

# 地下海水調査における試験井戸孔内の鉛直塩分変化特性

東北ボーリング㈱ ○ 葛巻 圭吾 菊地 真

## 1. はじめに

近年、水産資源の減少による漁業生産量の低下とマイクロプラスチック等による海洋汚染等が問題となっている。その解決策の一つとして陸上養殖が日本各地で計画され、成果を上げている。陸上養殖は漁業生産量の管理が可能で、海洋汚染の影響を受けない点で今後ニーズが増す分野である。陸上養殖で使用する海水取水方法の一つである海水井戸のニーズも増加している。

海水井戸は主として沿岸部の地下海水を取水し、陸上養殖施設へと供給する取水方法である。しかしながら、沿岸部の地下海水は陸域からの淡水と海域からの海水が混在している。その分布は、地形・地質及び護岸構造等の影響を受け、試験井戸による海水取水の可能性調査が重要になってくる。本報では、試験井戸で測定した塩分変化、特に鉛直塩分変化特性の事例を紹介する。

## 2. 測定方法

鉛直塩分測定は、ポータブル電気伝導率計(図-1)を用いて地下水を深より、深度 0.5m 毎に塩分・電気伝導率・水温を測定した。測定は揚水試験実施前後に行った。

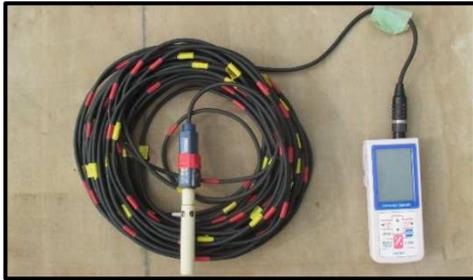


図-1 ポータブル電気伝導率計

## 3. 試験井戸仕様

試験井戸仕様を図-2 に示す。ストレーナ位置は地下水位を以て深の鉛直塩分変化を測定するため、G. L.-2.5m～-23.5m とした。

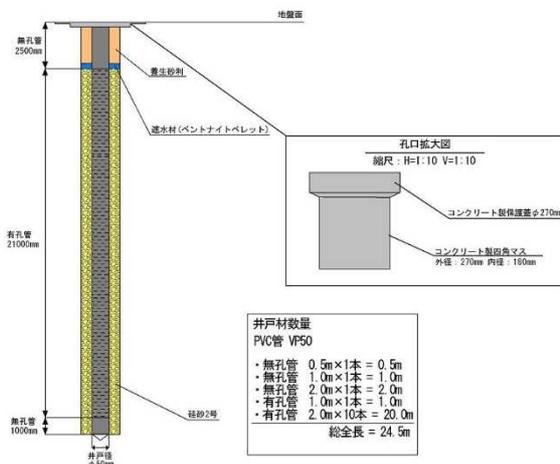


図-2 試験井戸仕様図

## 4. 鉛直塩分測定結果

鉛直塩分測定は揚水前後に行い、本調査では2月及び3月に各1回ずつ実施した。測定結果を図-3～図-5 に示す。

2月・3月ともに、揚水終了後に著しく塩分が低下している。揚水中の塩分変化は2月が0.92%～0.98%、3月が0.93%～1.00%であり、揚水による塩分低下が揚水開始直後から発生していることがわかる。

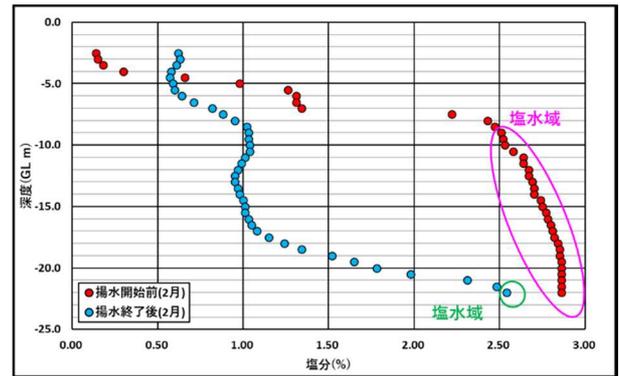


図-3 鉛直塩分測定結果(2月)

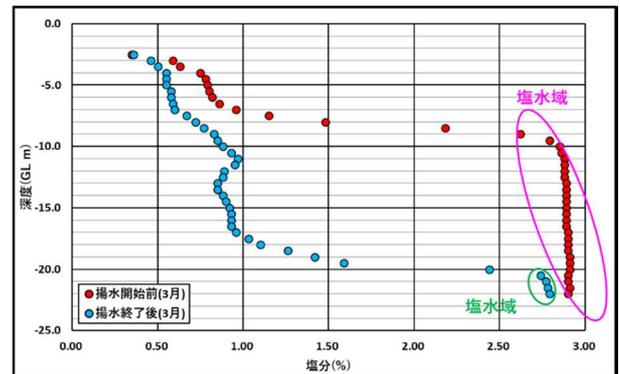


図-4 鉛直塩分測定結果(3月)

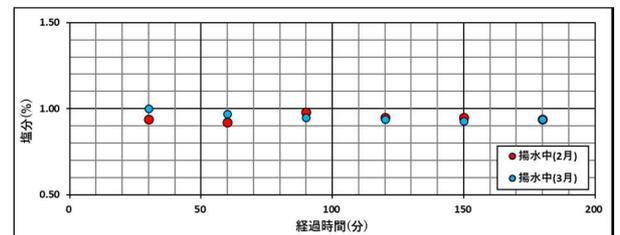


図-5 揚水中の孔内水の塩分変化

## 5. 地質区分と鉛直塩分分布変化特性

本調査では、砂質土主体の海浜堆積物とその上位の浚渫土砂からなる埋土を確認した。深度 23.4m 以深は新第三紀の泥岩からなり、本調査での不透水層とした。海浜堆積物は粒径の異なる砂質土と礫及びシルト等を含んでいる(図-6)。なお、自然水位は調査期間中、G. L.-2.24m～-2.80m 間で変動している。

