

箱根湯本・塔ノ沢における揚湯試験 (その1)

大山正雄*, 久保寺公正**, 岩田義徳**

神奈川県温泉研究所

Sur les Essais de Pompage dans la Région de Yumoto-Tônosawa (1)

par

Masao ÔYAMA, Kôsei KUBODERA et Yoshinori IWATA

Institut de la Source Thermale de la Préfecture de Kanagawa

Hakone, Kanagawa

(Résumé)

La région de Yumoto-Tônosawa, située à l'est dans la caldeira de Hakone, peut être considérée comme un bassin des eaux souterraines (Tableau 1). Le débit total des eaux thermales des puits forés et des sources et de l'énergie calorifique sont en constante augmentation d'une année à l'autre et se sont maintenant élevés à 8.06×10^8 m³/jour et 3.02×10^8 kcal/jour. Nous avons essayé les essais de pompage pour faire des investigations sur la balance hydrologique dans ce bassin. On a d'abord fait choix cinq puits à eau thermale qui longent la rivière de Sukumo.

Comme tous les puits utilisaient les appareils d'exhaure à air comprimé, on a estimé le changement de hauteur d'eau à la pression du réservoir d'air.

On examine en particulier ici le changement de pression propre au appareil d'exhaure à air comprimé, les rapports entre le débit du pompage et la hauteur d'eau et l'écoulement intermittent des eaux dans la conduite de pompage.

Les coefficients de transmissibilité déterminés par l'équation de Theis sont $1.51 \times 10^{-4} \sim 2.3 \times 10^{-5}$ m²/sec.

Les puits No. 56 et 80 (10^{-4} m²/sec) se trouvent à peu près à une faille du sens du ouest-nord-ouest au est-sud-est qui régit le mouvement des eaux thermales souterraines dans cette région.

*神奈川県温泉研究所 神奈川県箱根町湯本997 〒250-03

**神奈川県小田原保健所 神奈川県小田原市南町2-4-45 〒250

神奈川県温泉研究所報告 第5巻, 第2号, 45—58, 1974

まえがき

湯本・塔ノ沢の温泉地は一つの温泉帯水盆と考えることが出来る。帯水盆へのかん養補給量を上回って過剰揚湯されると温泉水位が低下するため様々な問題が生じて来る。水位低下は揚湯量の減少になると共に、地表水や浅層冷地下水の流入を容易にし、今まで温泉帯水層であったところが冷地下水層に転化したり、泉温を下げたりする。

水位の低下によって起る現象を何処まで許すかということは経済的要素とも絡み合いむずかしい問題である。しかし、湯本・塔ノ沢地域ではすでに温泉の涸渇化が進行している現在、温泉を資源として持続的に利用するためには温泉揚湯に対する指導を再検討し、新たに基準を決める必要に迫られている。

