

令和5年度

馬曲温泉源泉孔内調査及び揚湯ポンプ入替工事

報告書

(木島平村大字往郷 馬曲温泉源泉)

令和5年11月

木島平村

~~~~~ 目 次 ~~~~~

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 1. 業務概要 .....                 | 2  |
| 2. 施工方針 .....                 | 4  |
| 2-1 馬曲温泉源泉の現状.....            | 4  |
| 2-2 施工フロー .....               | 5  |
| 3. 施工方法 .....                 | 6  |
| 3-1 既設揚湯ポンプ引揚・新規揚湯ポンプ据付 ..... | 6  |
| 3-2 源泉孔内調査.....               | 6  |
| 3-3 配管復旧・試運転調整.....           | 9  |
| 4. 既設揚湯ポンプ引揚・新規揚湯ポンプ据付.....   | 10 |
| 4-1 既設揚湯ポンプ引揚.....            | 10 |
| 4-2 新規揚湯ポンプ据付.....            | 11 |
| 5. 配管復旧・試運転調整 .....           | 12 |
| 6. 源泉孔内調査 .....               | 13 |
| 6-1 使用機器.....                 | 13 |
| 6-2 検層結果.....                 | 14 |
| 7. まとめ.....                   | 15 |
| 7-1 施工結果.....                 | 15 |
| 7-2 考察.....                   | 15 |
| 7-3 提案.....                   | 16 |

○巻末資料

    納入仕様書

    平成 27 年 検層図

    既設揚湯ポンプ 点検写真

    作業写真

    源泉孔内調査 記録表(データ CD)

## 1. 業務概要

本業務は、木島平村のご発注のもとに、馬曲温泉源泉の孔内調査及び揚湯ポンプ入替を [REDACTED] が実施したものである。

現地作業は、既設揚湯ポンプを引揚げ後、各種孔内調査(自然放射能検層・温度検層・電導度検層・マーキング式注水試験・キャリパー検層)を実施し、新規揚湯ポンプを据付け、設備の復旧および試運転調整を行った。

現地作業、室内での資料整理が終了したため、ここに一括して報告する。なお、業務の概要は以下の通りである。

- (1) 業務名：令和5年度 馬曲温泉源泉孔内調査及び揚湯ポンプ入替工事
- (2) 業務場所：木島平村大字往郷 馬曲温泉源泉
- (3) 作業実施日：令和5年7月24日～令和5年12月28日
- (4) 発注者：木島平村
- (5) 業務内容：

計画準備

揚水機引揚工

既設揚湯ポンプ 65A×18.5kW

揚湯管 SGP 65A L=5.5m×51本

→総延長 280.5m

孔内調査

自然放射能検層

温度検層

電導度検層

マーキング式注水試験

キャリパー検層

揚水機据付工

新規揚湯ポンプ 65A×18.5kW

揚湯管 SGP65A L=5.5m×51本

→総延長 280.5m

機器入替

低水位電極 L=310m

水位センサ OGI

水位デジタル表示器 LDM-HD

試運転調整

報告書作成

- (6) 業務担当： [REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