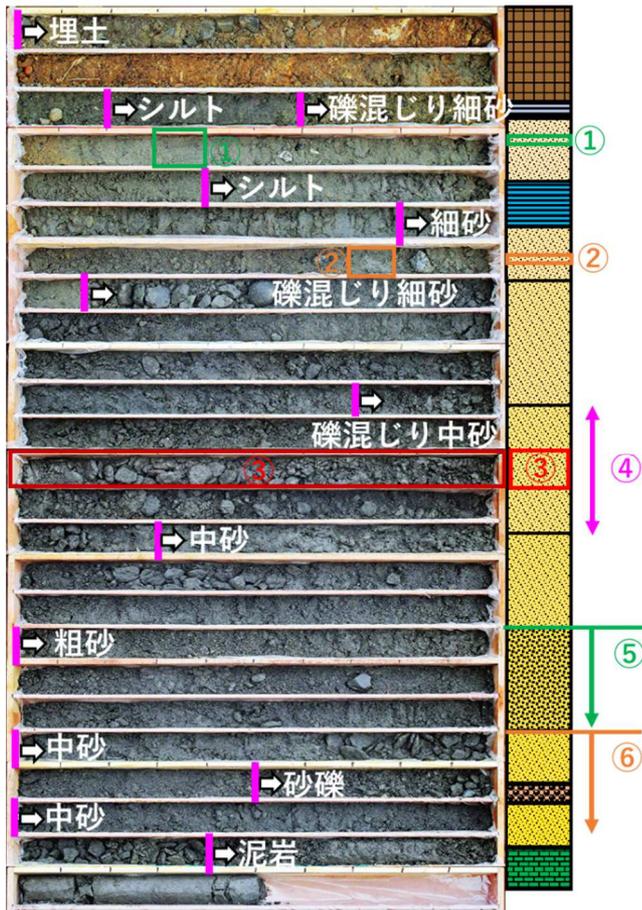


図-6 ボーリングコア写真

ボーリングコア観察結果と、鉛直塩分測定結果を対比した結果を図-7に示す。

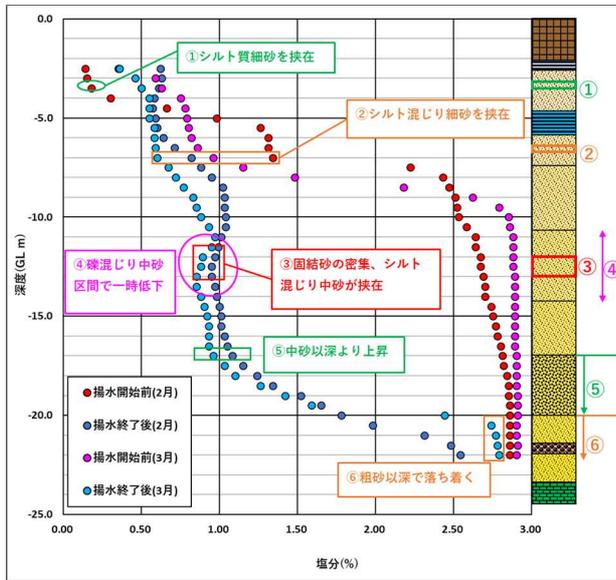


図-7 コア観察結果と鉛直塩分変化の対比図

地層変化と揚水による鉛直塩分変化は調和的である。同一地層内においても、細粒分の多い砂質土や粘性土の挟在が揚水による鉛直塩分の顕著な変化の引き金となる場合もあることがわかる。

## 6. 考察

### (1) 地形の影響

調査地の背後は「那珂台地」が分布し、南西部には那珂川の河口が分布している。また、調査地はかつては海域であり、浸漬土砂等による埋土造成がなされている。

背後に分布する台地は、擁壁に湧水の形跡があるほか、部分的に植生も認められる。このことより、台地由来の淡水が流入し、揚水後の試験井戸内の顕著な塩分低下を引き起こした可能性がある。

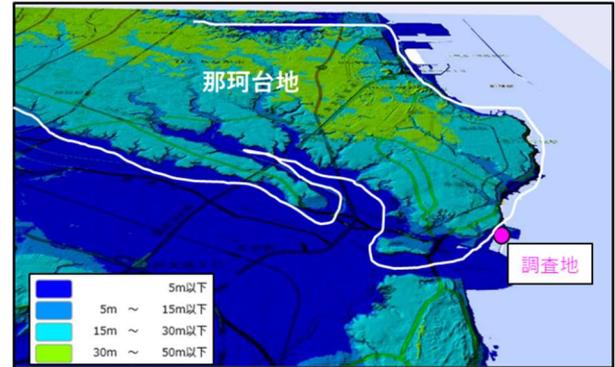


図-8 調査地付近地形図<sup>1)</sup>

### (2) 揚水の影響

揚水量 27.0 l/min~33.0l/min で、連続 3 時間の揚水を行った。2 月・3 月ともに揚水後に、揚水後に塩水域が著しく低下している(図-2・図-3)。2 月の揚水の 1 ヶ月後に測定した 3 月の揚水前では 2 月の揚水前程度に回復している。このことから、揚水によって試験井戸内の塩水・淡水のバランス変化が起こったといえる。

## 7. おわりに

沿岸部での地下水は、海水と淡水のバランスにより塩分が大きく変化する。本報で示した事例では、揚水により塩分の低下が認められたが、一方揚水による塩水化が問題となる事例もある。海水を対象としたさく井工事では、塩分が目的に達しない場合のリスクが大きい。

本報では鉛直塩分変化について述べたが、平面方向は地形、背後地の地下水涵養量、護岸構造物等による海水取水への影響が大きく、小孔径での試験井戸による調査はリスク回避の面で有効である。コア採取が容易である事、試験費用がさく井工事と比較し大幅に少ない事で複数箇所の調査が実施可能である。また、コア採取を行う事で丁寧な地層区分を行い、ストレーナ区間の検討に生かすことができる。

ただし、小孔径試験井戸では十分な揚水が行えない場合もあり、小孔径用の水中ポンプの適用が課題である。

### 《引用・参考文献》

- 1) 「地理院地図 国土地理院 <http://maps/gsi.go.jp>」より一部抜粋加筆(確認日:2022年6月28日)

## 沖縄県伊良部島の地下水面および淡水レンズ形状

(株)エイト日本技術開発 ○トン リミン, 渡辺 俊一, 風見 健太郎, 齋藤 晴紀  
宮古市水道部 兼島 方昭, 上地 琢也

### 1. はじめに

伊良部島は沖縄県宮古市に属し、宮古島の北西約5kmに位置する。面積は約29km<sup>2</sup>、地形は全体に平坦で最高点は標高89m（島南東部）の楕円形の島である。

地質は第四紀更新世の琉球層群琉球石灰岩とその下位の新第三紀鮮新世～第四紀更新世の島尻層群砂岩及び泥岩からなる<sup>1)</sup>。伊良部島では不透水性基盤である島尻層群のほとんどが海水準以下に分布しているため、琉球石灰岩中に淡水レンズが形成されている。

伊良部島では2015年までこの淡水レンズの地下水を水道水源として利用していた経緯があり（現在は宮古島から送水されている）、また近年では、観光客の増加に伴う水需要増や災害時の予備的水源確保の観点から、改めて伊良部島内での水源の必要性が検討されている<sup>2)</sup>。

本稿は2018年度～2021年度に宮古市から発注された「地下水保全調査業務<sup>3)</sup>」における伊良部島の不透水性基盤上面形状、地下水面形状、淡水レンズ形状などに関する調査結果を報告するものである。

### 2. 調査方法

本調査では、不透水性基盤上面形状を把握するため、ボーリング調査（20地点）、および伊良部島のような単純な2層構造の地質に有効とされる垂直電気探査（12地点）を行った。また、地下水面形状を把握するため、月1回の手測り地下水位観測をボーリング観測孔（最大21箇所）、旧水源井戸（10箇所）で行った。さらに、淡水レンズ形状を把握するため、地下水位観測と同地点で使用した地下水の電気伝導率深度別測定を行った。

### 3. 調査結果

#### (1) 不透水性基盤上面形状

図-1は伊良部島の東西方向の地質断面図である。サンゴ石灰岩や石灰藻球石灰岩の互層から成る琉球石灰岩の下位に不透水性基盤である島尻層群（砂岩優勢）が分布する。不透水性基盤上面は、東から西に水平距離約1000mに対して約10m～15mの低下で、緩く傾斜している。また、伊良部島東部には南北方向に延びる正断層があり、図-1では断層東側の地質が約20m下にずれている。

図-2は不透水性基盤上面コンター図である。不透水性基盤標高は、島東部の断層沿い（断層西側）で高くなっており、ボーリング調査R2-I-2と垂直電気探査H31-IE-7の2地点では標高0m以上（海水準以上）であった。