私達は湯本・塔ノ沢地域の温泉帯水層の状態を評価する一方法として揚湯試験を行なったので報告する。

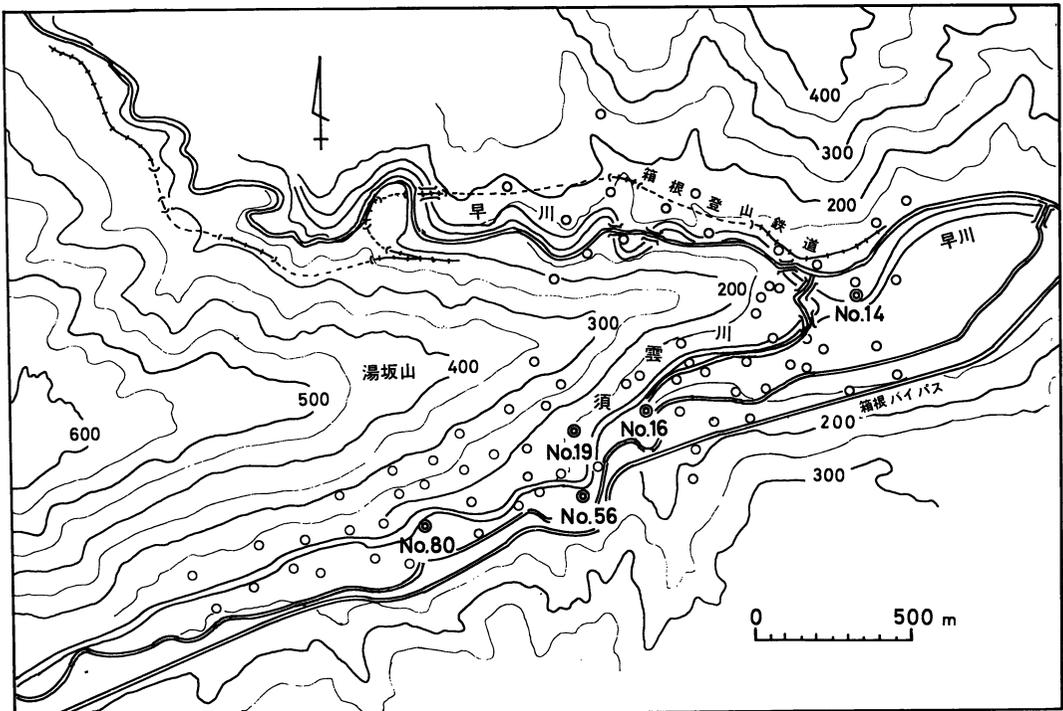


図1 箱根湯本・塔ノ沢温泉の源泉井分布

揚湯試験の方法

湯本・塔ノ沢地域の温泉はかつて自然湧泉を利用していましたが、温泉需要が増大するにつれて水面が低下したため動力装置による温泉採取が行なわれるようになった。1932年（昭和7年）に渦巻ポンプが、1950年頃からエアリフトポンプが登場している。今日利用されている揚湯装置の90パーセント以上はこのエアリフトポンプである。

深井戸ポンプとして一般に、1) ボアホールポンプ、2) 水中モーター・ボアホールポンプ、3) ジェットポンプ付渦巻ポンプ、4) エアリフトポンプの4種類が用いられている。

エアリフトポンプは効率が悪く、コンプレッサーとの総合効率が30パーセント以下になることが

多い。しかし、井戸内は揚湯管とエア管のみでモーター等の運動部分がないことから故障が少なく、温泉スケール（湯垢）の附着も簡単に除去出来る利点がある。このため小口径で、高揚程を必要とし、揚湯管やエア管の腐蝕を心配しなければならない温泉地では揚湯動力装置としてエアリフトポンプが一般に利用されている。

エアリフトによる孔井の内部構造は簡単であるが、湯本・塔ノ沢の多くの温泉井の様に仕上り口径が10cmで、その中に揚湯管（5～6.3cm）とエア管（1.3～1.9cm）が入っており、しかも密閉されているのでエア管や揚湯管を抜取った時以外水位を直接測定することが出来ない。このため、揚湯試験に際しての水位変動を知るにはコンプレッサーから吐出した空気を一時的に貯え、脈動を緩和するためのレシーバタンク（空気槽）に取付けた圧力計で背圧値を読取って、エア管尻から水面までのおよその水頭を推定しなければならない（図2）。

