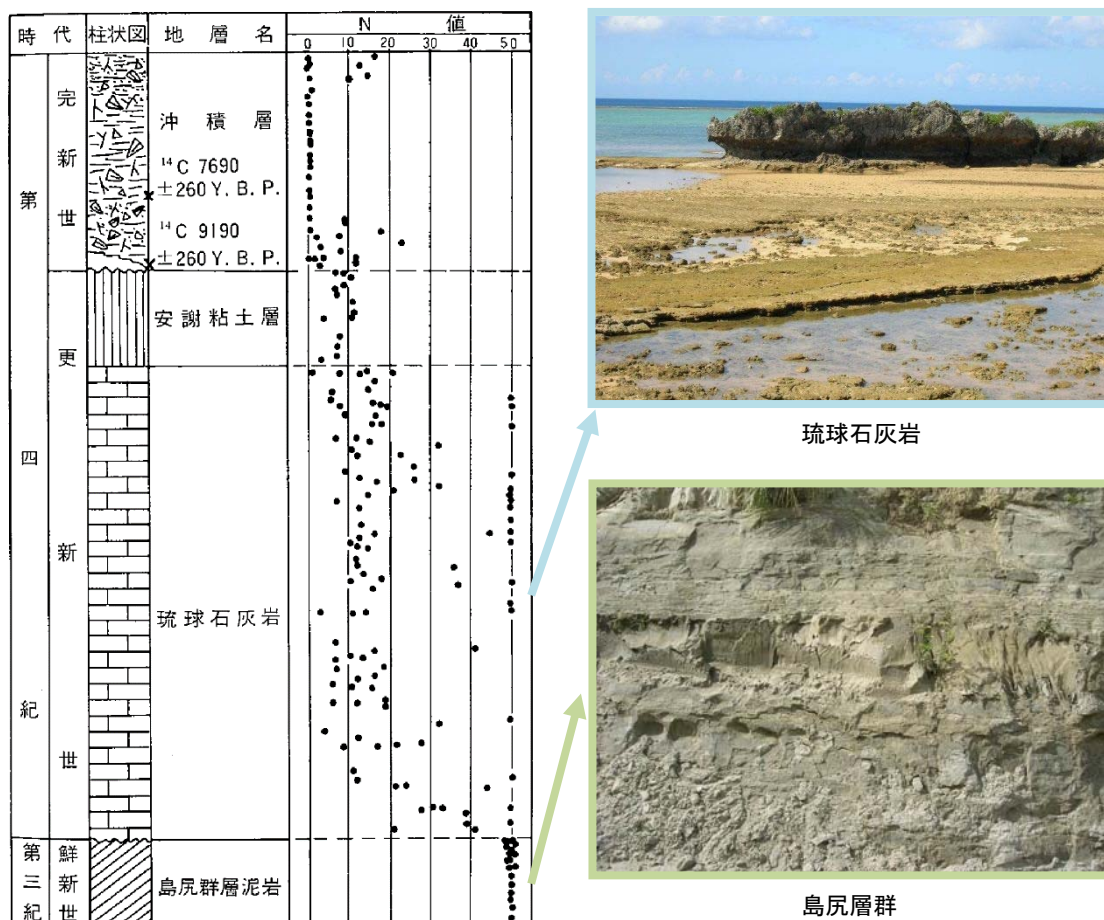


図 3.2 那覇市一帯の地質層序と N 値の分布（古川・仲村，1982）※²

これら、沖縄島中南部地域の地質構成を基に、地層のモデリングを行った。

採熱計算に使用する熱物性値は、熱物性試験結果及び既往の文献から整理した結果を使用した。

※¹：福田理ほか 24 名（1970）、第 5 次沖縄天然ガス調査・研究概報：地質調査書月報 21 巻、11 号

※²：古川博恭・仲村剛（1982）、那覇市及びその周辺海域の地盤（沖縄の地盤その 1）、琉球列島の地質学研究第 6 巻

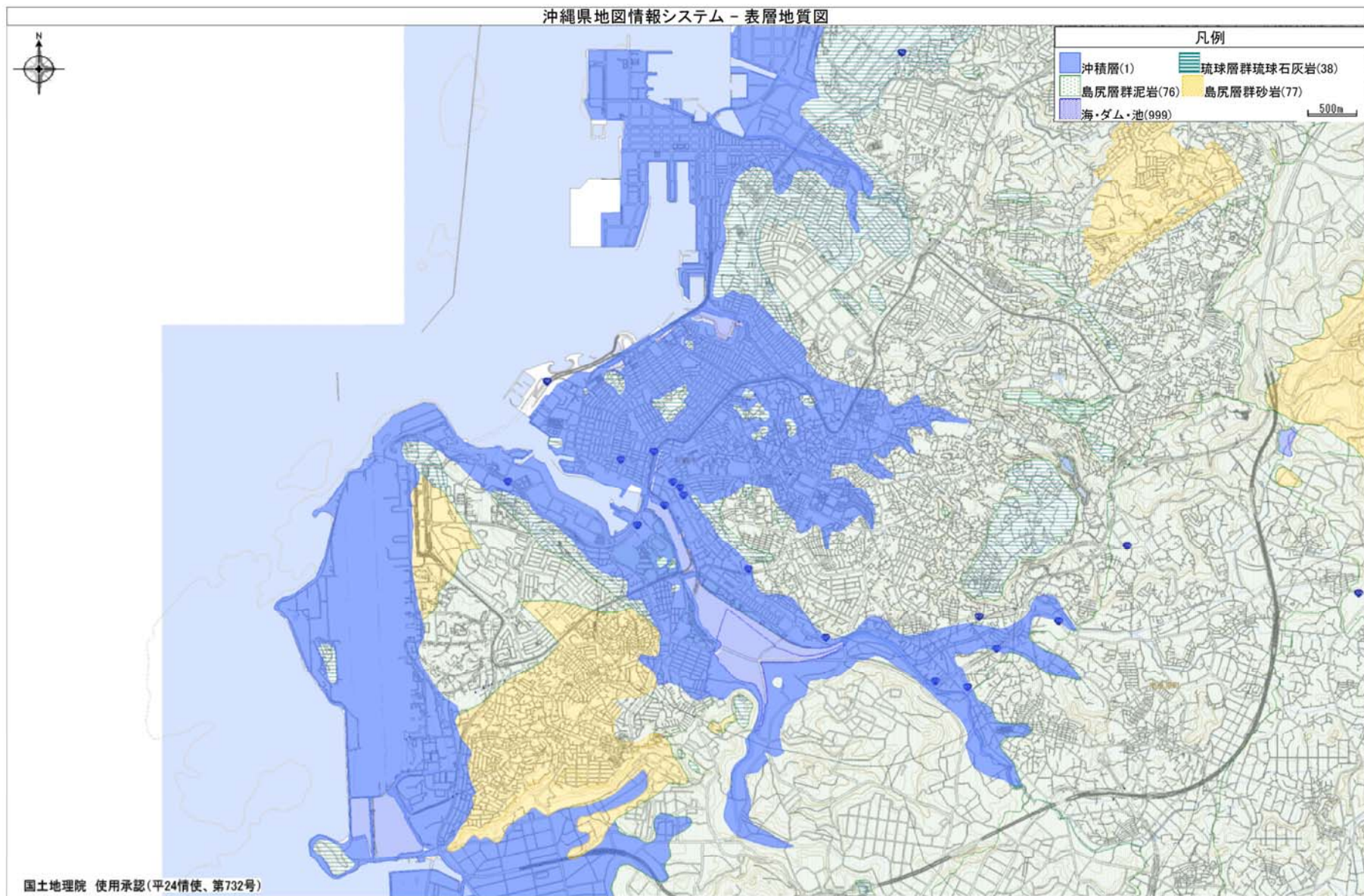


図 3.3 那覇市一帯の表層地質図

(3)採熱能力計算

採熱能力の計算はボーリング柱状図単位で以下の手法で実施した。

【計算手法】

- ・採熱能力の計算方法：一次元非定常熱伝導方程式
- ・ボーリング柱状図の最下端が熱交換井深さに満たない場合は、最下端層が岩盤もしくは石灰岩の場合のみ熱交換井深さまで延ばす。最下端層が岩盤もしくは石灰岩でない場合は、計算対象外とする。
- ・地盤モデルは、地下水はないものとして、常に湿潤状態で計算する。
- ・設計者の使い易さを考慮して、明確でない地盤条件（地下水流速、不易層温度）は、安全側である「地下水流速＝ゼロ、不易層温度＝平均気温」で計算する。