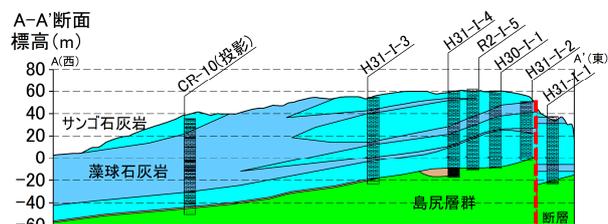


図-1 A-A'断面の地層断面図(縦横比10:1)

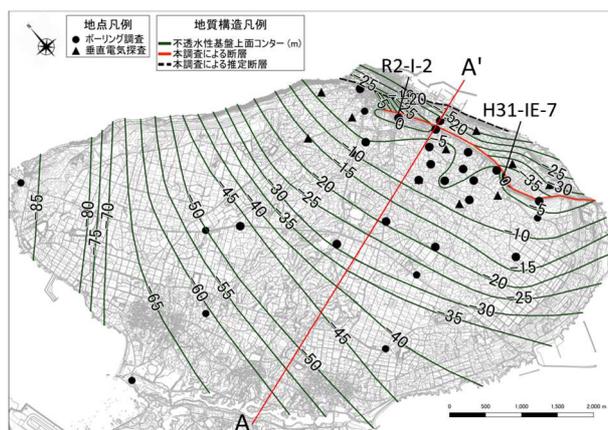


図-2 不透水性基盤上面コンター図

#### (2) 地下水面形状

図-3は高水位期と低水位期の地下水位コンター図である。地下水面形状は、低水位期は2022年2月の地下水位コンターのように、島の東寄り（断層西側）の範囲で地下水位が最も高く、一方で、高水位期は2020年11月のように、島の東寄り（断層西側）から島の中央部まで広がっていた。

一般に海水準以下まで琉球石灰岩から成る島では、地下水位は島中央部で最も高くなることが多いが、伊良部島では時期によって地下水面の高まりの範囲が異なっていることが明らかになった。

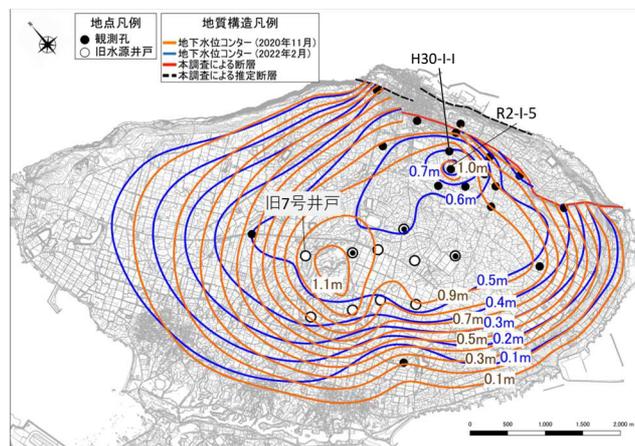


図-3 地下水位コンター図  
(2020年11月:高水位期、2022年2月:低水位期)

(3) 淡水レンズ形状

図-4に地下水の電気伝導率鉛直分布のうち、下部に塩水が確認された R2-I-1 地点と、琉球石灰岩中に塩淡水境界が存在しない H30-I-1 地点の結果を示す。

R2-I-1 では電気伝導率は標高-13.82m までは 100mS/m 未満であったが、標高-14.82m 以深では電気伝導率の上昇が見られ、標高-20.82m 以深は約 4800mS/m でほぼ一定であった。一方、島東寄り（断層西側）に位置する H30-I-1 では不透水性基盤上面の標高が高いため、琉球石灰岩中の電気伝導率は全深度で 100mS/m 以下であり、琉球石灰岩中に塩淡水境界は見られない結果であった。

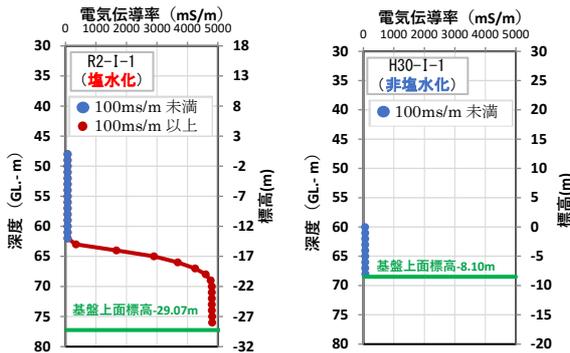


図-4 地下水の電気伝導率鉛直分布(2021年11月測定)

図-5は淡水レンズ下端(100mS/m)標高コンター図である。ここでは水道水源利用を前提に、塩化物イオン濃度の水道水質基準 200mg/L に相当する電気伝導率 100mS/m を淡水レンズ下端として作成した(伊良部島の淡水の一般値は約 50mS/m~70mS/m)。

淡水レンズ下端の標高が最も低い範囲は伊良部島中央部の R2-I-1 付近で、標高約-14m であった。また、島の東寄り(断層西側)では不透水性基盤上面標高が高いため、H30-I-1 のように琉球石灰岩中の地下水が淡水である範囲(図-5中の水色範囲)が確認され、その範囲の面積は 1.60km<sup>2</sup>と推定された。

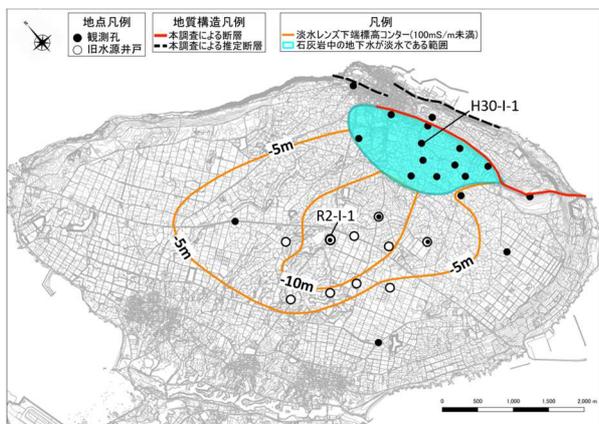


図-5 淡水レンズ下端(100mS/m)標高コンター図(2021年11月)

(4) 淡水地下水量の推定

図-6は図-2、3、5を基に作成した伊良部島の地質および淡水レンズ(100mS/m 未満)の3次元モデル(島南側非表示)

び淡水レンズ(100mS/m 未満)の3次元モデルである。琉球石灰岩の有効間隙率を10%とすると、このモデルから伊良部島の淡水地下水量(100mS/m 未満)は 1,069 万 m<sup>3</sup>と推定された。また、このうち琉球石灰岩中の地下水が淡水である範囲における淡水地下水量(100mS/m 未満)は 87 万 m<sup>3</sup>と推定された。

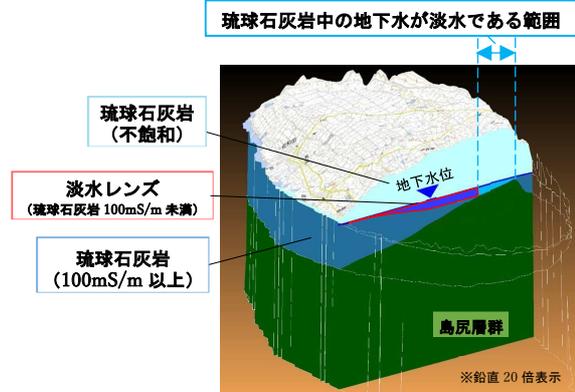


図-6 伊良部島の地質および淡水レンズ(100mS/m 未満)の3次元モデル(島南側非表示)

