

技術報告

温泉井検層による流入温泉水の推定例

(株)日本地科研究所¹、(株)日本地下探査²
佐藤 幸二¹・高屋 正²・松枝 富士雄²

(平成10年8月24日受付、平成10年10月28日受理)

A Case Analysis of Thermal Water Inflow
Inferred from Some Well-loggings

Nihon Chika Kenkyuusho, Co. Ltd.¹, Nihon Chika Tansa, Co. Ltd.²
Koji SATO¹, Tadasi TAKAYA² and Fujio MATSUEDA²

Abstract

The surveyed thermal water well was drilled through the hornblende andesitic deposits of Quaternary volcano. All depth of 98m are tubed using 6 inch (in diameter) casing pipe of plastics, and strainers are set up at the deeper part than 58m. The thermal water of Ca · Na · Mg - SO₄ · HCO₃ · Cl type, showing the temperature of 39.8°C, outflows naturally at the rate of 830 /min.

From the diameter of casing pipe and the flow rate obtained by spinner log, the depths and amounts of inflows of the thermal water to the well are inferred.

The thermal water flows into the well from 5 parts of different depths and the bottom of the well. About 80 % of thermal water flows into the well from deeper 2 parts and the bottom, the rests of the water flows from the shallower 3 parts.

The shallowest inflow is supposed at the non strainer part, and the breakage of the casing pipe is feared.

Based on the results of temperature log and electric conductivity log, the temperatures and the conductivities of inflowing thermal waters are estimated respectively.

Key words : Thermal water well, Temperature log, Electric conductivity log, Spinner log, Inflow of thermalwater

キーワード : 温泉井、温度検層、電気伝導度検層、流速検層、温泉水流入

1. はじめに

温泉井が掘削され長年月を経て、泉温、湧出量、化学成分などに変化が生じた場合、その変化の状況や原因を明らかにするために、孔内の状況をよりよく知る必要に迫られることがある。平成8年(1996)12月に群馬県の1掘削自噴井で、いくつかの孔内検層を実施し、孔内の状況、ことに孔内への温泉水流入の状況を考察した。この温泉井が掘削自噴井であること、挿入ケーシング管径が全長にわたって同じであることなどの条件は、温泉水流入状況の検討に好都合であった。

2. 温泉井の状況

この温泉井は、昭和30年代に第四紀火山の山腹に掘削されたもので、角閃石安山岩質の火口周辺堆積物中を掘削したとみられるが、掘削の地質柱状図、各種検層図、揚湯試験成績などがなくて、