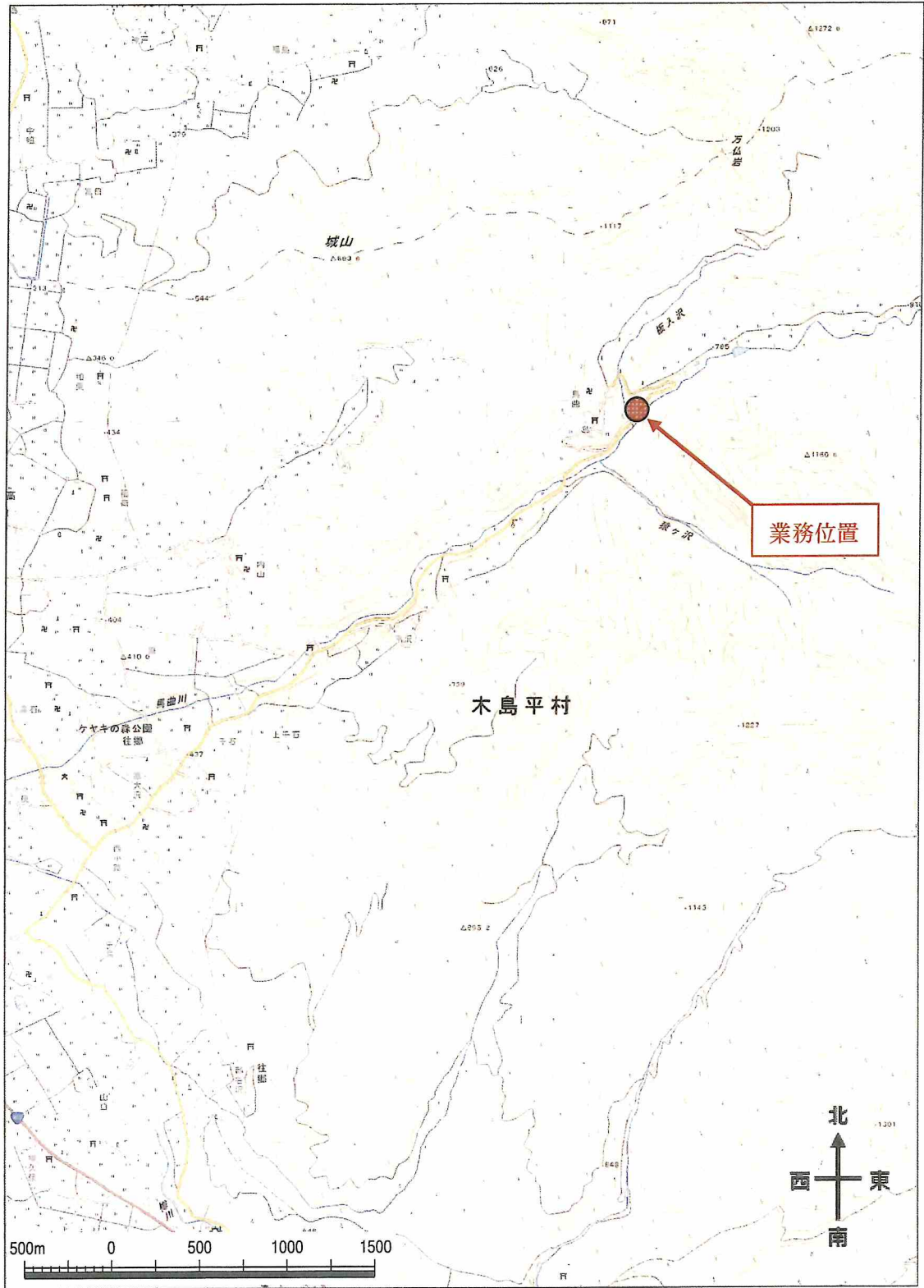


図1.1 業務位置図  
(国土地理院 地理院地図に加筆)

## 2. 施工方針

### 2-1 馬曲温泉源泉の現状

馬曲温泉源泉は昭和 58 年 3 月に竣工し、竣工資料によれば、最大口径 150A、完成深度 1,167m とされている。

竣工から現在まで 40 年以上経過しており、この間改修工事も幾度か行われ、源泉井戸の維持管理もされてきたが、井戸設置直後の揚湯量 300L/min から現在は 120L/min 程度(貯湯槽前の湯量計指示値)に減少し、能力の低下が顕著となっている。また井戸深度についても埋没が進行している。以下の表 2.1.1 に本井の履歴を整理する。

表 2.1.1 本井の履歴

| 施工年月日                            | 内 容                                                    | 最大口径 | 井戸深度                | 備考                                                                                            |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------|------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 昭和 58 年 3 月<br>(西暦 1983 年)       | 新規温泉掘削<br>竣工                                           | 150A | 1,167m              | ・揚湯状況<br>ポンプ：20 段 15kW<br>揚湯量：300L/min<br>静水位：-26m<br>揚湯水位：-143m<br>温度：37.3℃<br>泉質：単純泉(無味・無臭) |
| 平成 15 年 12 月<br>(西暦 2003 年)      | 揚湯ポンプ入替工事<br>孔内検層含む                                    | 150A | 966m<br>(201m 埋没)   | ・揚湯状況<br>揚湯量：190~200L/min<br>揚湯水位：-238m<br>(水位未安定であった)                                        |
| 平成 16 年 12 月<br>(西暦 2004 年)      | 掃孔改修工事<br>(リーミング)<br>φ97φ86 スケール除去<br>深度 966→1,092m 浚渫 | 150A | 1,092m<br>(75m 埋没)  | ・揚湯状況<br>エアリフト：50kg/cm <sup>2</sup><br>揚湯量：163.3L/min<br>静水位：-35m<br>揚湯水位：-234.3m<br>温度：39.8℃ |
| 平成 27 年 12 月<br>(西暦 2015 年)      | 揚湯ポンプ入替工事<br>孔内検層含む                                    | 150A | 1,018m<br>(149m 埋没) | ・揚湯状況<br>ポンプ：27 段 18.5kW<br>揚湯量：130L/min<br>静水位：-58m<br>揚湯水位：-278m<br>温度：40.7℃                |
| 今回<br>令和 5 年 11 月<br>(西暦 2023 年) | 揚湯ポンプ入替工事<br>孔内検層含む                                    | 150A | 960m<br>(207m 埋没)   | ・揚湯状況<br>ポンプ：27 段 18.5kW<br>揚湯量：125L/min<br>静水位：-50m<br>揚湯水位：-253m<br>温度：41.0℃                |