4. 考察

調査の結果、塩淡水境界位置が琉球石灰岩中ではなくその下位の島尻層群中にある箇所が存在することが判明した。塩淡水境界位置が透水性の低い島尻層群中にあることは、揚水等に伴う水位変動で塩淡水境界位置が動きにくいことを意味する。従って、伊良部島の地下水利用においては、淡水レンズが厚い島中央部に加え、琉球石灰岩中の地下水がすべて淡水である島東部の地下水利用が有効であると考えられる。

また、低水位期には地下水面の高まりが島の東寄りに位置していた理由として、低水位期は、断層沿いの不透水性基盤の高まりによって、地下水の断層東側への流れが遮断されている可能性が考えられる(図-7)。地下水が東側の海と繋がっていない場合、地下水揚水時における塩水化リスクが減ることになるため、今後の追加調査により断層沿いの不透水性基盤上面形状を詳細に把握することが重要である。

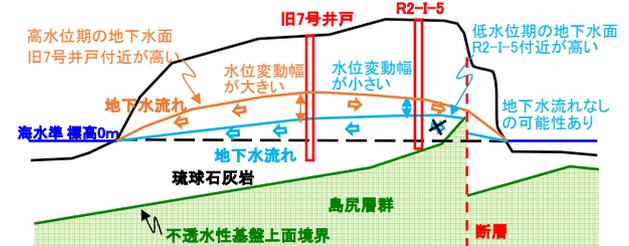


図-7 高水位期及び低水位期の地下水流れの模式図

《引用・参考文献》

- 1) 矢崎清貴：伊良部島地域の地質，p. 9，1978
- 2) 宮古島市：第4次宮古島市地下水利用基本計画，p. 62，2021. 6
- 3) 宮古島市：令和3年度地下水保全調査業務報告書，pp. 1-1~8-8，2022. 2

## 源泉開発に伴う物理検層の評価と判定

株式会社アーステクノ ○若松和幸, 住吉武志, 山下祐志

### 1. はじめに

本稿は、ナトリウム塩化物温泉が多い土地で単純温泉（無味無臭で刺激の少ない温泉）を湧出させるためのこれまでにない検討方法を報告する。主な検討内容は次に示した。検討結果より、800mから1100m間の高温水部でナトリウムイオン濃度の低い部分から採水する計画とした。

- ① ケーシングは地質・深度に応じた多段掘削とした。
- ② 低温水部の確実な遮水を行った。
- ③ 高品質セメントで高耐久性構造とした。
- ④ 低温水、塩化物泉部の遮水対策を行った。
- ⑤ 周辺温泉で影響調査を行った。

### 2. 物理探査の概要

鹿児島交通局再開発事業の、温泉掘削工事に先立ち、温泉源の分布状況について、地表からの探査を実施した。

鹿児島市北部地域の地温勾配は4℃/100m以上あり、温泉温度の分布も50℃以上の分布を示す。既存資料によると鹿児島市内は火山熱水地帯に区分される。そこで、物理探査は鹿児島市の単独の磁気探査だけでなく、2手法（MT法1点ならびにCSAMT法5点）を組み合わせたHybrid MT電磁探査を行った。さらに市街地の都市機能の影響を受けない重力探査を20m間隔の全220点で行い、精密な深部地下構造を把握した。

### 3. 物理探査

#### (1) 基盤岩深度

基盤岩深度分布の推定を図-1に示す。Hybrid MT電磁探査結果および収集した既存データに基づいて作成しており、図中の枠内が対象地である。

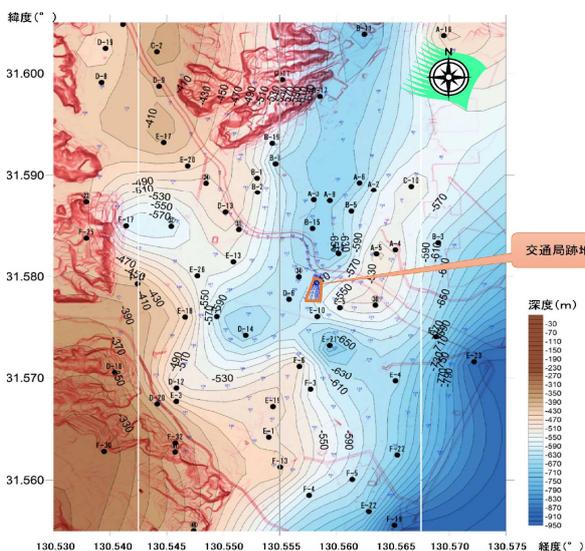


図-1 既存資料に基づき再検討した基盤岩深度分布<sup>1)</sup>

#### (2) 泉温

掘削予定地予想される泉温を表-1に示す。

表-1 掘削予定地で予想される泉温<sup>1)</sup>

掘削深度 m	孔底温度 ℃	泉温 ℃ (SUS)	泉温 ℃ (FRP)
900	58	47~54	50~57
1000	61	49~56	52~59
1100	64	51~58	54~61

- ・カッコ内は揚湯管の材質
- ・地温勾配3.0℃/100mを仮定
- ・周辺の温泉の多くが入る範囲からの予想であり、上表の範囲を外れる事例が少なからずある。

#### (3) 泉質

推定される温泉水の平面的な流動方向の推定を図-2に示す。

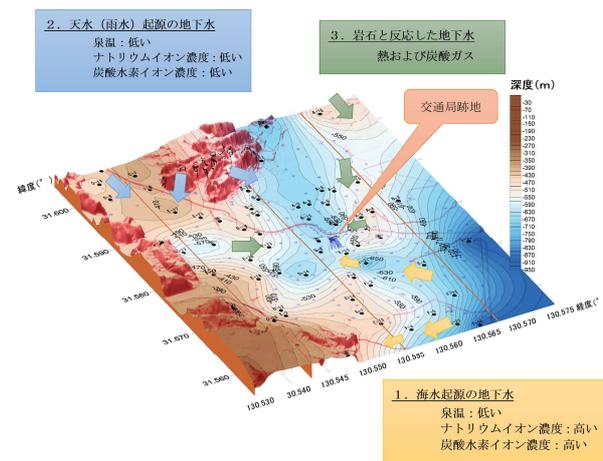


図-2 基盤地質構造と温泉水の平面的な流動方向推定<sup>1)</sup>

### 4. 物理検層の評価

井戸崩壊防止の鋼管挿入は、孔内物理検層と掘削状況（掘削切屑・掘進率）から地質状況を推測した検層図に基づいて行った。図-3に検層図（抜粋）を示す。

検層図より、600m以深は、50-150Ω・m程の小刻みな変化が多い低比抵抗層に、350Ω・m程の高比抵抗・低自然放射能層を挟むことが昭基なった。地質は頁岩-砂質頁岩が優勢な砂岩を挟む互層と推測した。750m以深部は、比較的低い塩分濃度と予想した。孔底温度は（61.4℃度≒1104m）であった。

#### (1) 物理検層測定内容

自然放射能・比抵抗・電導度(青)・孔内温度(赤)

