

坑内検層による温泉水流入深度の推定  
—小清水町2号井の例—

Analysis of geothermal water inflow depth inferred from well logging  
—A case study of the Koshimizu town No. 2 well in east Hokkaido—

鈴木 隆広・高橋 徹哉  
Takahiro Suzuki and Tetsuya Takahashi

Abstract

The changes of temperature, quantity and dissolved components in geothermal water may be generated in drilled geothermal water wells past a few years.

Especially, decreasing in temperature and quantity, abnormal adhesion of the scale, contamination of the sand have been named the well-obstructions, because it is a growing problem in the utilization.

The phenomena of the well-obstruction are various, many cases are lowering of the temperature and decrease in the dissolved components. These can explain that the geothermal water of low temperature and concentration newly flow into the well.

We carried out the some well loggings which are temperature logging, electric conductivity logging and spinner logging in the Koshimizu town No.2 well as part of the research in November, 2002.

As the result, that geothermal water flowed into at 456m, 465m, 503m, 599m. Then, the inflow can be respectively estimated 160L/min at 456m, 30L/min at 465m, 60L/min at 503m, 60L/min at 599m and 60L/min at deep direction.

キーワード; 坑井障害, 温泉水, 温度検層, 電気伝導度検層, 流速検層, 化学組成, 北海道

Key words; well-obstruction, geothermal water, temperature logging, electric conductivity logging, spinner logging, chemical composition, Hokkaido

I はじめに

ボーリングによって開発された温泉井戸が年月を経ることで、利用開始当時と比較して、泉温、湧出量、泉質などに顕著な変化が生じることがある。特に泉温の低下、湧出量の減少、溶存成分の減少、スケールの異常付着、砂の混入等といった変化は、利用上の大きな問題となる。これらの現象を筆者らは利用上の“坑井障害”と呼んでいる。坑井障害の現象は様々であるが、泉温の低下と溶存成分の減少については、セメンチングなど坑井仕上げの不備やパッカーの破損などが原因で、浅層部から低温・低濃度の温泉水が坑井内に流入するために発生することが多い。

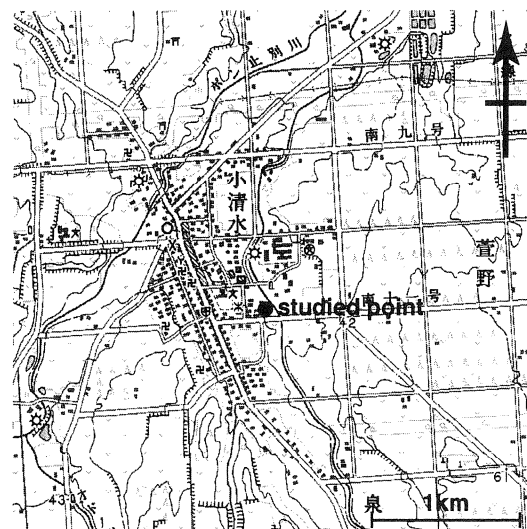
小清水町2号井は、1991年に掘削された深さ1200mの井戸であり、現在まで公共施設等で利用されている。1993年の利用開始から2年後の1995年には、湧出能力が低下する坑井障害が確認されたため、1997年に深度900m以深をセメントで閉塞することで、200L/minの自噴井に回復した。しかし、その後も低温・低濃度の浅層水の流入によると考えられる泉温低下が継続したため、同町では井戸の改修を再度行うこととした。

当所では、2002年度から「坑井障害に関する研究」を開始したが、この研究の一環として上記井戸について改修前の2002年11月に坑内検層を行った。ここでは、この調査結果を報告するとともに、坑内検層結果と温泉水の化学特性から坑井内での温泉水の流入状況につ