【一次元非定常熱伝導方程式】

(1)式で得られた温度分布から、ある時刻における採熱部外表面熱流量(W/m)を(2)式から求める。

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = k \left\{ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) \right\} \quad (1)$$

r 方向(半径方向)の土壤温度勾配

$$dq(t) = 2\pi r_{GHX} k \frac{\partial T}{\partial r_{GHX}} \quad (2)$$

dq : 単位長さ当たりの採熱部外表面熱流量(W/m)

ρ : 密度、 c : 比熱、 k : 熱伝導率、 r : 半径方向位置、 t : 時間、 T : 温度

r_{GHX} : 採熱管の半径、 $2\pi r_{GHX}$: 採熱管の周長

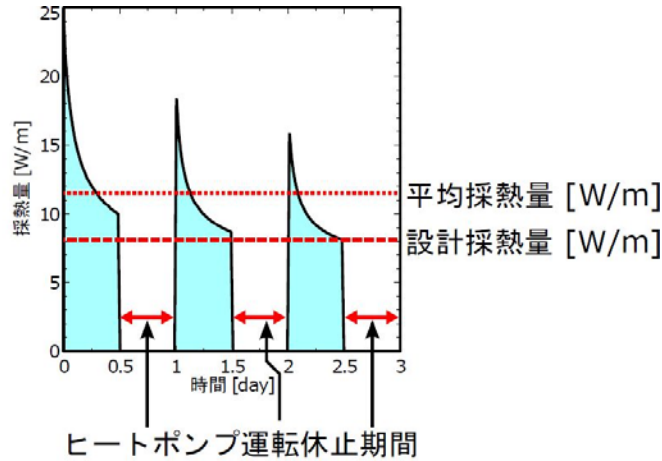
【沖縄県での標準的な計算条件】

沖縄県の地中熱運用の標準パターンの設定

- ・冷房期：5月～10月、暖房期：12月～3月
- ・1日の冷房運転時間：住宅16時間/日、官庁8時間/日、病院24時間/日
- ・1日の暖房運転時間：住宅8時間/日、官庁8時間/日、病院24時間/日
- ・運用年：5年
- ・地中温度（平均気温）：23.1℃
- ・熱交換井長さ：10m、20m、50m
- ・管壁面温度：冷房期45℃、暖房期10℃
- ・地下水流速=0m/s
- ・地盤モデル：湿潤状態

【出力結果】

- ・平均採熱能力(W/m)：「運転期間中の採熱能力」（ヒートポンプ運転期間の全採熱量(J)をヒートポンプ運転期間で割ることで平均した値）
- ・設計採熱能力(W/m)：「運転後の採熱能力」（ヒートポンプ運転期間の採熱量の最低値(W/m)）（設計に用いる採熱能力）



【計算結果（各地層の設計採熱能力(W/m)）】

- ・沖縄県での標準的な運用条件で計算した各地層の設計採熱能力(W/m)を示す。
- ・ボーリング調査結果等から明らかになった地層構成より、地層厚×各地層の設計採熱能力(W/m)でその場所の採熱能力を把握することができる。