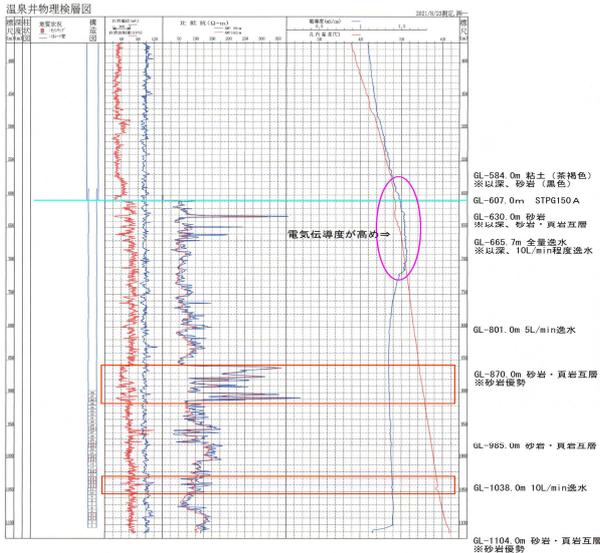


図-3 検層図(抜粋) 2)

## (2) 測定結果

基盤の工学的性状は検層結果で大きく4つに区分した。

- ① 600m- 671m 塩水化の進んだ温泉脈
- ② 671m- 858m 塩分濃度が若干低い温泉脈
- ③ 858m- 912m 高比抵抗・低自然放射能層
- ④ 912m-1104m 低比抵抗・高自然放射能層

## (3) 貯留層評価

貯留層の判断は次の点に留意した。

- ① 比抵抗値が大きく変化する地層境界
- ② 高比抵抗部で局部的に低比抵抗を示す区間
- ③ 比抵抗値が高い区間
- ④ 自然電位の変化が大きい区間
- ⑤ 温度変化が大きな区間
- ⑥ 自然放射能強度変化が大きな区間
- ⑦ 電導度変化が大きな区間

単純泉湧出のため、600mから720mまでの電導度の高い部分は除外し、800m以深の全体を貯留層と評価した。

## 5. 揚湯量について

### (1) 目的

鹿児島県は揚湯量の上限を  $Q=100\text{L}/\text{min}$ 、限界揚湯量の8割以下を適正揚湯量とする指導を行っている。揚湯試験は、予備揚湯試験、段階揚湯試験、温泉帯水層試験(または一定量連続揚湯試験及び水位回復試験)の順番で実施した。

### (2) 揚湯試験

段階揚湯量試験での揚湯量と水位降下の関係を図-4に示した。この関係は、貯留層の性質や湧出量で異なる。本工事は段階揚湯試験を、80, 100, 120, 140, 160, 180L/minの6段階で実施した。140L/min までの揚湯では、短い時間で水位が安定した。160, 180L/min は前の段階より安定にまでに時間を必要とした。揚湯量と水位降下の相関関係は、概ね直線となった。揚湯量と水位降下の関係か

ら源泉井の能力を次のように判断した。

- ① 限界揚湯量  $Q=180.0\text{L}/\text{min}$ ( $\approx 259.20\text{m}^3/\text{day}$ )以上
- ② 適正揚湯量  $Q=100.0\text{L}/\text{min}$ ( $\approx 144.0\text{m}^3/\text{day}$ )
- ③ 比湧出量  $Q=80.0\text{m}^3/\text{day}/\text{m}$   
(揚湯量  $Q=144.0\text{m}^3/\text{day}$  ÷ 水位降下量  $s=1.8\text{m}$ )

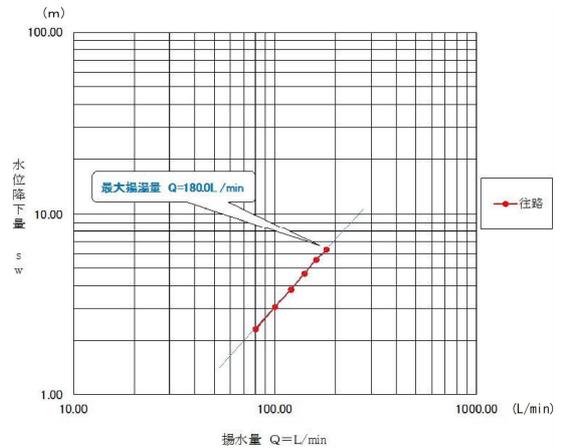


図-4 揚湯量と水位降下の関係(s-Q 曲線図) 2)

段階揚湯試験で設定した適正揚湯量は、温泉帯水層試験を行い適性を評価した。試験の方法は適正揚湯量で24時間以上揚湯し、動水位及び泉温の測定値が安定していれば、求めた適正揚湯量は源泉に対して適切と判断した。揚湯量  $Q=100.0\text{L}/\text{min}$  でくみ上げると経過時間が240分を越えたあたりから水位は安定し、最大水位降下量  $s$  は1.8mとなった。水位回復試験開始前(ポンプ停止前)に温泉中分析の検体を採取した。分析結果の概略を下記に示す。

- ① 揚湯量  $Q=100\text{L}/\text{min}$
- ② 泉温  $50.8^\circ\text{C}$
- ③ 泉質 ナトリウム-塩化物温泉  
(低張性 中性 高温泉)

## 6. おわりに

本報告の源泉は、湧出量の全国平均が  $Q=100.0\text{L}/\text{min}$  とであること、および水位降下量の全国平均が数100mにも達することも珍しくないことと比較すると、温泉湧出能力が極めて高い源泉である。物理探査は、解析法を工夫しナトリウムイオン濃度が低い源泉を目指した。さらにケーシングプログラムにも反映させた。泉温は高温水部泉質だった。しかし、ナトリウムイオン濃度が残り単純温泉に近い泉質に至らなかった。