今回の揚湯試験は主に、須雲川沿いの5源泉井（図1の二重丸）を選んで行なった。なお、湯本・塔ノ沢地域の利用されている源泉井は殆んどが営業用であり、1日中揚湯して

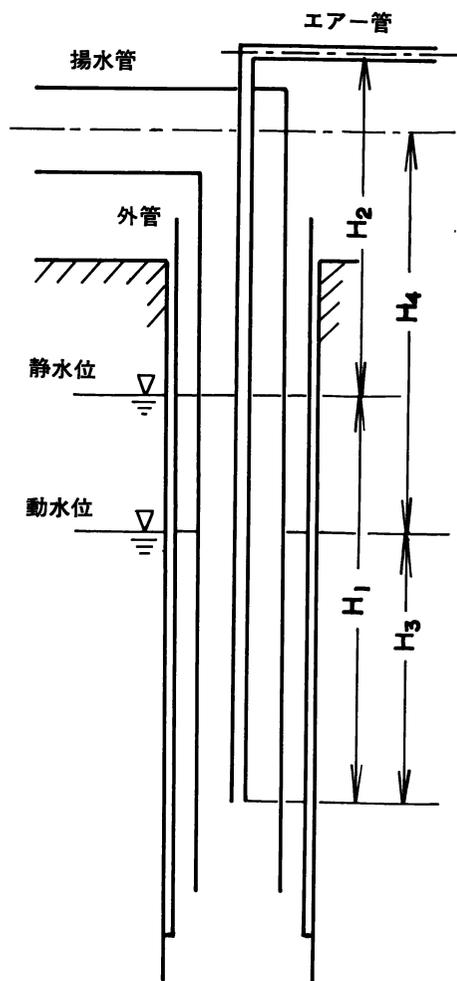


図2 エアリフト孔井内の概略図

H_1 ; 静水時のエア管の浸水深さ, H_2 ; 動水時のエア管の浸水深さ, H_3 ; 動水時のエア管の浸水深さ, H_4 ; 揚程

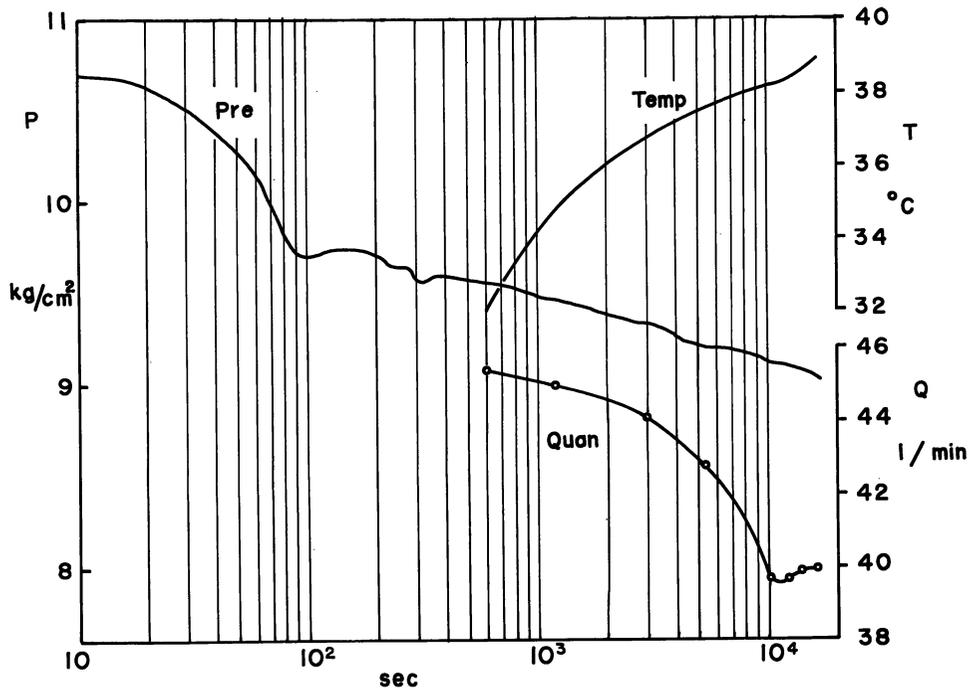


図3 No. 14の揚湯開始後の背圧・泉温・揚湯量変化

いる。常時揚湯している源泉井については所有者に調査目的の理解と協力を得て、約2時間（午前10—12時）揚湯を停止してから調査した。なお、揚湯停止前の背圧、泉温、揚湯量は表1に示した。

源泉井と揚湯試験時の状況について

図4は揚湯開始後のレシーバタンク内圧力と時間との関係、図5と6は揚湯量と泉温の変化を示している。図中の丸印は揚湯停止前の値である。

No. 14（田中喜一郎所有）

この孔井は須雲川と早川の合流点から約100m程下流の沿岸部に位置する。1929年（昭和4年）に掘さくされた当時、45°Cの温泉が揚湯（36 l/min）されている。その後、泉温は40°C前後に低下したため、普段は揚湯していない。