表 3.2 各地層の設計採熱能力

No	ユーザー定義コード	モデリング区分名	設計採熱能力 [W/m]			備考
			住宅	官庁	病院	
1	1	ローム	-	-	-	
2	2	人工物, 表土	8.55	14.00	8.28	熱物性値は既往文献より設定
3	3	泥炭	9.71	14.86	8.70	熱物性値は既往文献より設定
4	4	粘土	13.24	22.17	13.25	熱物性値は既往文献より設定
5	5	砂	9.69	17.05	10.27	熱物性値は既往文献より設定
6	6	砂礫	14.15	23.96	14.38	サンゴ礁岩の試験値
7	7	島尻層群	12.12	22.80	12.81	島尻層群(砂)の試験値
8	8	凝灰岩	9.41	15.55	9.23	熱物性値は既往文献より設定
9	9	花崗岩	-	-	-	
10	10	流紋岩	-	-	-	
11	11	風化岩	12.15	21.46	12.91	熱物性値は既往文献より設定
12	12	軽石	-	-	-	
13	13	スコリア	-	-	-	
14	14	垂炭	-	-	-	
15	15	空洞	0.00	0.00	0.00	
16	16	琉球石灰岩(粘土主体)	15.69	27.93	16.72	琉球石灰岩として評価
17	17	琉球石灰岩(砂礫主体)	15.69	27.93	16.72	琉球石灰岩として評価
18	25	琉球石灰岩	15.69	27.93	16.72	琉球石灰岩
19	22	未固結石灰岩(砂礫主体)	15.69	27.93	16.72	琉球石灰岩として評価
20	23	未固結石灰岩(粘土主体)	15.69	27.93	16.72	琉球石灰岩として評価
21	24	琉球石灰岩固結部・未固結部互層	15.69	27.93	16.72	琉球石灰岩として評価
22	20	石灰岩	15.69	27.93	16.72	琉球石灰岩として評価
23	18	珊瑚堆積物	15.69	27.93	16.72	琉球石灰岩として評価
24	19	デイサイト	14.87	28.09	15.67	熱物性値は既往文献より設定
25	21	斑岩	24.45	48.93	24.78	熱物性値は既往文献より設定

【採熱能力(W/m)の使い方】

地中熱交換器（暖房、冷房）の熱需要(W)÷採熱能力(W/m)=必要な掘削深度長(m)

(暖房と冷房では地中熱交換器の熱需要が異なるため、暖房と冷房で必要な掘削深度長をそれぞれ計算した上で長い方の掘削深度長を採用する。)

計算例

冷房熱需要 5kW、設計採熱能力 40W/m の場合、

$$5,000\text{W} \div 40\text{W/m} = 125\text{m}$$

暖房熱需要 4kW、設計採熱能力 35W/m の場合、

$$4,000\text{W} \div 30\text{W/m} = 114\text{m}$$

必要な掘削深度長：125m

(4)調査サイトにおける設計採熱能力

調査サイトのボーリング調査結果および熱物性試験結果を用いて、上記手法で設計採熱能力(W/m)を算出した。各サイトで大きな差異は見られないが、僅かに沖縄コンベンションセンターで設計採熱能力が高いことが示される。

表 3.3 調査サイトにおける設計採熱能力

	設計採熱能力(W/m)								
	熱交換井長さ: 10m			熱交換井長さ: 20m			熱交換井長さ: 50m		
	住宅利用	官庁利用	病院利用	住宅利用	官庁利用	病院利用	住宅利用	官庁利用	病院利用
沖縄コンベンションセンター	12.65	21.67	12.95	14.17	24.80	14.83	13.11	23.84	13.81
県立博物館・美術館	11.84	22.09	12.44	11.98	22.45	12.62	12.07	22.66	12.73
県立総合教育センター	11.83	21.66	12.32	11.98	22.23	12.56	12.07	22.57	12.71

3.2 地中熱採熱期待値マップの作成

(3)で算出したボーリング柱状図毎の設計採熱能力(W/m)を、空間補間して地中熱採熱期待値マップを作成する。空間補間とは、限られた地点（ボーリング柱状図）において計算された空間的事象の値から、計算されていない任意地点（補間点）における値を推定することである。

空間補間を行う上での前提として、空間補間を行う対象の空間情報には、空間的自己相関が存在する（距離の近い点は、類似性が高い）が挙げられる。

逆距離加重平均法 (IDW: Inverse Distance Weighted Average)

補間点から観測点までの距離に関する重みを付けて、加重平均する方法である。

観測点までの距離の逆数(逆距離)を重み付けした加重平均を用いることにより、近くの観測値を大きく評価した補間が可能である。

(例) 距離²の逆数で重み付け

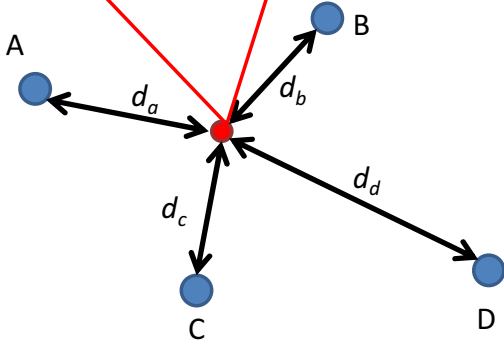
$$\text{補間値 } z^* = \frac{z_a d_a^{-2} + z_b d_b^{-2} + z_c d_c^{-2} + z_d d_d^{-2}}{d_a^{-2} + d_b^{-2} + d_c^{-2} + d_d^{-2}}$$