それでも、泉温及び泉質について、顧客からは「大変満足している」と回答を頂いた。この検討に鑑みて今後も目指した泉温・泉質に取り組んでゆく。

## 《引用・参考文献》

- 1) 平成30年度 鹿児島交通局再開発事業 温泉掘削調査
- 2) 令和3年度 鹿児島交通局再開発事業 温泉掘削工事

# 電気検層と電気探査による水理特性の把握

日本物理探査株式会社 ○榎 力廣, 宮澤 広季, 東 浩太郎

## 1. はじめに

工業用地開発予定地において、工場用井戸を設置する計画がある。井戸設計に際して、帯水層の分布を把握するために、電気検層と電気探査を実施した。

調査内容は、以下のとおりである。

- ①電気検層：深度180m×4本
- ②電気探査(比抵抗二次元探査)4測線 計3,750m

図-1に電気検層実施地点および電気探査測線図を示す。

本稿では電気検層と電気探査、またボーリングの調査結果から調査地での帯水層の分布について考察した。

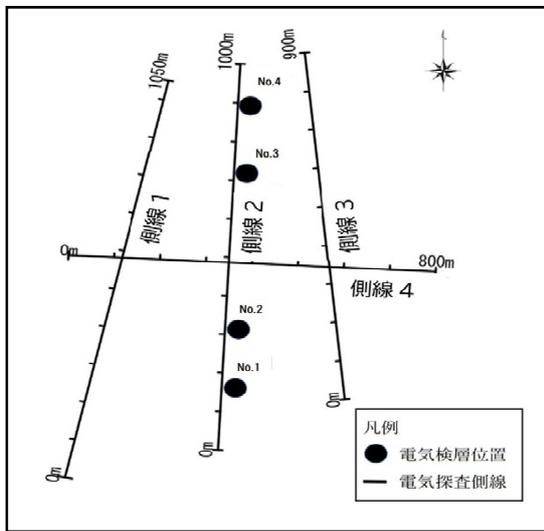


図-1 電気検層実施地点および電気探査測線

## 2. 調査方法

### (1) 電気検層

本調査では、ゾンデの電極間隔を0.25m・0.50m・1.00mとするノルマル法で実施した。図-2に電気検層の概要図を示す。

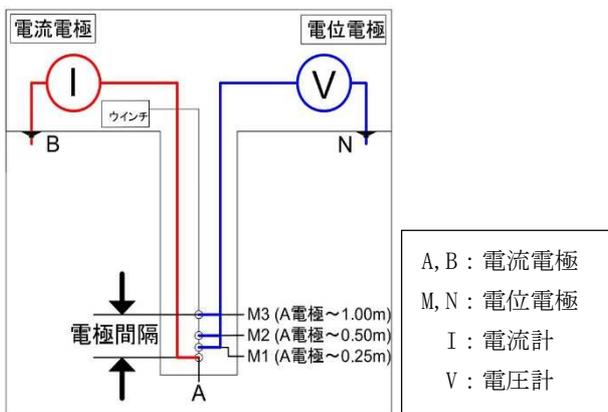


図-2 電気検層概要図

### (2) 電気探査

今回は、調査地に遠電極を設けることが困難であるため、ダイポール・ダイポール法電極配置を用いた。図-3に電極配置概要図を示す。電極間隔 $a$ は10mとした。

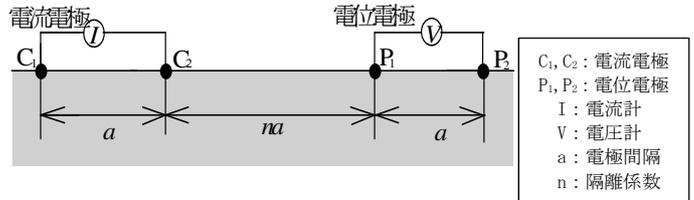


図-3 ダイポール・ダイポール法電極配置概要図

電気探査は、地盤の比抵抗を求める調査である。図-4に各地質の地質・土質と比抵抗との関係図を示す。

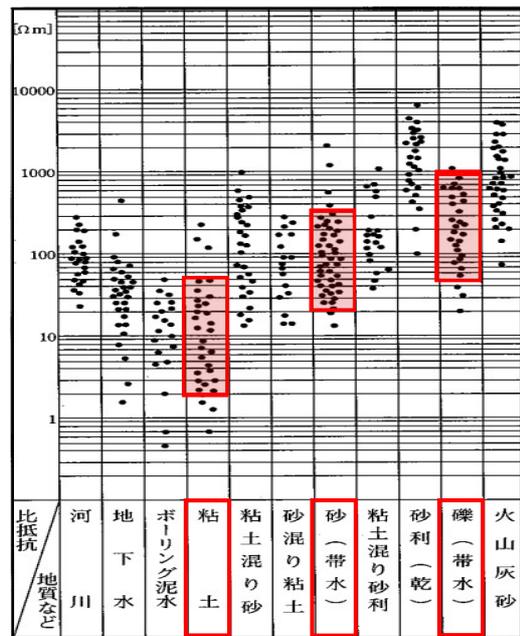


図-4 地質・土質と比抵抗との関係<sup>1)</sup>

## 3. 調査結果

### (1) 電気検層

図-5に各孔の電気検層結果を比較した図を示す。No. 1とNo. 2で非常に近い結果が得られ、ボーリング柱状図と比較すると、礫層部は、相対的に高比抵抗値を示し、帯水層と想定できる結果(図-5中の青枠)が得られた。また、細粒分を主体とする箇所では低比抵抗を示し、ボーリング結果と相関が認められた。しかし、柱状図では同一層とした層内においても、細粒分含有率の違いにより見掛け比抵抗値が変動する結果も得られた。

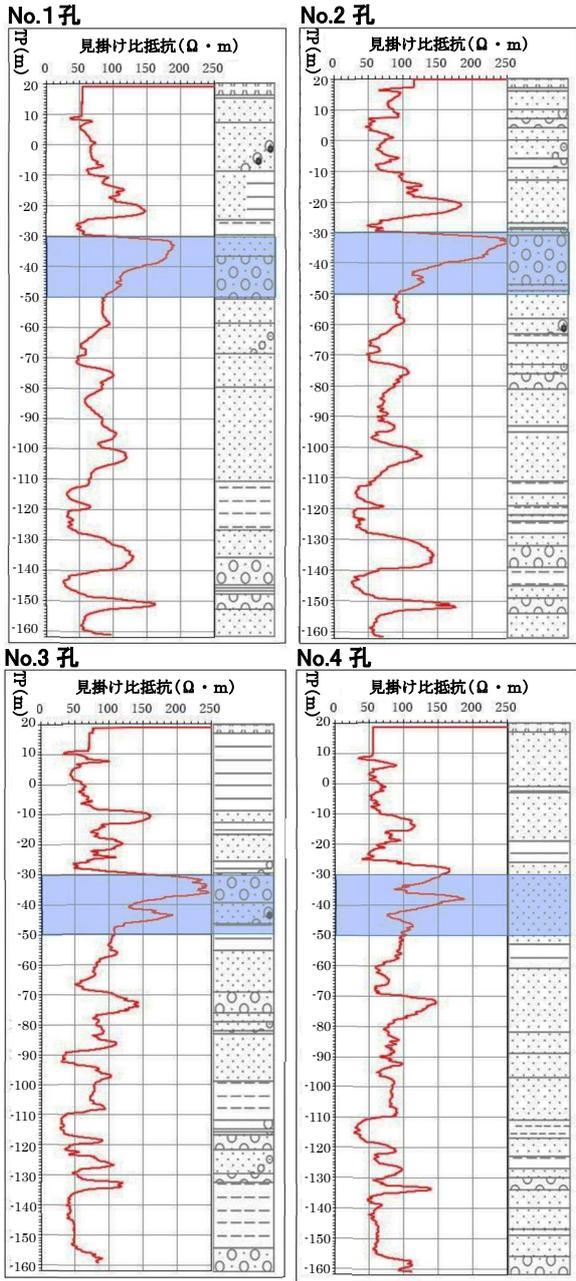


図-5 各孔の見掛け比抵抗値と柱状図との比較図

(2) 電気探査

図-6に4測線での比抵抗断面図を示す。測線1、測線2において、測線位置450m付近のTP-50m～TP-160に比抵抗値が100Ω・m以上の周囲より比抵抗値の高い箇所が見られた。図-4より砂(帯水)または礫(帯水)であると想定される。また、側線1～3のTP-100～-170m付近に比抵抗値40(Ω・m)以下の低比抵抗値を示す箇所が目玉状に確認され、粘性土層と想定された。ボーリング結果と照らし合わせると、低比抵抗部はボーリング柱状図のNo. 1孔とNo. 2孔ではシルト、礫の互層からなり、No. 3孔ではシルト層に該当した。

4. 電気検層と電気探査の結果比較

電気検層と電気探査の二つの調査を実施した結果から、以下に調査地の帯水層の分布について考察する。まず、電気検層の結果では No. 1から No. 4の全地点において、TP-20mから TP-50m付近に相対的に高い見掛け比抵抗