コンプレッサーの馬力が小さいため駆動開始後、レシーバタンクの背圧が最高圧（10.75 kg/cm²）に達するのに3分もかかった。出水は背圧が急激に低下する5秒前に始った。その時の背圧は10.70 kg/cm²で0.05 kg/cm²低下している。背圧は一旦9.70 kg/cm²まで落込んでから再び9.76 kg/cm²まで回復している。その後、変動を繰返しながら4.7時間後には9.03 kg/cm²まで低下した（図3）。

出水10分後の揚湯量は45.4 l/minであったが、時間の経過と共に低下し、2.8時間後には39.8 l/minとなった。泉温は逆に31°Cから徐々に上昇し、4.7時間後には38.9°Cまで達している。泉

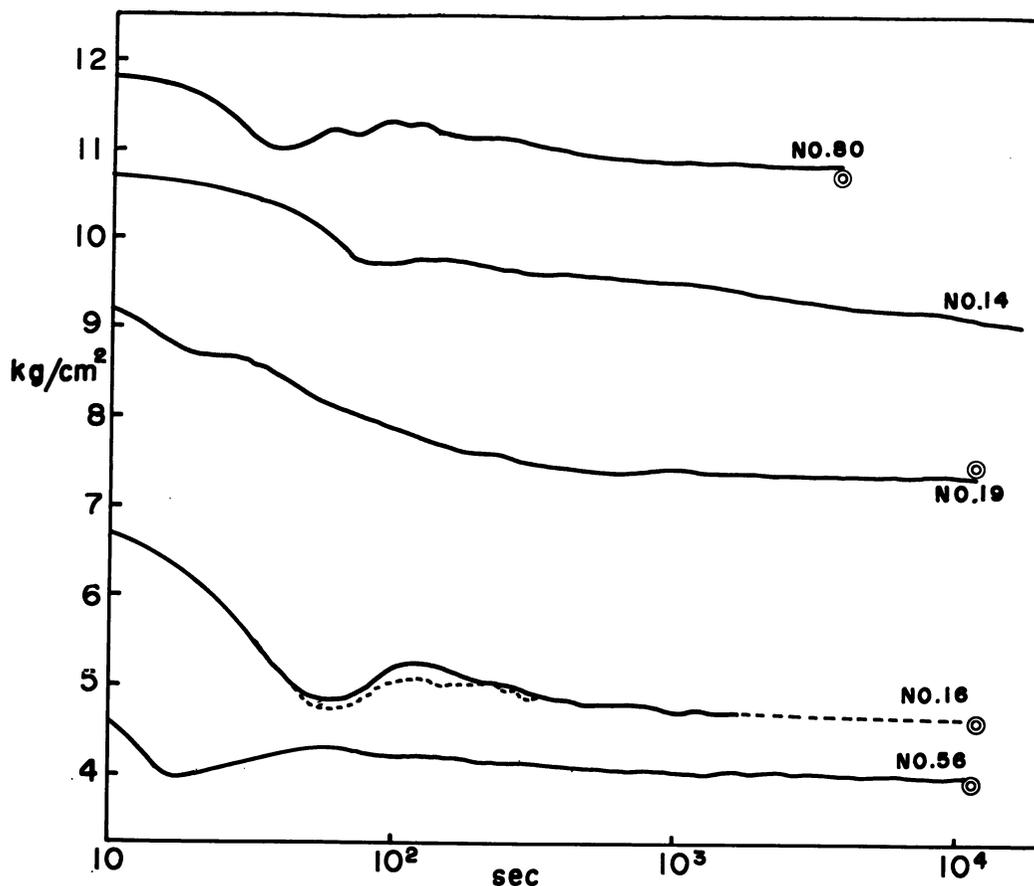


図4 背圧の時間的变化

温はなお上昇しているが、揚湯量は 40 l/min 前後で落ち着いている。

No. 16 (大蔵省所有)