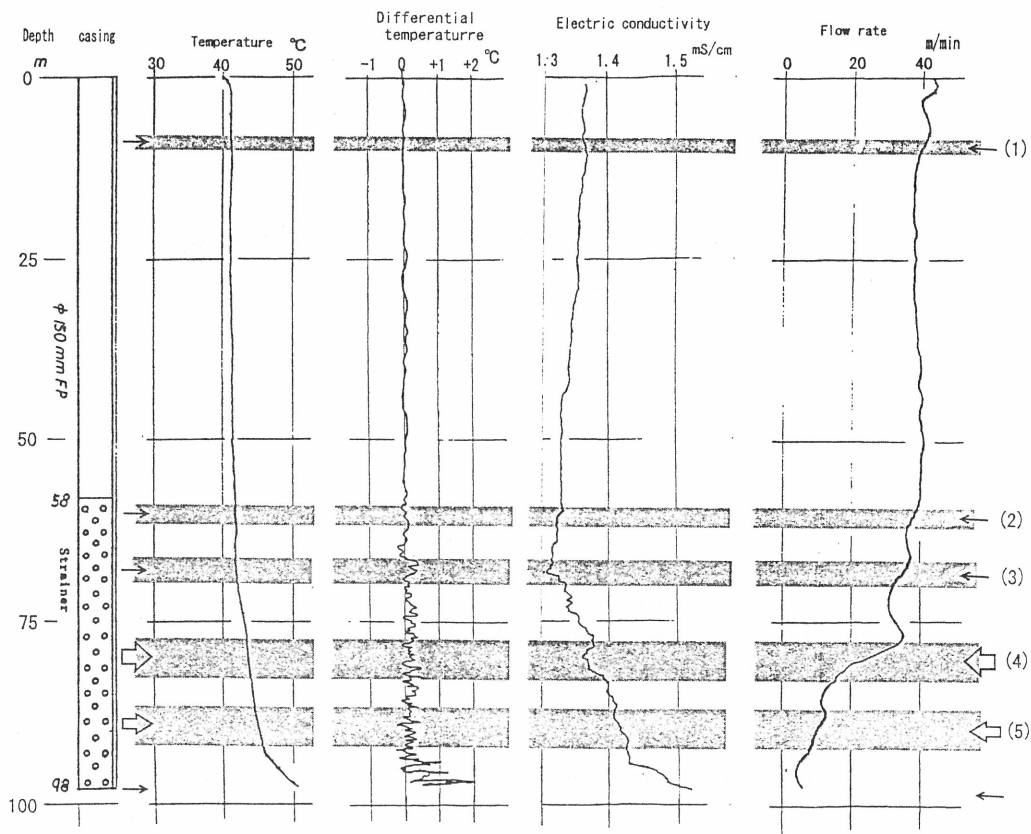


Fig.1 Result of some well-loggings and inferred inflows

Table. 1 Chemical composition of thermal water
E. R. : g/l, Na ~H₂SiO₃; mg/l

Date	Aug., 1969	Oct., 1992
PH	6.0	6.20
E. R.	1.177	1.07
Na	94.0	110
K ⁺	8.0	9.7
Ca ²⁺	117.0	148
Mg ²⁺	60.46	36.5
Fe ²⁺ +Fe ³⁺	6.53	7.87
Mn ²⁺	1.60	1.9
Cl ⁻	124.2	119
SO ₄ ²⁻	323.0	310
HCO ₃ ⁻	266.9	276
CO ₂	513.3	165
H ₂ SiO ₃	158.2	181

詳しい状況は明らかでない。掘削深度は98mで、全長にわたって径6インチの合成樹脂積層管がケーシング管として挿入され、その58m以深にはストレーナが設置されている (Fig.1参照)。

温泉の自噴量は830 l/minで、この量は検層の作業中も作業後も変化はなかった。泉温は39.8°Cであり、わずかに気泡(恐らくCO₂)を伴っている。泉質は平成4年(1992)8月の分析ではTable 1に示すように、蒸発残留物量が1.07g/lのCa・Na・Mg-SO₄・HCO₃・Cl泉である。近年幾分濃度が薄くなっているようであり、昭和44年(1969)10月の分析(Ca・Mg・Na-SO₄・HCO₃・Cl泉)と比較して溶存しているCO₂は著しく減少している。

3. 検層

実施したのは、温度、示差温度、電気伝導度および流速の4項目

の検層である。深度はケーシング管上端を0mとして計測した。電気伝導度のみは0.5m間隔(一部は1m間隔)の点測定で、他の検層は連続、自記の測定である。検層結果をまとめてFig.1に示す。

3. 1 温度検層・示差温度検層

温度検層はサーミスタによる連続測定である。温度は孔口の40℃から深度とともに上昇し、孔底の98m深度で50.7℃に達する。65m以浅は温度が直線的に上昇しその勾配はほぼ1.0℃/100mであるが、深度65～82.5m間、82.5～94m間はそれぞれ6.3℃/100m、7.9℃/100mと急な勾配になる。以深はさらに急に上昇し、孔底で50.7℃になる。今回の検層のほぼ1年前に、地元の温泉組合によって点測定による温度検層が行われている。その結果は図には示さないが、大略似たようなパターンで今回よりも1～2℃高い温度を示しており、さらに80m以深で指示のフラツキが認められたとのことである。

示差温度検層は、深度差1mの2つのサーミスタの温度差を連続的に測定するものである(深い方が高温の場合に+)。Fig.1に示すように、温度差は浅部では緩やかに変動しながらほぼ0線上にあるが、深度58mのストレーナ上端付近から細かく上下する変動がみられ、深度67m以深で変動は一層激しくなる。93m以深は+側でのさらに大きな変動を示す。

3. 2 電気伝導度検層

電気伝導度検層は、深度16m以浅および60m以深は0.5m間隔で、16mから60mの間は1m間隔の点測定で実施した。得られた測定値は温度20℃での値に補正された値で、単位はm S/cmである。測定は深度1～98m間で行い、その値は1.310～1.517m S/cmの範囲にあった。1～11m間は1.365～1.372m S/cmの間のほぼ安定した値を示すが、以深は深度とともに低下の傾向を示し、深度68mに至って1.310m S/cmとなる。その下部は逆に深度とともに上昇し、ことに95m以深の上昇は急で、孔底では1.517m S/cmとなる。その間、深度60～65m、80m付近、90～95mではほぼ安定した値を示している。なお、64m以深では指示にフラツキが認められた。