抗値を示す礫層を確認でき、電気探査の結果でも、TP-20m～TP-80mの区間において比抵抗値100Ω・m～200Ω・mの相対的に高比抵抗値を示す箇所が目玉状に分布が見られ、これらの高比抵抗箇所が同じ帯水層を示すと考えられる。以上の事から、この帯水層が調査地の広い範囲に分布していると推定される。しかし、比抵抗値の高い部分は目玉状に分布し、水平方向に連続性が認められない。これは、同一層と考えられる層内でも、水平方向では粒径や細粒分の違いにより、比抵抗値に差が生じたものと推測される。図-7は、電気検層と電気探査の結果に帯水層と想定される範囲を薄赤色の帯で示したものである。

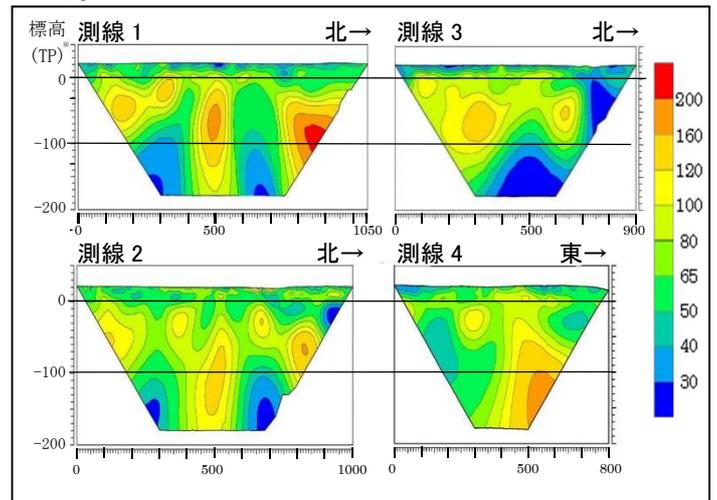


図-6 各測線の比抵抗断面図

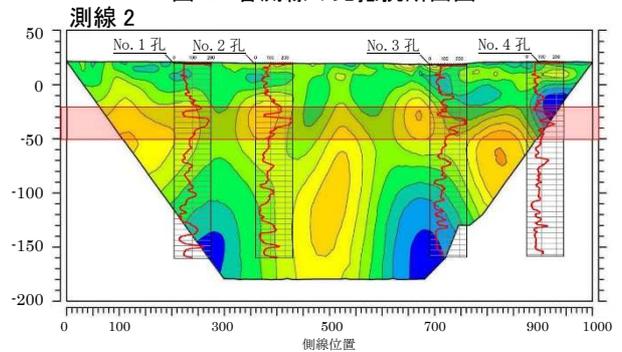


図-7 帯水層(赤帯)と比抵抗の関係図

5. まとめ

今回の調査で得た結果から、調査地全域に繋がった帯水層の分布が想定できた。また、電気検層の点での結果と電気探査の面での結果を比較することにより、帯水層の性状が水平方向に不均一であることが想定でき、調査地における帯水層の水理特性を把握することができた。今後は、電気探査の電極間隔を細かくとり、さらに精度の高い比抵抗断面の作成を行うことにより、電気検層結果との一致が期待される。

《引用・参考文献》

- 1) 島優雅, 梶間和彦, 神谷英樹: 建設・防災・環境のための新しい電気探査法比抵抗映像法, pp. 117, 古今書院, 1995. 3.

# 微動アレー探査を用いた地下水開発

(株)日さく ○小山祥代, 堀信雄, 長谷川智史

## 1. はじめに

本業務は、稼働中の工場における地下水開発を目的として、物理探査および試掘調査を実施したものである。既存資料から、調査地においては概ね深度80~100mにおいて基盤岩である花崗岩類が分布すると想定された。調査地周辺2km 圏内の既存井戸の地質柱状図を図-1に示す。当該敷地が170m×170m 程度であり探査深度と比べ、測線を敷地外に伸ばせないこと、工場や埋設管などの電気的なノイズ源が多いことから、電気探査の適用は困難と判断した。このような施工条件下で実施可能な手法として、微動アレー探査およびチェーンアレー探査(二次元微動アレー探査)を実施した。

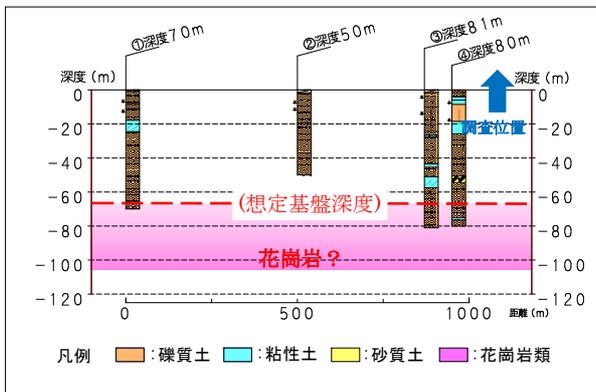


図-1 既存井戸柱状図

## 2. 調査概要

微動アレー探査とは、地震計を三角形に配置し、観測地点直下のS波速度構造を把握する調査である。

一方、チェーンアレー探査は、三角形の配置を線状に組み合わせることにより、速度構造の2次元的な分布を把握することを目的とする調査である。本業務では解析精度を高めるため、微動アレー探査とチェーンアレー探査の両者を組み合わせて実施した(図-2および図-3)。

地表には、人為的な振動や自然に起因する様々な波動が常時伝播しており、これらのうち震源を特定できない微小な振動を微動と称している。人為的な微動は、一般的には交通機関や工場の機械の振動に起因し、振動に明瞭な日変化が認められる特徴がある。一方、自然現象に起因する波動は、主に気圧変化に伴う風や波浪等が発生源であり、現象の規模によって振幅は変化している。微動は実体波や表面波からなり、多くの場合、表面波が優勢である。表面波は、地盤を伝わる速さが周波数によって変化する性質があり、この特性は地下構造を正確に反映する。この変化のパターンは、地下のS波速度構造の違いによって明瞭に異なることから、表面波の周波数と

伝播速度の関係を把握することで、地下構造が把握できる。

### (1) 微動アレー探査

地表に複数台の地震計を配置した上で、微小な振動を観測し、観測地点直下の平均的なS波速度構造を求めるものである。本調査ではSPAC法<sup>1)</sup>を採用し、円の中心点と円に内接する正三角形の頂点に地震計を配置した。

### (2) チェーンアレー探査

微動アレー探査では、微妙な地下構造を忠実に反映できるものの、1次元的なものである。2次元的に表現するためには、アレーを直線的に繋いでいく必要があり、最小3点の正三角形アレーを連続に配置するチェーンアレー探査を実施した。