## 2-2 施工フロー

図 2.2.1 に、本業務の施工フロー図を示す。

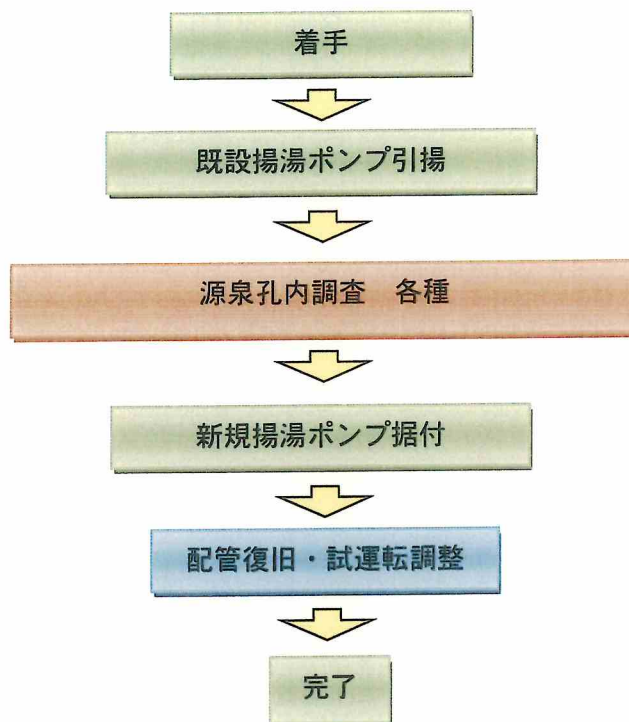


図 2.2.1 施工フロー図

### 3. 施工方法

#### 3-1 既設揚湯ポンプ引揚・新規揚湯ポンプ据付

既設揚湯ポンプの引揚作業は、12t ラフテレーンクレーンを使用して実施した。作業手順を以下に示す。

- ① 12t ラフテレーンクレーンにて揚湯ポンプ及び揚湯管を引き揚げる(5.5m×51 本引揚)。
  - ② 揚湯管を保持バンドで固定する。
  - ③ フランジ部のボルトを取り外し、揚湯管を切り離す。
  - ④ クレーンを巻き下げ、揚湯ポンプ及び揚湯管を倒管する。→①から繰り返す  
ケーブル固定用の PP ロープは取り外し後、速やかに処分した。
- なお、据付時は以上の作業を逆手順で行った。

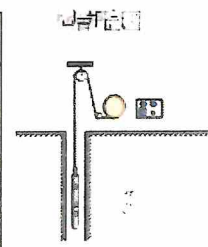
#### 3-2 源泉孔内調査

源泉孔内調査は、源泉孔内に各種測定センサを降下し、孔井付近の物性値(温度・孔内電気伝導度・自然放射能・孔径等)を測定し、孔内状況(温泉流入層・ケーシング・ストレーナーの破損の有無)、地質状況(地質・硬さ・亀裂、地下水の有無等)を把握する方法である。

測定は検層概念図のように、ゾンデ(各種センサー)を孔内に降下し、センサ信号を地上の測定器で連続的に記録する。各種検層法とその適用範囲を一覧表にまとめ次に示す。

表 3.2.1 各種検層の適用状況

| 各種検層の適用範囲 |      |      | 適用状況   |    |      |       |       |         |      |       |    |          |        |        |
|-----------|------|------|--------|----|------|-------|-------|---------|------|-------|----|----------|--------|--------|
| 検層項目      | 孔内状況 |      | 温度     | 水位 | 水質検査 | 帯水層調査 | 揚湯管調査 | 亀裂・破断調査 | 地層調査 | 地層の区分 | 孔径 | スケルトン管状況 | 鋼管破損状況 | セメント露出 |
|           | 適用状況 | 孔内水無 | ケーシング有 |    |      |       |       |         |      |       |    |          |        |        |
| 比抵抗       | ×    | ×    |        | ○  |      | ○     |       | ○       |      | ○     |    | △        |        |        |
| 自然電位      | ×    | ×    |        | ○  |      | ○     |       | △       |      | ○     |    |          |        |        |
| 自然放射能(n?) | ○    | ○    |        |    |      | △     |       | ○       |      | ○     |    |          |        |        |