いて考察する。

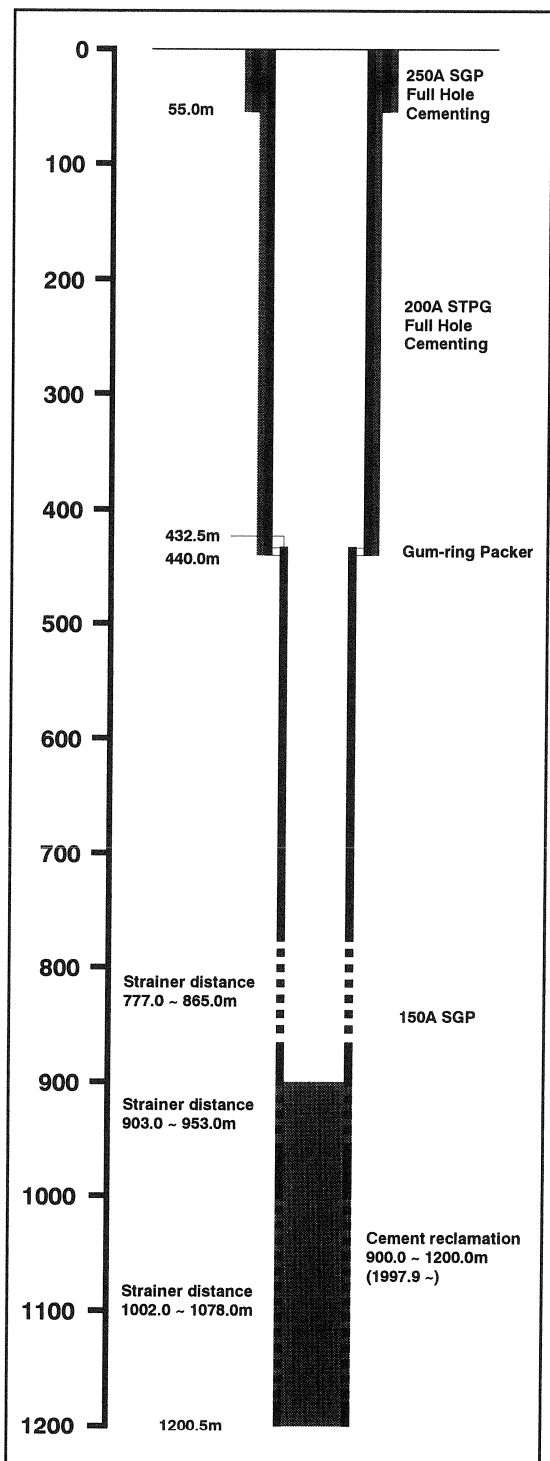
II 小清水町2号井のケーシングプログラム

第1図に小清水町2号井の位置、第2図にケーシングプログラムをそれぞれ示した。坑井仕上げ直後(1991年10月)のケーシング状況は、深度55mまで250A SGP、深度440mまで200A STPGがそれぞれ挿入され、



第1図 小清水町2号井の位置(国土地理院5万分の1地形図「小清水」を使用)

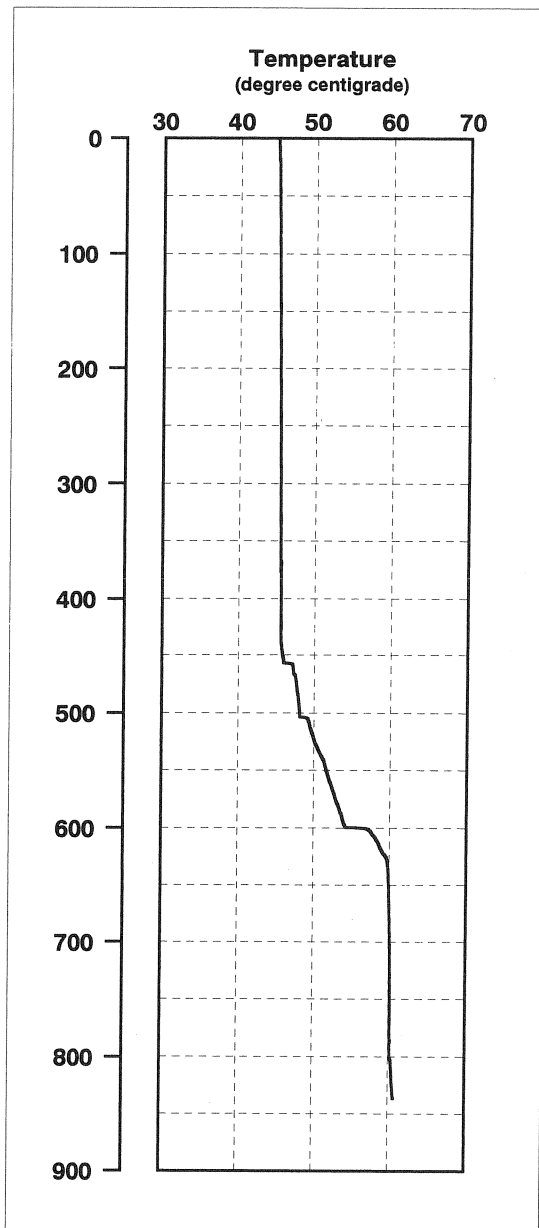
Fig.1 Location of Koshimizu town No. 2 well.