この孔井が1928年に 242.8m の深度まで掘さくされた当時、 50°C の温泉が約 72 l/min 揚湯されていた。その後深度は1950年に 60.6m 、1954年に更に 107.4m 増掘され、現在 410.8m である。揚湯管（口径 50mm ）は外側に粘土が詰まらされており、水止めと保温の役目もはたしている。

揚湯量は1956年以降 $49\sim 44 \text{ l/min}$ と変化ないが、泉温は 49°C から 40°C と低下したので、その調査のため揚湯を停止した2日後の1973年11月29～30日に電気検層を行なった。検層中水を 13.5 l/min 連続注入し、2時間後に測定したところ水位は 18.15m から 15.01m と 3.14m 上昇していた。注水を停止すると、180秒後には元の水位に戻った。

第1回目の揚湯試験は検層後に（実線）、2回目は1974年2月13日に2時間揚湯を停止してから行なった（点線）。最高圧は2回とも 7.0kg/cm^2 、出水前に 6.95kg/cm^2 と変らなかったが、出水後の落込

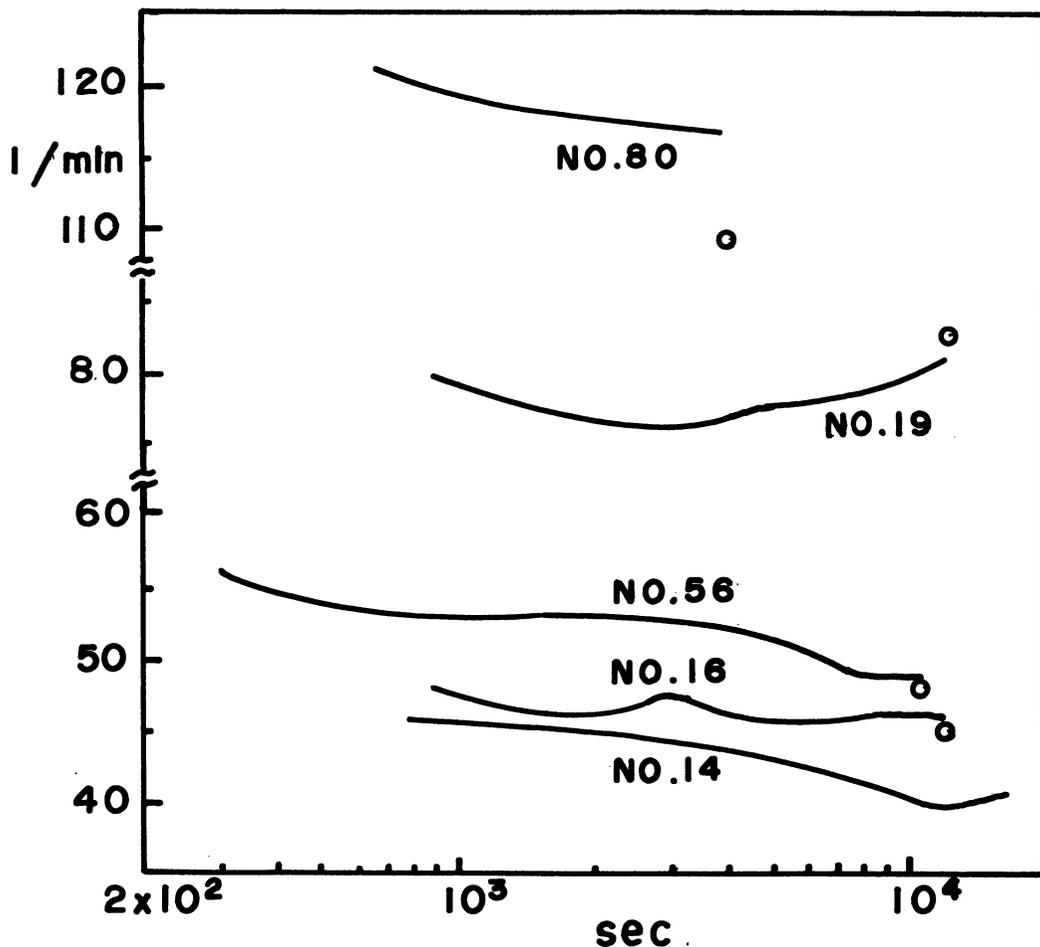


図5 揚湯量の時間的变化