| 温度        | ○    | ○    | ○      | ○  |      | △     |       | △       |      |       |    |          | △      |        |
| 電導度       | ×    | ○    |        | ○  | ○    | ○     | △     | △       |      |       |    |          | ○      |        |
| 微流速       | ×    | ○    |        |    |      | ○     | ○     |         |      |       |    |          |        |        |
| 孔径        | ○    | ○    |        |    |      | △     |       | △       |      |       | ○  | ○        | △      |        |
| PS        | △    | △    |        |    |      |       |       | ○       | ○    | ○     |    |          |        |        |
| カゲブツツカ    | ×    | ×    |        | ○  |      | ○     |       | ○       | ○    | ○     |    |          | △      | ○      |
| セトボンド     | ×    | ○    |        |    |      |       |       |         |      |       |    |          |        | ○      |
| CCL       | ○    | ○    |        |    |      |       |       |         |      |       |    | ○        | △      |        |
| ビデオ撮影     | ○    | ○    |        | ○  |      | △     | △     | ○       |      | △     | △  | ○        | ○      |        |
| *注水試験     | △    | ○    |        |    |      | ○     | ○     | ○       |      |       |    |          | ○      | △      |



\*孔内状況の  
 ○印は測定可  
 ●印は測定不可  
 \*注水試験

\*適用状況の ○印は適用良好  
 ●印は適用良  
 △印は適用可  
 注水後電導度又は温度計検層を繰り返して、変化を測定

① 自然放射能(nγ)検層

nγ検層は自然放射能(γ線)を連続的に測定する検層である。測定は、左下概念図に示す。γ線センサ(Nal(Tl)シンチレータ)を降ろし放射線量をカウントする。岩石の放射線量は造岩鉱物により異なり、放射能分布より岩種・地層境界等を判断する。一般に放射線は破碎帯・割れ目の多い岩盤で高く、緻密(=硬い)な地層で低い。堆積岩は泥岩類が高く、礫岩は低い。堆積岩の粘土含有量を簡易的に次式で計算する。

$$\text{粘土分含有率(\%)} = ((GR_{log} - GR_{min}) / (GR_{max} - GR_{min})) \times 100$$