第2図 小清水町2号井のケーシングプログラム  
Fig. 2 Casing program of Koshimizu town No. 2 well.

2 栓式フルホールセメンチングを行っている。以深は深度1200.5mまで150A SGPが挿入され、深度432.5mに200Aとの接続・遮水のためのゴムリングパッカーが設置されている。

本井は1993年から利用を始めたが、利用開始後から炭酸カルシウムスケールの付着により坑井内が閉塞

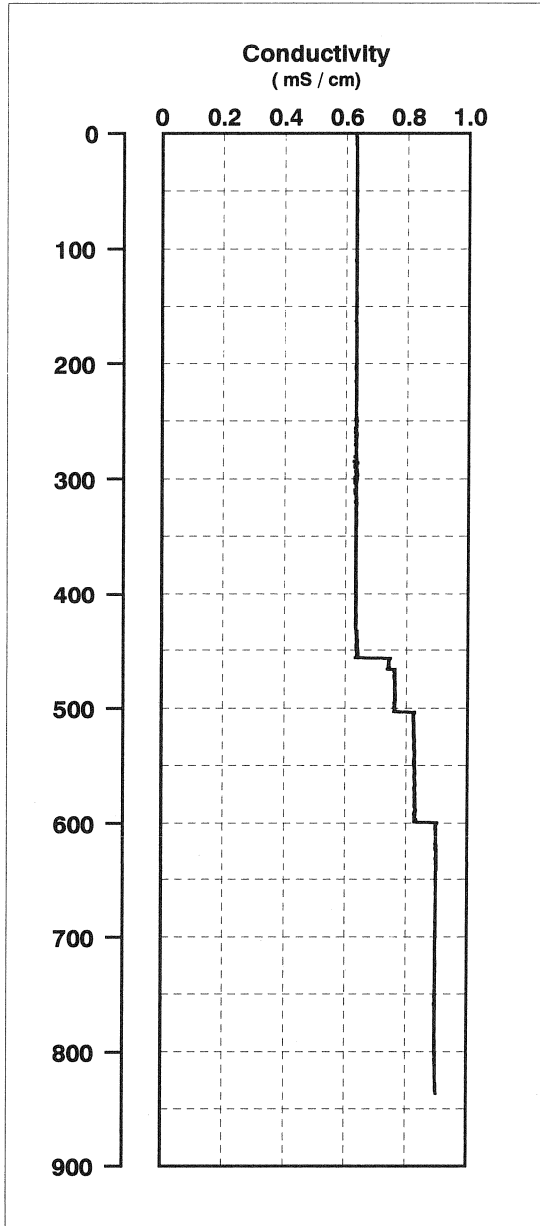


第3図 温度検層結果  
Fig. 3 Result of temperature logging.