みは1回目に比べ 0.1kg/cm^2 低く、再び上昇しても 0.2kg/cm^2 程差があった。しかし、背圧-時間曲線は全体として同じ動きをしている。背圧は3.5時間たっても 4.65kg/cm^2 と揚湯停止前の状態まで低下していない。図4と5の揚湯量と泉温は2回目のものである。出水9分後の揚湯量は 47.9 l/min であるが、18分後に揚湯停止前の量に戻っている。一方、泉温は3.3時間かかって 36°C から 39°C に戻った。

No. 19 (岡田利男所有)

この孔井は須雲川左岸の湯坂山の麓に掘さくされている。1959年(昭和34年)頃泉温は 69°C あったが、その後水止め管の破損により低下したため、1969年から4年がかりで水止め改修工事を行なった。その結果、泉温は現在湯本・塔ノ沢温泉で最高の 75.7°C まで回復した。また、揚湯量は 50.2 から 82.7 l/min と増加している。

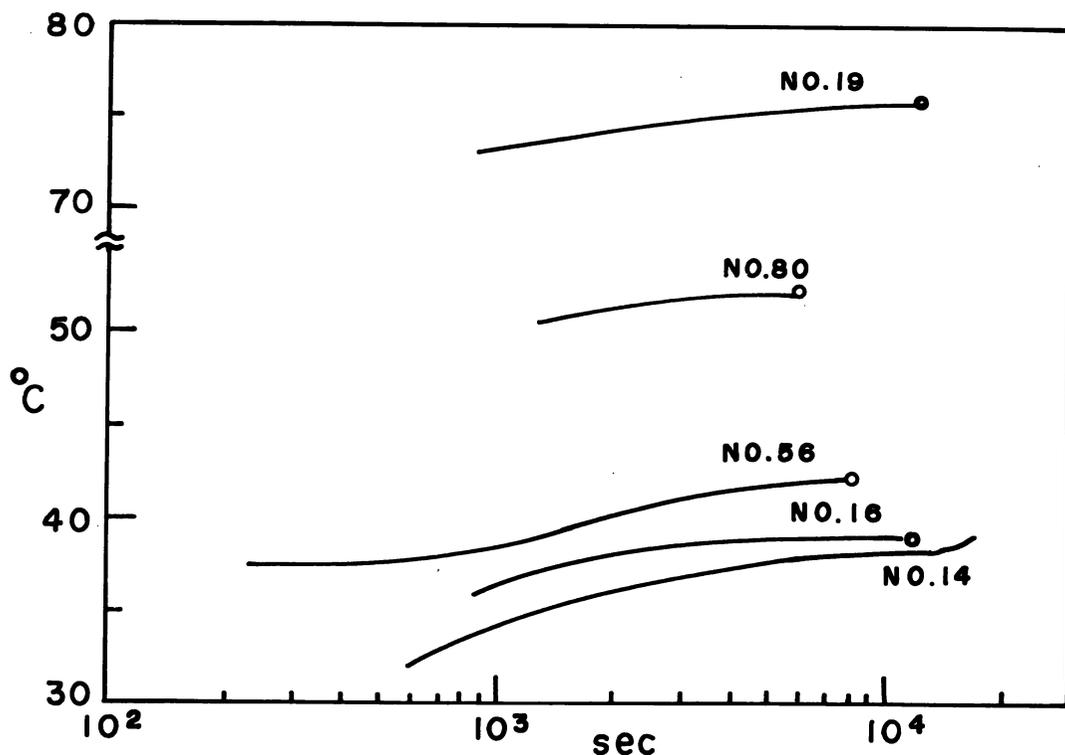


図6 泉温の時間的变化

試験時の最高圧は 9.15kg/cm^2 まで達したが、出水前にはそれより 0.03kg/cm^2 低下している。出湯後背圧は他の場合と異なり、再び上昇することなく時間の経過と共に低下し、7分後に揚湯停止前の背圧 7.45kg/cm^2 に、3.3時間後には更に 7.33kg/cm^2 まで低下した。このため、出水15分後の揚湯量は停止前より少なくなっている。