図 3.4 逆距離加重平均法のイメージ図

那覇市周辺における出力例として、熱交換井 20m の場合を図 3.5～図 3.7 に示す。

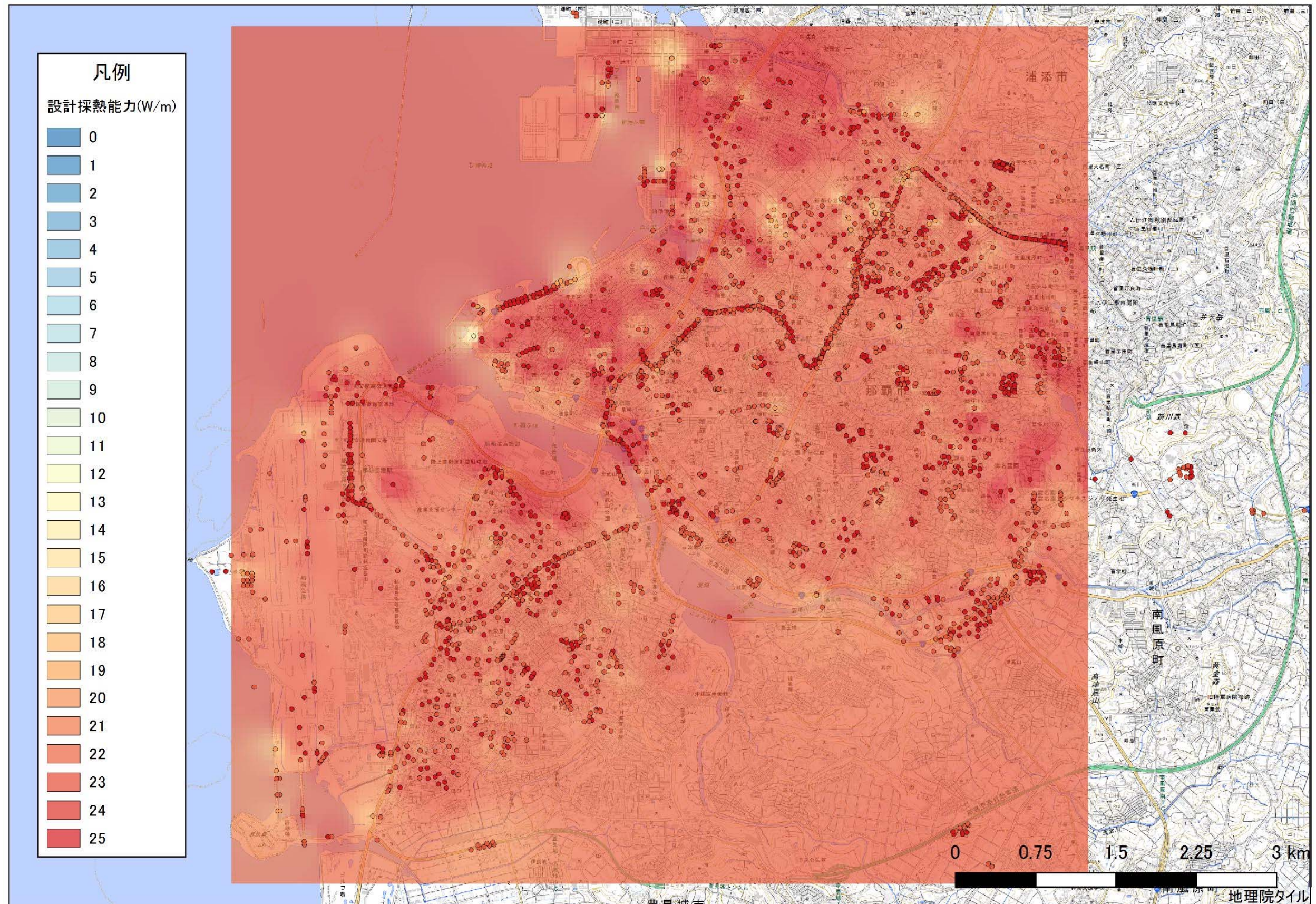


図 3.5 地中熱採熱期待値マップ（那覇市周辺、官庁利用、熱交換井長さ：20m）