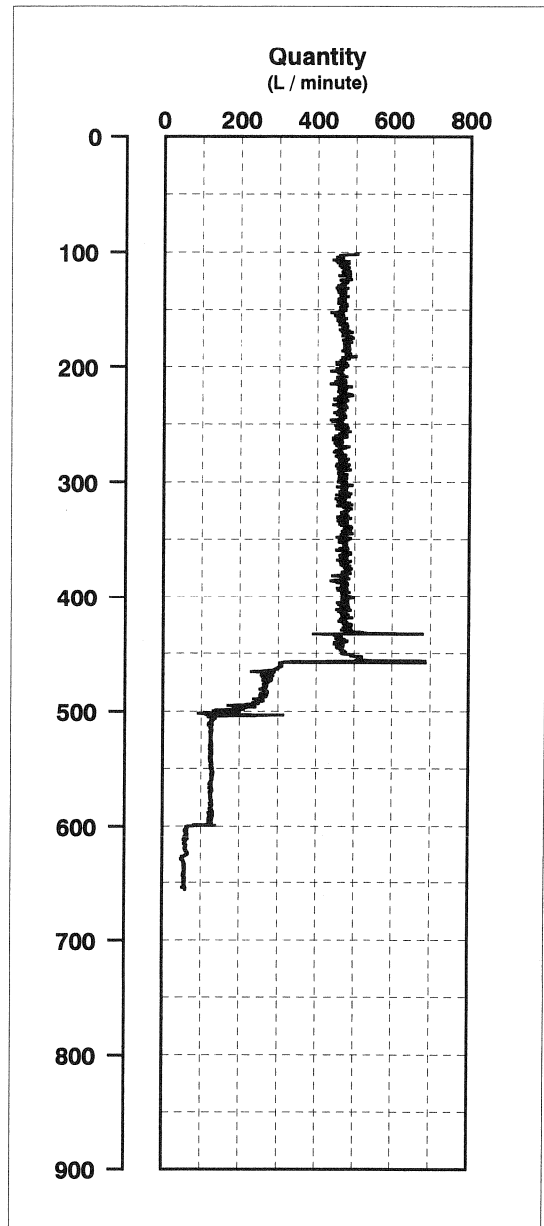
第1表 測定項目一覧

Table 1 A table of measurement items

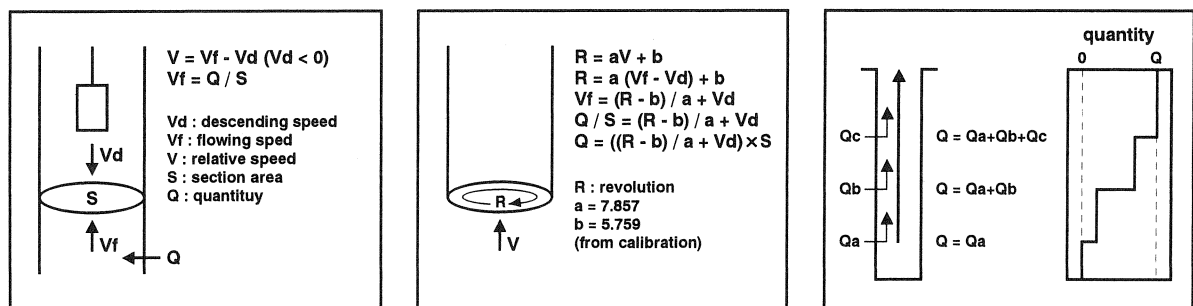
Investigation menu	Date	Measurement	Depth (m)
Situation of flowing	2002.11.6 8:30 2002.11.7 8:15	flowing quantity temperature / pH electric conductivity	-
Temperature logging	2002.11.7	temperature	0.0 - 835.8
Electric conductivity logging	2002.11.7	electric conductivity	0.0 - 835.8
Spinner logging	2002.11.6	velocity of flowing	100.0 - 656.0



第4図 電気伝導度検層結果  
Fig. 4 Result of electric conductivity logging.



第6図 流速検層から求めた流量の変化  
Fig. 6 Flowing quantity calculated from spinner logging.



第5図 流速検層の概念図 (左: 坑井内の流速 中: 流速と湧出量の関係 右: 流量の変化)  
Fig. 5 Concept of spinner logging (left: velocity of flowing fluid in well; center: relation between velocity of flowing fluid and quantity; right: increase in flowing quantity).