No. 56 (須雲川温泉土地KK所有)

この孔井が増掘された当時(1952年)の静水位は 2.1m 、1959年になると 12.0m と記録されている。試験時の最高圧はエア管長 71.5m に対し 4.58kg/cm^2 と比較的低く、水位の低下が想像される。背圧は最初の落込み (4.0kg/cm^2) から2度目の最高圧 4.3kg/cm^2 に達するのに約50秒かかっている。背圧が再び最初の落込みの値まで低下したのは3時間15分後である。なお、揚湯停止前の背圧は 3.93kg/cm^2 であった。水位の推定降下量は 7.5m と今回の試験で最も小さい。

揚湯量と泉温は出水後3時間たっても停止前の値まで戻っていない。

No. 80 (松本穀所有)

この孔井は掘さくされた当時(1959年)自噴していたが低温なので、高温泉を採取するため誘導管を 208m 程挿入し、タービンポンプを使用していた。1962年にエアリフトポンプに変更し、 55°C の

温泉を230 ℓ/min揚湯している。その後、揚湯量は年々減少し始めたので、エア－管長を55.0, 110.0, 137.5mと変更し回復を計ってきたが、現在110 ℓ/min 前後まで落ちている。

1965年頃から泉温が低下したため、1966年3月に電気検層を行なっている。それによると、この孔井の主要な温泉帯水層は396～425m付近にあり、孔底付近の温度は69.5℃である。

泉温低下は上部冷地下水の混入によるものである。このことから泉温は揚湯の途中で20℃近くも奪われているものと思われる。

揚湯試験時の背圧は出水後2回大きく変動してから、30分間を0.013kg/cm²/minで、それから40分間を0.001kg/cm²/minの割合で低下した。この間、揚湯量は121から117 ℓ/minに減少している。

背圧と水位との関係について

エア－リフトによる揚湯の場合、レシーバタンク内圧力から推定する水位変化は水中ポンプによる水位変化と幾分異なった動きをしている。以下、背圧と水位との関係について考察する。図7はコンプレッサーが駆動を開始した後のレシーバタンク内圧力の変化を図3から概略的に画いたものである。

I; コンプレッサーが駆動し、空気が圧縮され始めるとレシーバタンク内の圧力は上昇する。圧力が高くなるに従いコンプレッサーの単位圧力当りの仕事量が増えるので、圧力の上昇速度は減少する。エア－管内の水面は圧力上昇と共に管尻に向かって降下していく。最高圧を静水時のエア－管の浸水深さと考え、今回の調査においてこの降下速度は平均0.8～1.3m/secである。従って、エア－管(口径12.5mm)から押出される水量は6～10 ℓ/minとなる。これは井戸内への連続注入と同じ結果になるので、静水面を幾分上昇させると共に帯水層への流入を発生させる。

II; エア－管内の水が全部吐出され、圧縮空気が管尻から噴出すると圧力上昇は停る。噴出した空気はエア－管尻から上の揚湯管内の水と混合する。この混合物は空気量が増えるに従い比重が小さくなって体積が増加するので揚湯管内の水面が上昇しはじめる。

水面が管の上の出口に達し、揚湯が始まるまでエア－管尻から揚湯管外の静水面までの水圧と管内の水面までの圧力が釣合の状態になっているので、レシーバタンク内の圧力(背圧)は一定になっている。圧縮空気がエア－管内を完全に満し、しかも静止しているならばこの時の背圧がエア－管尻から静水面までの水圧に相当する。しかし、空気はコンプレッサーが駆動し始めた時点から圧縮されながらエア－管内を流動している。水位は流動による摩擦や形状抵抗および圧縮空気の比重の変化等を考慮に入れて推定しなければならない。