3. 3 流速検層

流速検層はスピナー法を用いて行った。スピナー法とは、孔内の温泉水の流動に伴う測定ゾンデ内のスピナー(プロペラ)の回転数を測定し、流速を知る方法である。ゾンデを5m/minの速度で移動させて測定した。

プロペラの回転数と流速との関係は水道水を用いた室内実験から決定した。実際の検層に当たっては、ゾンデを5m/minの一定速度で降下させ、測定流速からゾンデの降下速度を差し引いて実流速とした。得られた流速分布はFig.1に示す。孔口における流速は41.8m/minで、以深59m付近まで40m/min前後の流速が続き、その後は深度とともに段階的に減じて孔底付近では5m/minとなっている。

4. 考察

この温泉井は、ケーシング管の内径が0.15mで孔口流速が41.8m/minなので、計算上の流量は流速×流路断面積 $=41.8 \times (0.15/2)^2 \times 3.14 = 738$ (ℓ /min)と求められる。ところが実測した自噴量は、前に述べたように830 ℓ /minなので、それに合わせるには計算値に1.125(830/738)の係数を掛けて補正する必要がある。したがって、流速から流量を求める計算では、この係数による補正を行った。この源泉では掘削された98mの孔底まで ϕ 150mm管が挿入されているので、管内の各深度での流速が判明していれば、その深度での流量が計算できることとなり、またストレーナの施されていないケーシング管部分では、破損などの故障がない限り同一流速すなわち同一流量を示すはずである。

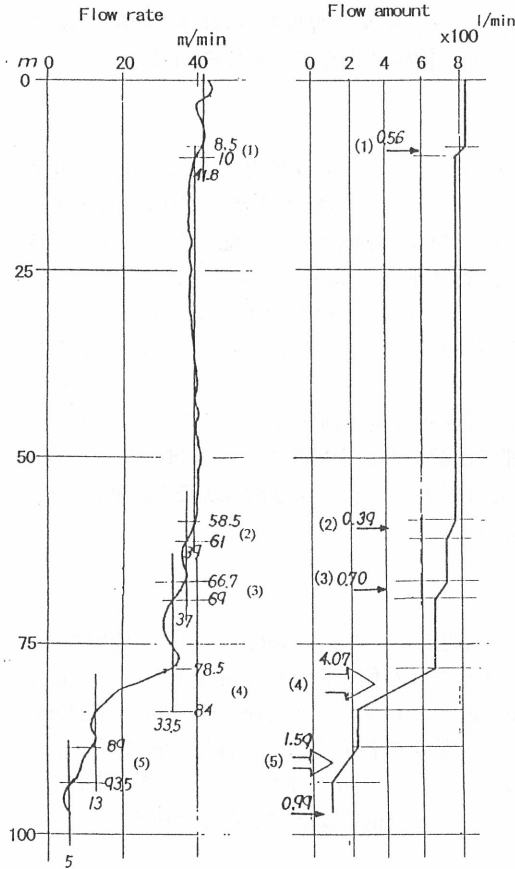


Fig.2 Analysis of spinner log

Fig.2の左に示すように図上で解析すると、6つの流速帯が区別され、その間の5ヶ所の流入部(便宜上、浅い方から(1)~(5)の流入部とする)で流速の増大があったことが分かる。流量として示すとFig.2の右のようになり、深度が浅くなるにつれて流量が増加する様子から、矢印で示した流入部ごとの流入流量を求めることができる。Table 2には、Fig.2から読み取った0~8.5m, 10~58.5m, 61~66.7m, 69~78.5m, 84~89m, 93.5~98mの各深度の流速帯での流速と流量および流量の増加から求めた(1)8.5~10m, (2)58.5~61m, (3)66.7~69m, (4)78.5~84m, (5)89~93.5mの各深度からの流入流量が示してある。

また、各流速帯の温泉水の温度、電気伝導度と(1)~(5)の流入部から流入する温泉水の温度、電気伝導度の推定値も併せて示してある。これらの推定値は、各流速帯の最浅部の値は、下部至近の流入部から流入した温泉水とその下部の流速帯から上昇した温泉水とが混合した結果であり、そのとき温度と電気伝導度は、混合した温泉水の混合比に応じて変化したとして、逆算して求めたものである。