し、湧出能力が低下していた。このためスケール付着対策として、1997年9月に深度900m以深をセメントで埋設し、今回の調査時まで同じ状況であった。

### III 坑内検層結果と考察

坑井内での温泉水の挙動を把握するために、第1表に示した湧出状況調査、温度検層、電気伝導度検層および流速検層を行った。ここでは坑内検層の結果と考察について述べる。

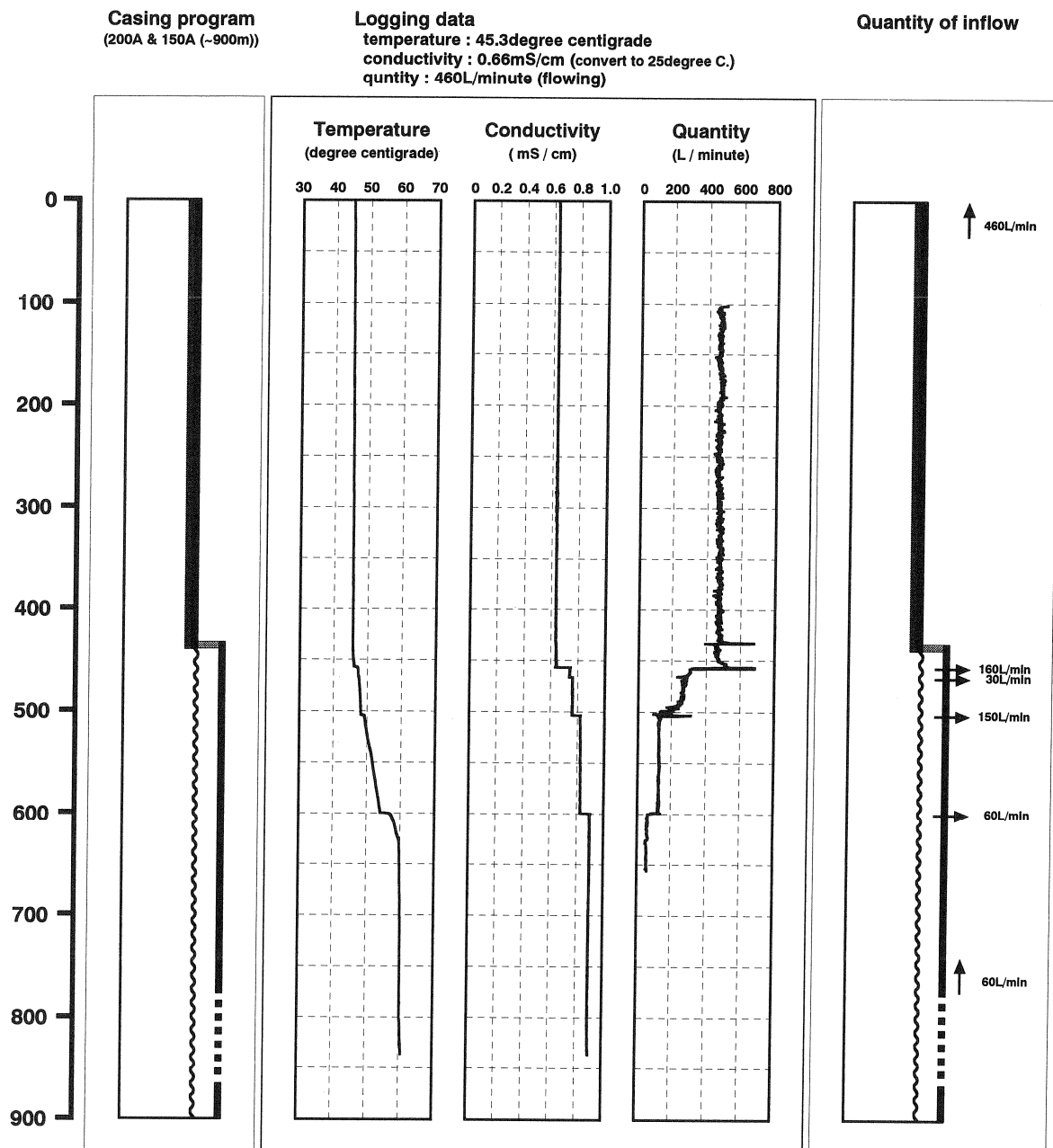
#### III. 1 温度検層

第3図に温度検層の結果を示した。深度456mまで地

上に湧出した温泉水の温度とほとんど同じであった。深度456m、深度465m、深度503mでは階段状に増加する変化が認められる。深度503m以深では、深度526mと541mで若干屈曲するが、深度599mまでほぼ直線的に増加する。さらに深度599mで階段状に増加した後は、深度625mまでほぼ直線的に増加し、深度625m以深からは泉温の変化がほとんどない。

#### III. 2 電気伝導度検層

第4図に電気伝導度検層の結果を示した。温度検層の結果と同様に、深度456mまで地上に湧出した温泉水の電気伝導度(0.63mS/cm, 25°C換算, 以下同様)とほとんど同じで、深度456mで0.74mS/cm、深度465m



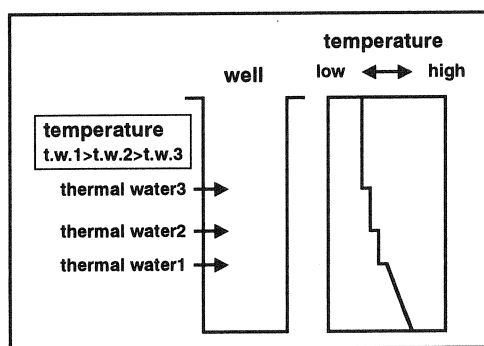
第7図 ケーシングプログラム — 坑内検層 — 温泉水流入状況対比図

Fig. 7 Comparison diagram of casing program, well logging and quantity of inflow.

で0.76mS/cm, 深度503mで0.82mS/cm, 深度599mで0.90mS/cmと階段状に増加する変化が認められる。深度599m以深では電気伝導度(0.90mS/cm)はほとんど変化しない。これらのことから, 深度599m以深から湧出してくる温泉水の成分濃度がいちばん高く, 階段状に変化する深度でより成分濃度が低い温泉水が順々に流入していると推定される。