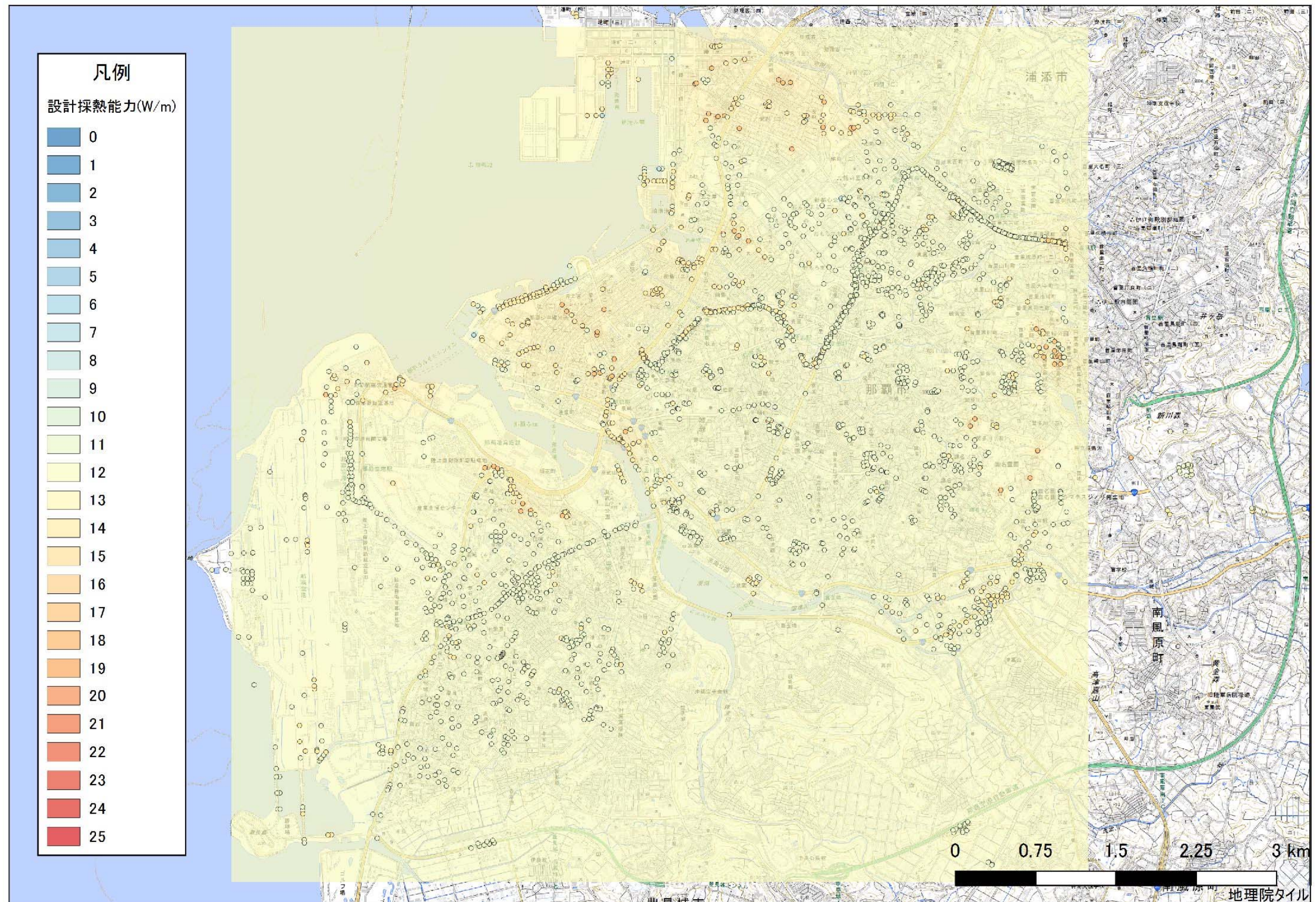


図 3.6 地中熱採熱期待値マップ（那覇市周辺、住宅利用、熱交換井長さ：20m）



図 3.7 地中熱採熱期待値マップ (那覇市周辺、病院利用、熱交換井長さ : 20m)