GR<sub>max</sub> = 放射能強度の最大値      GR<sub>min</sub> = 最小値      GR<sub>log</sub> = 対象層の強度

測定結果は中下図のような、深度とnγの相関グラフを作成する。相関グラフより、地質の変化、破碎帯・亀裂・変質の有無、ケーシング管の破損などを評価する。一般的な岩石とnγの関係は右下図に示す。放射線鉱物の含有量で決まり絶対値ではない。裸孔に比較し、ケーシング管内では、低い値を示す。

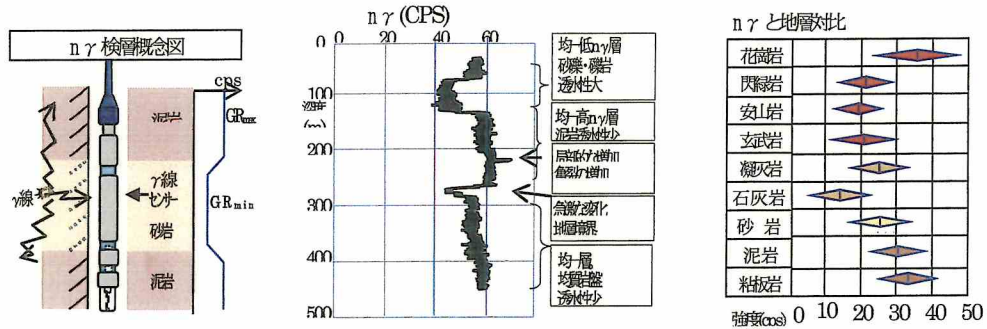


図 3.2.1 自然放射能(nγ)検層 結果例

② 温度検層

温度検層は孔内の温度を連続的に測定し、温度分布・地下増温率を把握する方法である。温度の局所的変化から、出水層及び温泉賦存層の判定などをおこなう。

測定は、図のようなセンサを降下しながら連続測定する。深部に温度の異なる裂化水が存在すると、地温は一般に(-)側へ変化し、温泉の場合は(+ )側に振れる。孔内水の逸水箇所も(+ )側へ振れる事が多い。

孔内温度の変化は 1~3℃/100m ほどで、温度記録から局所的変化を読み取ることは困難である。温度変化を的確に判断するため、1m 間の温度差を示差温度として表す。

測定結果より右図のような、深度と温度の相関グラフを作成する。グラフの変化より、帯水層・温泉賦存層及び、ストレーナー管の状況を評価する。

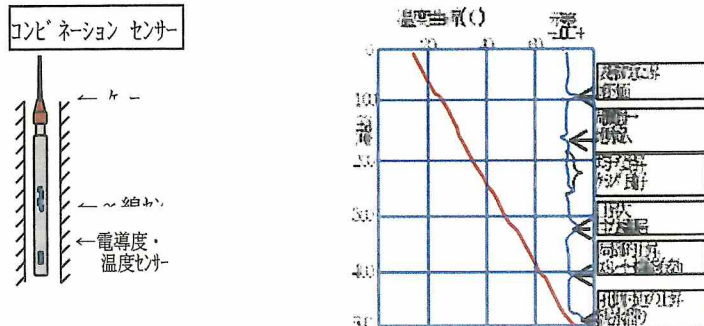


図 3.2.2 温度検層 結果例

③ 電導度検層

電導度検層は孔内水の電気伝導率(比抵抗の逆数)を連続的に測定する検層法である。測定は、左下図のようなコンビネーションセンサを降下し測定する。電導度は温泉の湧出箇所を検出に非常に有効で、単位断面、長さあたりの導電率(mS/cm)で表す。

$$\text{導電率(mS/cm)} = 10 / \text{比抵抗値}(\Omega \cdot \text{m})$$

電導度変化は小さく、変化を的確に把握する目的で、1m間の差を示差電導度として表す。堆積岩中の地層水は一般に塩分濃度が高く孔内流入箇所が高い値を示す。火成岩では一定ではないが高いことが多い。

測定結果は、中下図に示すような、深度と電導度の相関グラフを作成する。相関グラフの変化より、ストレーナ管(揚湯層)の機能状況・ケーシング管の破損箇所などを把握し評価する。

水の比抵抗と溶存電解質の NaCl 換算濃度の関係を右下図に示す。

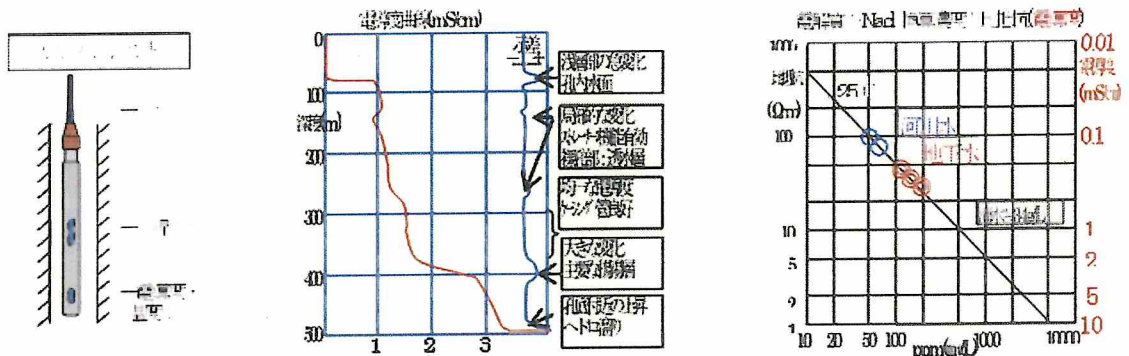


図 3.2.3 電導度検層 結果例

④ キャリパー検層

キャリパー(孔径)検層は孔径を連続的に測定する検層法である。測定はセンサを孔底へ降ろし、左下図のように計測アーム(3本)を開き、引き上げながら測定する。

測定結果は右下図のような、深度と孔径の相関グラフを作成する。グラフよりケーシング内では、管の変形・破損・スケールの付着状況を把握する。裸孔では、孔壁崩壊・押し出し状況を把握する。

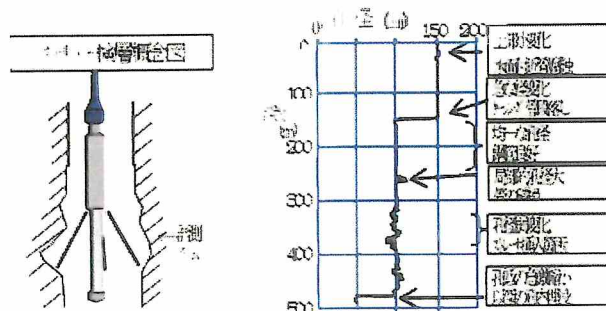


図 3.2.4 キャリパー検層 結果例

### ⑤ マーキング式注水試験

塩水を数カ所に置き、注水と電導度・温度検層等を繰り返し行う。注水による孔内水の変化量から、逸水箇所(揚水時流入箇所)を特定する検層法である。既存井戸の急激な温度低下、砂の混入、水質の変化の原因究明に有効である。検層記録と地下水流動の模式的関係を下図に示す。

長年使用された井戸の帯水層は一時的に不圧層の事が多く、被圧層も挟む。各帯水層は水頭圧が異なり、井戸を介する地層間流動を伴う。温泉井戸の場合は、測定を繰り返す毎に全体で電導度変化をすることも多い。ポンプ停止からの経過時間と共に、不圧→被圧への変化もみられるなど、一元的な判断は難しい。