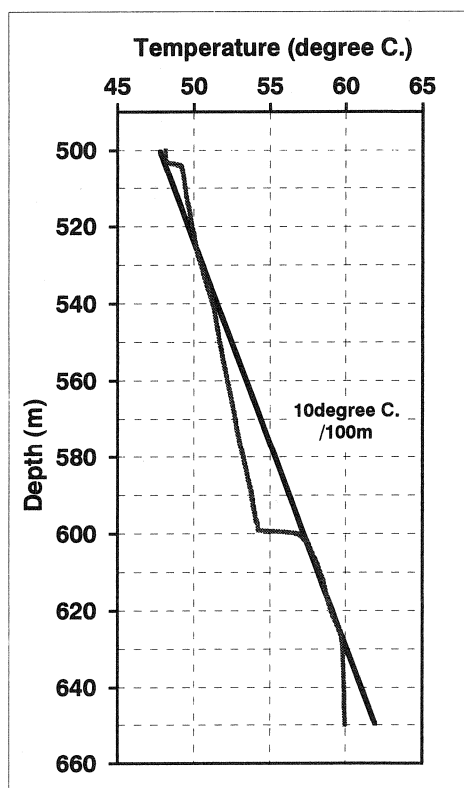
### III. 3 流速検層

第5図に流速検層の概念図を示した。第1表に示したように検層時には平均460L/minの自噴があり, 計測した速度からゾンデの降下速度を差し引いたものを,



第8図 一般的な坑内温度分布

Fig. 8 The general concept of temperature distribution in the well by inflow of geothermal waters.



第9図 小清水町2号井の坑内温度分布(500~650m間)  
Fig. 9 Temperature distribution of Koshimizu town No. 2 well (500m-650m).

自噴している流体の上昇速度とした。また, 流速とスピナーの回転数には1次関数の関係が成り立つことから(第5図), この式に各数値を代入して各深度での流量を計算した。

第6図に流速検層結果から計算した深度に対する流量を示した。深度432m, 深度456m, および深度503mで大きな変化が認められるが, 深度432mでは口径の変化による乱流の発生, 深度456mと深度503mでは温泉水流入による乱流の発生により著しく変化しているものと考えられる。流量は地表から深度456mまで自噴量の460L/minで変化せず, 深度456mで300L/min, 深度465mで270L/min, 深度503mで120L/min, 深度599mで60L/minにそれぞれ減少している。流量が変化する深度は, それぞれ温度検層・電気伝導度検層で変化する深度に対応しており, 調和的である。

### III. 4 流入温泉水の推定

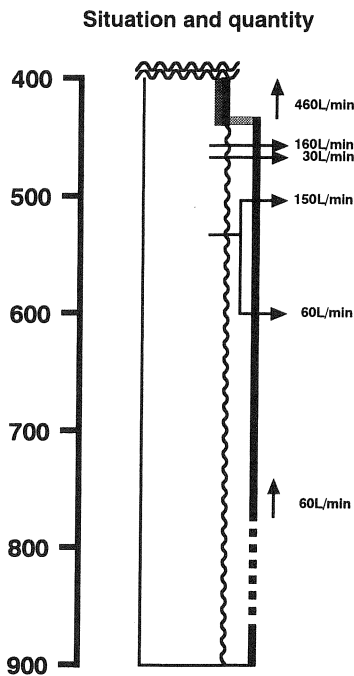
ケーシングプログラム, 温度・電気伝導度検層結果, 流量測定結果, および流速検層から推定される各深度からの流入量を対比させたものを第7図に示した。流量の変化する深度と坑内温泉水の温度・電気伝導度が変化する深度は一致していることから, 本井から湧出している温泉水は, 深度600m以深から60L/min, 深度599mから60L/min, 深度503mから150L/min, 深度465mから30L/min, 深度456mから160L/minが坑井内にそれぞれ流入しており, 地上部で総計460L/minが湧出していると推定される。

なお, 上記の深度にはストレーナパイプが配置されていないことから, なんらかの原因でケーシングパイプに孔があり, その孔から坑井内に温泉水が流入しているものと考えられる。

自噴能力を持つ温泉賦存層が数層存在する温泉井戸の場合, 一般的には第8図のように, 坑井内中の温度は坑井内に温泉水が流入する深度で数°Cの変化を示し, 温泉水の流入が無い区間ではほとんど勾配を持たない直線を示すため, 全体として階段状の変化を示す。本井の場合も, 深度456m, 465m, 503mの間ではこの階段状の温度分布が当てはまる。しかし, 深度503~625m間では, 勾配を持った直線を示しており, 階段状の温度分布が当てはまらない。

第9図に深度500m~650m間の温度検層結果を拡大して示した。さらに, 深度599m~625m間の地温勾配を10°C/100mとして, この区間の温度分布に接する接線を併せて示した。この接線は深度527~536m間で再び実測温度分布グラフと接し, 深度503mで交差することから, 深度527m以深(527~599m間)では坑井内が冷却され, 深度527m以浅(503~527m間)では加温されていることになる。つまり深度527~536m間に温泉賦存層があり, この温泉水がケーシングパイプ外側を上昇流および下降流となって流れ, 内側の温泉水を冷

却・加温しながら深度599mと深度503mでそれぞれ坑井内に流入しているものと推定される(第10図)。



第10図 温泉水の挙動

Fig. 10 Situation of geothermal waters inflow in the well.