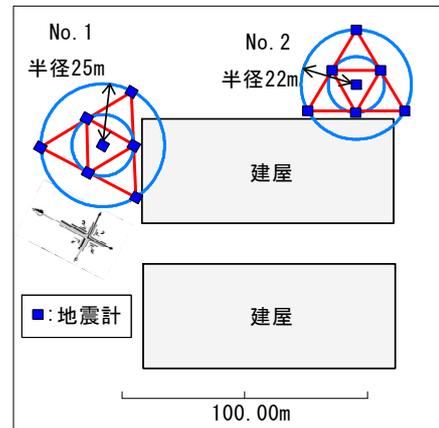


図-2 微動アレー調査配置図

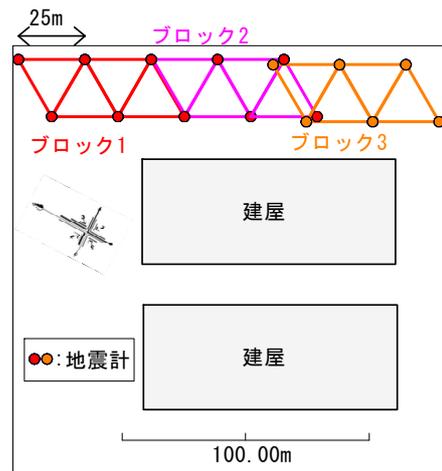


図-3 チェーンアレー調査配置図

## 3. 結果と解釈

微動アレー探査およびチェーンアレー探査の結果を図-4に示す。一般にS波速度は、未固結層である砂礫層よりも岩盤である花崗岩の方が高い値を示す。調査地はS波速度が深度に伴い速くなり、また、北側から南側へ向かって高速度帯の出現深度が深くなる傾向を示した。こ

のようなS波構造は、図-4に示すように、北側から南側に向かって花崗岩の出現深度が深くなり、砂礫層が厚くなることを示唆するものと想定される。

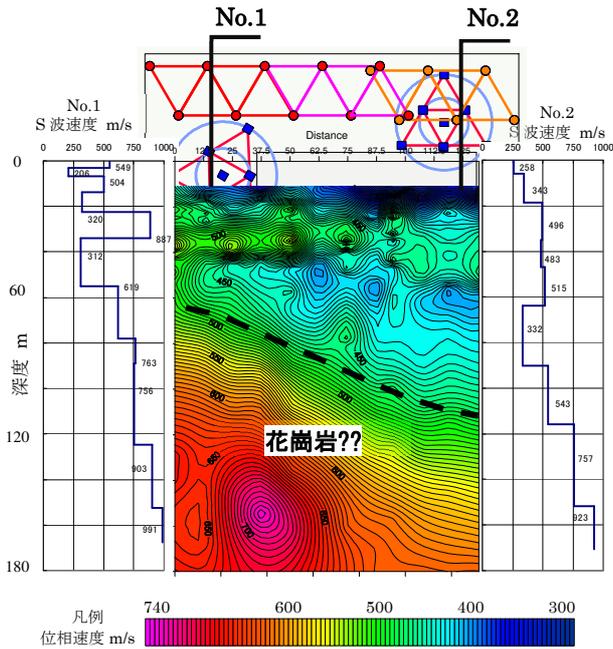


図-4 探査結果統合図

文献<sup>2)</sup>によると花崗岩の P 波速度は1500m/s 以上と想定されており<sup>2)</sup>、岩盤の S 波速度と P 波速度の関係から(図-5)、S 波速度は400~500m/s であると想定される。調査地においては、S 波速度400~500m/s 程度が花崗岩の出現する深度60~100m の上面深度と想定し、試掘の計画深度とした。

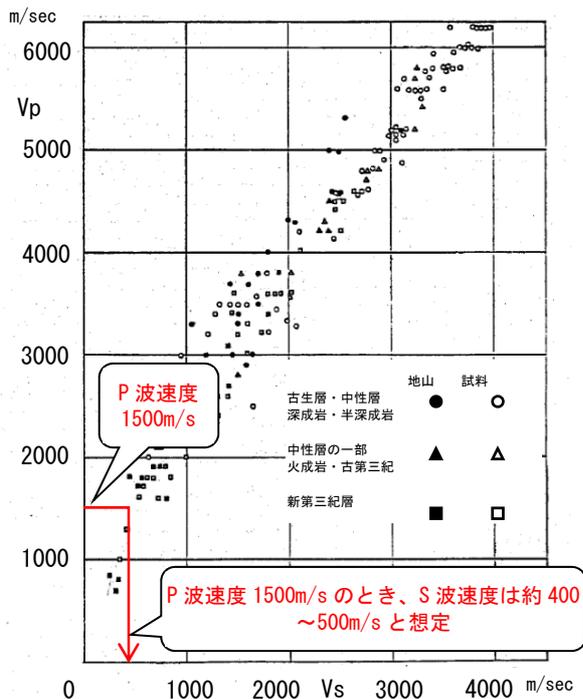


図-5 岩盤の S 波速度と P 波速度の相関<sup>3)</sup>

#### 4. 考察

地下水開発の適地選定においては、帯水層が厚く分布することが必要な条件の一つである。工場周辺の基盤となる花崗岩の出現深度は、南側で深くなると想定されることから、厚い砂礫層が分布すると期待される敷地南側で試掘調査を実施した。既存資料と探査結果より、敷地南側では花崗岩の上面深度が約深度100~110m と想定されることから、掘削深度は深度120mとした。試掘調査の結果、当初想定された深度で花崗岩を確認できなかったものの、帯水層となる砂礫層が厚く分布することが明らかとなった。一方、相対的にS波速度が遅い範囲には粘性土が存在していた。試掘結果と微動アレー探査およびチェーンアレー探査結果との整合性は高いと考えられる。

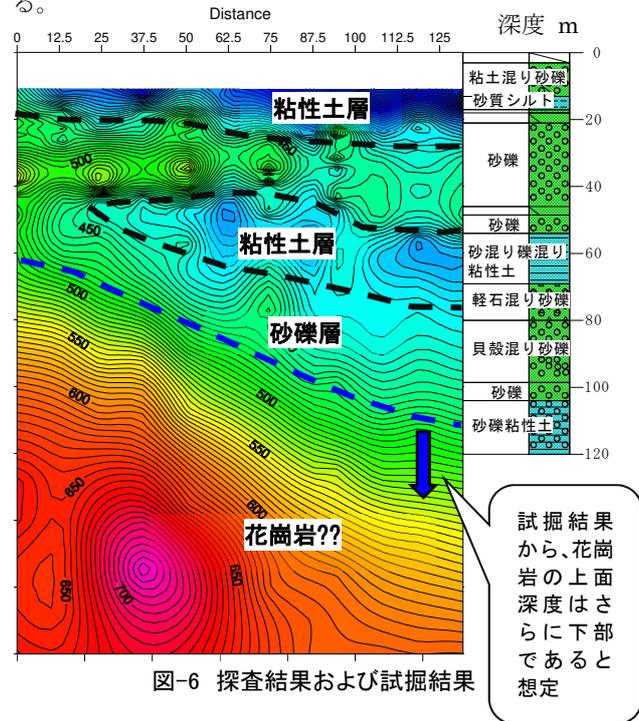


図-6 探査結果および試掘結果

#### 5. 今後の展望

試掘結果との対比から、微動アレー探査およびチェーンアレー探査は、内部層序の検討に当たっては高い精度を発揮するものと考えられる。今後も実際の地層と照らし合わせたデータを蓄積し、知見を深めていく必要がある。電気探査において遠電極を設置することが確保できない場合や、配管等の存在により電気ノイズが多いことが想定されるサイトにおいて、地下水開発に対する有用な手法として、今後活躍の場が増えていくことが期待される。

#### 《引用・参考文献》

- 岡田 広: 微動探査の現状と課題, 物理探査, 第61巻, 第6号, pp445-456, 2008
- 物理探査ハンドブック, p. 145, 1998
- “土と岩”の弾性波速度-測定と利用-: 物理探査学会, p. 142, 1998