このようにしてみると、この温泉井への温泉の最多流入部は(4)の流入部であり、温度41.1℃、電気伝導度1.29mS/cmの温泉が407 l/min流入していることとなる。それに次ぐのは(5)の流入部であって、温度41.6℃、電気伝導度1.38m S/cmの温泉が159 l/min流入していることとなる。この他に孔底からは、温度46.5℃、電気伝導度1.43m S/cmの温泉が99 l/minが流入し、さらに(1),(2),(3)の各深度での流入が考えられるが、いずれも流入量は70 l/min以下である。ただ、深度8.5~10mの(1)の流入部は本来ストレーナが設置されていないケーシング管の部分であり、そこで流入があることから、ケーシング管が破損しているのではないかと考えられる。

Fig.1にはこのような温泉流入部を矢印を付けて示している。温泉水が管内を上昇するにつれて、新たな温泉水の流入によって温泉の自噴量が次第に増加し、それとともに温度が低下し電気伝導度も低下しているのが全体としての傾向であると考えられ

Table. 2 Characters of flowing thermal water in well

Depth m	Flow rate m³/min	Flow amount l/min	Temperature ℃	Electric Conduct. mS/cm	Inflowing part
0					
8.5	41.8	830	40.0	1.37	
10		(56)	(22.0)	(1.37)	(1)
58.5	39	774	41.3	1.37	
61		(39)	(31.9)	(2.12)	(2)
66.7	37	735	41.8	1.33	
69		(70)	(39.9)	(1.33)	(3)
78.5	33.5	665	42	1.33	
84		(407)	(41.1)	(1.29)	(4)
89	13	258	43.5	1.40	
93.5		(159)	(41.6)	(1.38)	(5)
98	5	99	46.5	1.43	

() : inflowing thermal water

る。(1)の流入部は、温度検層、電気伝導度検層に変動が、(2)の流入部はストレーナの上端部であって、示差温度検層、電気伝導度検層に変動が、(3)の流入部は温度検層、示差温度検層、電気伝導度検層に変動がそれぞれみられる。電気伝導度検層の指示のフラツキは深度64mから始まる。(4)の流入部では電気伝導度検層での変動が大きく、温度検層の指示のフラツキが始まる。(5)の流入部では温度検層での変動が大きい。電気伝導度検層、温度検層にみられる指示のフラツキは、溶解している気体成分の発泡によるものと思われるが、詳しくは明らかでない。

このような温泉の流入によって温泉の自噴量が次第に増加するにつれ、温度が低下し電気伝導度も低下したものと考えられる。電気伝導度が(2)の流入部から(1)の流入部にかけて増大するのは、(2)の流入部で電気伝導度の大きい温泉水の流入があるためであろうが、深度43m付近での階段状の変化とともに詳しくは明らかでない。

5. まとめ

泉温 39.8°C の $\text{Ca}\cdot\text{Na}\cdot\text{Mg}-\text{SO}_4\cdot\text{HCO}_3\cdot\text{Cl}$ 泉、 830 l/min が自噴している温泉井について、いくつかの項目の検層を実施して、温泉の湧出状況、ことに温泉水の孔内への流入状況について考察した。なお、この温泉井は、掘削長98mの全長にわたって6インチケーシング管が挿入されており、そのうち58m以深はストレーナとなっている。

流速検層の結果から孔内に流入する温泉水の深度と量とが推定され、温度検層と電気伝導度検層から流入温泉水の温度および電気伝導度がそれぞれ推定された。

温泉水は底部と5つの異なった深度から孔内に流入する。底部と2つの深い部分からの温泉水が流入量のほぼ80%を占め、他は浅い3つの部分から流入する。底部からの温泉水が最も高温、高濃度であって、温泉水の上昇とともに新たな温泉水の流入があり、温泉量は増加するが、温度が低下し、濃度も薄くなる。そして最も浅い流入部は、ストレーナが設置されていないところであって、ケーシング管が破損している可能性がある。

温泉井では、温度検層はよく行われるが、流速検層や電気伝導度検層は、あまり行われていない。今後は、さらに他の検層をも含めて多くの温泉井で実施して、孔内での温泉水流動状況のより詳しい解明を行っていきたい。

最後に査読者の御意見によって、この報文が大いに改善されたことに深く感謝する。

(1997年8月26日第50回日本温泉科学会にて発表)