#### IV 井戸の改修による湧出温泉水の変化

当所の調査結果を受け、町では低温温泉水の流入を防ぐために内挿管を挿入し、併せて湧出能力の試験を行った。ここでは、湧出能力試験結果と温泉水の化学組成から、前章の推定について検証を行う。

##### IV. 1 内挿管挿入後のケーシングプログラム

第11図に内挿管挿入後のケーシングプログラムを示した。深度599m以浅で孔から入るの温泉水を遮断するため、深度409.5~664.8m間に125A SGPを内挿し、深度409.5mにはゴムリングパッカー、深度642.2m, 653.5m, 664.8mには膨張ゴムパッカーを取り付けて低温温泉の流入を防ぐ構造とした。

##### IV. 2 揚湯試験結果と温泉水の化学組成

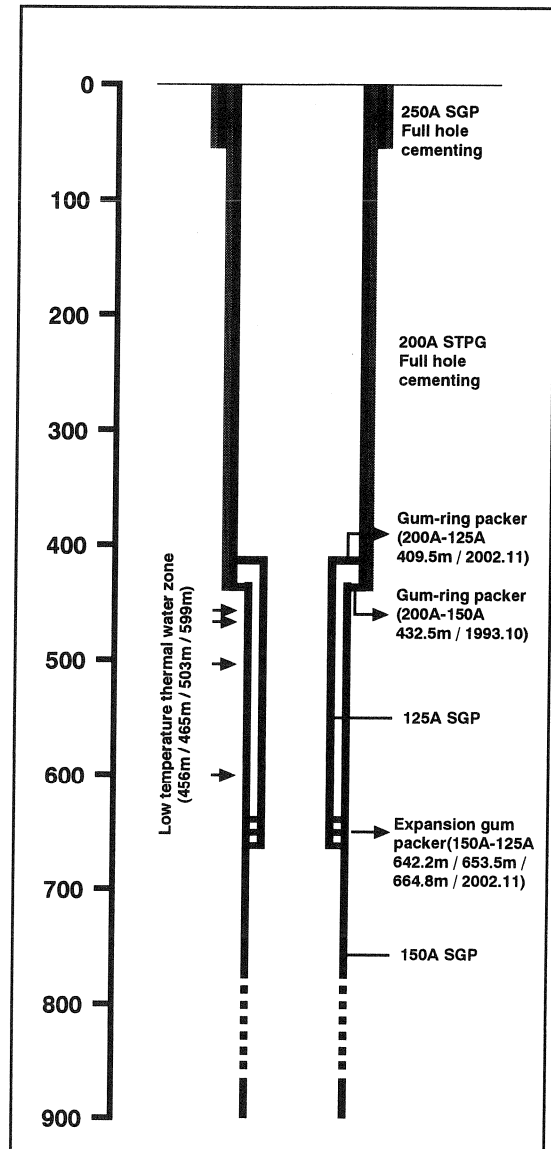
内挿管挿入直後は、パッカーの遮水効果が弱いため230L/minの自噴量であったが、上部のゴムリングパッカー締め付け後は、55L/min(電気伝導度0.91mS/cm)の自噴量となった。その後に水中モータポンプを設置して揚湯試験を行った。第1段階では揚湯量237L/minで揚湯温度52.8°C、動水位-12.3mであった。第2段階では揚湯量309L/minで揚湯温度54.8°C、動水位-24.0mという結果となった。

第2表には、坑内検層時と内挿管挿入後の湧出状況、

pHおよび電気伝導度を示した。内挿管挿入後パッカー締め付け前(11月23日)では、浅層部の流入温泉水が完全に遮断されていないため、pHと電気伝導度は坑内検層時に近い値を示している。締め付け後は、pHと電気伝導度ともに増加しており、浅層部の温泉水が完全に遮断されていると推定される。

第3表には、2002年12月と2002年5月に採取した温泉水の化学組成を示した。Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, F<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の分析は、温泉水を0.2μmのメンブランフィルターで濾過した後、イオンクロマトグラフィー(横河アナリティカルシステム社製IC7000S)で行った。炭酸濃度(HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>)の分析は、滴定法により行った。

2002年5月以来、温泉水の泉質が内挿管挿入直前まで変化していないとすれば、陽イオンの組成比はほとんど変化していないが、陰イオンの組成比は約24%塩



第11図 内挿管挿入後のケーシングプログラム

Fig. 11 Casing program after inserting inner casing.