井戸状況の判断は注水試験結果を基に、ストレーナー箇所、水位、温度等の経年変化を考慮し行う。

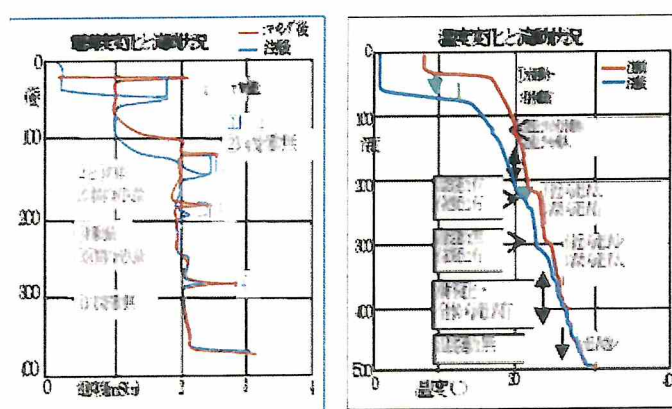


図 3.2.5 マーキング式注水試験 結果例

### 3-3 配管復旧・試運転調整

新規揚湯ポンプ据付後、三角流量堰を用いて揚水ブローを行いながら揚湯量、揚湯温度の確認を行った。著しい濁りが解消された後に配管復旧を行い、貯湯槽への流入を確認した。その後数日間の揚湯量、揚湯水位を随時確認し、バルブ調整を行った。

## 4. 既設揚湯ポンプ引揚・新規揚湯ポンプ据付

### 4-1 既設揚湯ポンプ引揚

引揚げた揚湯ポンプおよび揚湯管はおおよそ 120m 以下の深度においてスケールの付着がみられた。また、揚湯ポンプに近い位置の揚湯管のフランジ面には大量の砂が堆積していることが確認された。揚湯ポンプ外観は全体的に砂が付着し、ケーブル類には外傷がみられ相当な劣化が伺えた。引揚げたポンプはメーカーによる点検を実施し、結果を次頁に示す。



写真 4.1.1 作業全景



写真 4.1.2 フランジ面砂の堆積



写真 4.1.3 揚湯ポンプ外観



写真 4.1.4 揚湯ポンプ外観アップ



写真 4.1.5 揚湯管引揚完了



写真 4.1.6 低水位ケーブル外傷

## 4-2 新規揚湯ポンプ据付

源泉孔内調査終了後、新規揚湯ポンプを既設据付時と同じ深度(=180.5m)に設置した。なお、動水位変動区間より浅い位置に設置されていた揚湯管は劣化の進行がみられないため、今回は深部に位置するように順番を入れ替えて据付けた。



写真 4.2.1 新規揚湯ポンプ外観



写真 4.2.2 絶縁抵抗値 全線 100MΩ以上



写真 4.2.3 揚湯ポンプ銘板



写真 4.2.4 据付作業状況



写真 4.2.5 低水位 No.1 揚湯管中央



写真 4.2.6 パッキン・ボルトナット更新

## 5. 配管復旧・試運転調整

新規揚湯ポンプ据付後、揚湯ブローを行い、その際に三角流量堰を用いて、揚湯量・揚湯温度も併せて確認した。

ポンプ起動直後は著しい濁りがみられ、多量の揚砂も確認されたが、揚湯開始から3時間経過後、当初の濁りは解消されたため配管復旧に移った。また、水位センサー

揚湯ブローでは最終的に揚湯量 177L/min、水温 41℃、運転水位 271.0m を確認したが、水位低下傾向にあるため、配管復旧後に再度バルブ調整の後、一定期間の運転水位確認を行った。



写真 5.1 揚湯直後 濁水



写真 5.2 揚湯直後 揚砂確認



写真 5.3 揚湯3時間後状況



写真 5.4 配管復旧

揚湯開始から約 195 時間後の運転水位は 253m 付近で安定し、貯湯槽流入口での 20L バケツを用いた湯量測定結果は 125L/minであった。

## 6. 源泉孔内調査

### 6-1 使用機器

使用機器一覧を表 6.1.1 に示す。

表 6.1.1 使用機器一覧

|      | 装置                 | 仕様               |                                      |
|------|--------------------|------------------|--------------------------------------|
| 測定器  | RG                 | CPU              | インテル 32bit,25MHz                     |
|      | プロロガー              | 送信               | RS-232C シリアル転送、<br>アーマド線             |
| ウインチ | 電動ウインチ<br>1250m 巻き | 速度、深度            | 0-30m/分、光学式 1000<br>パルス/回            |
|      |                    | 寸法(L/W/D)        | 102 × 52 × 75cm、<br>G=132kg(線無)      |
| センサ  | 温度・自然放射能           | T・n $\gamma$ センサ | 半導体、NaI(TL)                          |
|      | ・電導度               | 寸法(L/ $\phi$ )   | 2.5m×38mm,<br>7.7kg                  |
|      |                    | 耐性               | 耐熱 125℃、耐圧<br>210kgf/cm <sup>2</sup> |
|      | キャリパー・CCL          | 孔径、CCL           | 3アーム、径 45-300mm、<br>2次磁場             |
|      |                    | 寸法(L/ $\phi$ )   | 2.44m×38mm、9.2kg                     |
|      |                    | 耐性               | 耐熱 70℃、耐圧<br>210kgf/cm <sup>2</sup>  |



写真 6.1.1 検層状況

## 6-2 検層結果

調査結果を以下に示す。なお、巻末資料の検層図に柱状図等の既存資料を併記し今回の調査結果をまとめた。井戸深度は 960m であり、竣工時 1,167m から 207m の埋没が確認された。なお、静水位は 50m であった。

### ① 鋼管腐食・破損状況

- ・ 390m 付近のベルカラーは若干の湧出が有り、遮水パッカーの劣化が予想される
- ・ 349m 付近は、明瞭な温度・電導度変化が有り、鋼管破損が予想される
- ・ 565m 付近のベルカラーは、地下水流入が有り、遮水パッカーの破損が予想される

### ② スケールの付着状況

- ・ 390～564m(φ97)はスケールが比較的厚く付着している
- ・ 150A 鋼管は、動水位変動区間を含め、スケールは薄く付着しており(厚さ≒2mm)、孔内状況は比較的良好である

### ③ 湧出状況

- ・ 主要な湧出は第 2 ストレーナーの 790m 付近で、深部の第 2・第 3 ストレーナーからの湧出が揚湯量の 5 割以上と推測する
- ・ 第 1 ストレーナーからも 2 割弱ほどの湧出が予想される
- ・ 564m の孔径段落としては、2 割程度と比較的多量の湧出が予想される
- ・ 290m の孔径段落とすと 349m 付近は、若干の湧出(1 割未満)が有る



## 7. まとめ

今回の業務では既設揚湯ポンプを引揚後、源泉孔内調査を実施した。その後新規揚湯ポンプを据付け、揚水ブローを経て配管復旧・試運転調整を行った。

### 7-1 施工結果

- 既設揚湯ポンプはメーカー点検により相当の劣化が確認され、大半の部品の新品交換を要する(≒新品購入と同等の金額)
- 既設低水位ケーブル、水位センサの著しい劣化がみられたため、新規揚湯ポンプ据付けに併せて更新した
- 新規揚湯ポンプ据付け後、試運転調整を行い、揚湯量 125L/min、運転水位 253mで概ね安定することを確認した
- 源泉孔内調査の結果、349m 付近で鋼管の破損が予想され、390~564m(φ97)区間でスケールが比較的厚く付着していることが判明した