第2表 温泉水の湧出状況と化学特性

Table 2 Flowing situation and chemical characteristic of geothermal waters

date	quantity (L/min)	water level (m)	temperature (degree C.)	pH	conductivity (mS/cm)	memo
2002.11.6	453	flowing	45.4	*8.8	*0.67	well logging
2002.11.7	467	flowing	45.3	*8.8	*0.66	well logging
2002.11.23	230	flowing	44.4	8.9	0.62	immediately after inserted inner casing
2002.11.28	55	flowing	-	-	-	immediately after closed packer
2002.11.30	237	-12.3	52.8	9.2	0.91	pumping up
2002.12.1	309	-24.0	54.8	9.2	0.91	pumping up

\* mark is measured at field.

第3表 温泉水の化学組成

Table 3 Chemical compositions of geothermal waters

sampling date		Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	total cation	F	Cl <sup>-</sup>	Br	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	total anion
2002.5.22	mg/kg	123.0	8.1	0.1	3.5		2.3	102.7	0.4	6.8	139.1	26.4	
	mval	5.35	0.21	0.00	0.04	5.60	0.12	2.90	0.01	0.04	2.28	0.22	5.56
	mval%	95.5	3.7	0.0	0.8	100.0	-	53.3	-	0.7	42.0	4.0	100.0
2002.12.1	mg/kg	162.6	12.4	-	2.0		7.1	173.3	0.6	26.7	59.8	50.4	
	mval	7.07	0.32	-	0.02	7.41	0.37	4.89	0.01	0.14	0.98	0.42	6.81
	mval%	95.4	4.3	-	0.3	100.0	-	76.1	-	2.2	15.2	6.5	100.0

化物イオンの割合が増加しており、成分総量も増加している。

#### IV. 3 検 証

浅層部の孔から流入する温泉水(深度456m, 深度465m, 深度503m, 深度599m)を遮断した結果、自噴量は55L/minとなった。これは流速検層から推定した深部からの湧出量(60L/min)とほぼ等しい。また、得られた温泉水の電気伝導度は0.91mS/cmであり、電気伝導度検層で深度599m以深が示していた値(0.90mS/cm)とほぼ等しい。

以上の二点から、深度409.5~664.8m間に内挿管を挿入した結果、浅層部の孔から流入する温泉水は完全に遮断され、深度599m以深から湧出している温泉水のみが地上部まで上昇していると考えられる。

#### V ま と め

小清水町2号井の調査結果と内挿管挿入後の揚湯試験結果から、以下のことが明らかになった。

- 1) 温度検層、電気伝導度検層、および流速検層の全ての結果で、深度456m, 深度465m, 深度503m, 深度599mにおいてそれぞれの項目で変化が確認できた。
- 2) 上記の深度から坑井内に温泉水がそれぞれ流入しており、その量は流速検層から、160L/min, 30L/min, 150L/min, 60L/minと推定され、さらに深部から60L/minが湧出していると考えられる。
- 3) 上記の深度から流入する温泉水を遮断した結果、自噴量が55L/minとなり、流速検層から推定した量

が正しいことが明らかになった。

- 4) 内挿管挿入後に自噴するようになった温泉水の電気伝導度は、電気伝導度検層で深度599m以深が示していた値とほとんど等しく、浅層部の温泉水が完全に遮断されていることが明らかになった。

#### VI おわりに

小清水町2号井の調査結果について報告し、坑内検層結果と温泉水の化学的特性から坑井内の温泉水の流入状況について考察した。本調査によって、坑内検層が坑井障害の深度や状況の判断をするうえで有効な手段であることが再認識された。

#### 謝 辞

小清水町役場および小清水ふれあいセンターの関係各位からは、調査の際に多大な協力をいただいた。株式会社ドリリング計測の宮田厚氏からは、小清水町2号井の各種データの提供と温泉水試料の採取をしていただいた。当研究所藤本和徳企画情報課長からは本報告をまとめるにあたり貴重な意見を頂いた。川森博史地域地質部長と広田知保環境地質部長には、原稿の校閲をしていただいた。以上の方々に、ここに記して感謝の意を表する。

#### 文 献

千葉ボーリング工業株式会社(1991)：平成3年度温泉ボーリング委託業務報告書。