- 本井の主要な湧出深度は 790m 付近(第2ストレーナー)であり、深部の第2・第3ストレーナーからの湧出が全体の5割を占めることが予想された
- 現在の井戸深度は 960mであり、竣工時の 1,167m と比較して 207m の埋没が確認された

### 7-2 考察

#### ① 前回キャリパー検層結果との比較

平成 27 年に実施した揚湯ポンプ入替時に併せて行ったキャリパー検層の結果と今回の結果を比較する。

表 7.2.1 キャリパー検層比較表

| 段 | 深度         | パイプ径<br>基準 | H27<br>測定値 | 今回<br>測定値 | 備考       |
|---|------------|------------|------------|-----------|----------|
| 1 | 0.0~290m   | φ 155.2    | 150~158    | 108~158   |          |
| 2 | 290~564m   | φ 90       | 82~86      | 58~101    | スケール厚く付着 |
| 3 | 564~900m   | φ 79       | 75~77      | 75~80     |          |
| 4 | 900~1055m  | φ 67       | 56~68      | 62~77     |          |
| 5 | 1055~1064m | φ 57       | -          | -         |          |
| 6 | 1064~1167m | φ 47       | -          | -         |          |

前回のキャリパー検層では過去の掃孔工事により孔径が保たれていることが確認されているが、今回の結果では特に2段目で著しい孔径減少がみられ、前回調査から8年間で新たなスケールが付着・発達したものと推測された。

## ② 源泉孔内調査結果より考察

290～564m(φ97)間の著しいスケール付着は、290mの遮水パッカー劣化部および439mのケーシング破損部付近から湧出する深部と異なる泉質が原因であると推測する。

埋没深度は前回調査時と大きな変化は無かった。既存資料によると960m付近までの埋没速度が早く、960m以浅は埋没がほとんど無い状況であることから、主な埋没原因はスケール堆積以外であることが考えられる。掘削資料からは、埋没深度以深の1,050m付近に、大きな破碎帯が有り、比較的多量の湧出が予想され、湧出水に混入した地層砂が埋没の原因となったと推測する。埋没が進むと、破碎帯からの湧出が止まり、砂の混入も抑えられ、以降埋没が進まなかったものとする。また、竣工当初からの揚湯量減少も有力な湧出区間の閉塞によるものと推測する。

### 7-3 提案

- 源泉の現状把握のための日常点検として、運転水位を定期的に記録することを推奨する。現在、ポンプ故障防止のための低水位電極が277mに設置されており、運転水位の実質的リミットとなっている。現在は揚湯量125L/min、運転水位253mで安定しており、低水位電極まで24mの余裕を残してあるが、源泉孔内状況の変化があれば水位の変動も考えられ、事態の早期発見に繋がる。
- 揚湯ポンプの故障時に備えてスペアポンプを用意することが望ましい。据付後5年を目安に揚湯ポンプ入替および現状把握のための孔内調査実施を推奨する。
- ケーシング破損個所の補修は現実的に困難であり、290～564m間のスケールは今後とも比較的早いスピードで発達するものと想定でき、スケール発達による過度な孔径減少はポンプ稼働時の揚湯効率に大きく影響を与える。今後も長期的に安定した揚湯を望む場合は、新規源泉開発の検討を推奨する。