レシーバタンク断面積がエア－管に比べ十分大きい(約100倍以上)ので、空気がレシーバタンク内を流れる速度、即ち、近寄速度が無視出来るとするならば、上述の力の釣合は次式で示される。

$$P + r_a (H_1 + H_2) = r_w (H_1 + h) + \Delta P_1 + \Delta P_2$$

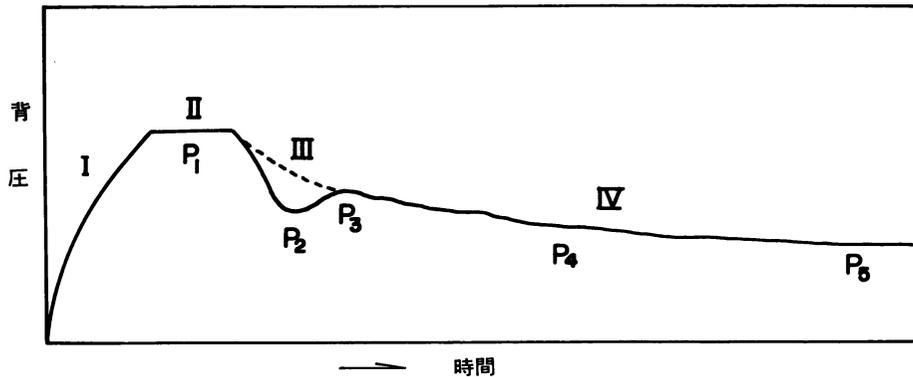


図7 背圧の時間的変化曲線の概略図

ここで、 P は背圧、 ΔP_1 はエアー管内を流れる空気の動圧、 ΔP_2 は圧力損失、 H_1 はエアー管の浸水深さ、 H_2 はレシーバタンクから水面までの垂直距離、 h はエアー管からの注水による水位上昇、 r_a は背圧 P の時の圧縮空気の比重量、 r_w は水の比重量である。

空気は圧縮されると比重が大きくなるので、空気の重さが無視出来なくなる。水と空気との比重量比が1気圧、 40°C で約1000:1.135であるから、10気圧に圧縮された高さ100mの空気柱の底の圧力は水深11.35mに相当する。空気の重さが空気流動圧力損失と動圧との和より大きければ、背圧 P は水圧 $r_w h_1$ よりも小さく表われる。今回の場合、エアー管内流速は1m前後なので動圧が0.006kgと小さく、また、水位上昇も無視出来るならば、

$$r_a (H_1 + H_2) < \Delta P_2 \quad \text{なら} \quad P > r_w H_1 \quad (1)$$

$$r_a (H_1 + H_2) > \Delta P_2 \quad \text{なら} \quad P < r_w H_1 \quad (2)$$

となる。一般には損失圧力が大きく働くので(1)式の場合が多い。式(2)に近い例はNo. 16でみられる。No.16のコンプレッサー駆動前のエアー管中の水量は8.6ℓであるから駆動後平均0.123ℓ/secの割合で吐出していることになる。帯水層への流入がなければ、圧縮空気がエアー管尻から噴出時の水位上昇は4.9mになる。背圧は7.0kg/cm²に達した後、25秒かかって6.95kg/cm²に落ち、そのまま暫く安定している。この差0.05kg/cm²はエアー管内の水が全部空気に置換った時の水位上昇(水柱0.5m)と考えてよいだろう。出水前の背圧6.95kg/cm²が静水位に戻った時のそれに相当するならば、エアー管の浸水深さは69.85mであるから、水の比重を、 35°C で換算すると69.45mに相当する水頭である。即ち、背圧との差が殆んどないことから空気の重さ0.69kg/cm²が全て損失圧力として賄われている。

III; 出水が始まると揚湯管内は減圧状態になるので背圧は急激に下降する。実際には計器に現われる圧力変化の数秒前から出水が始まっている。これは揚湯管内の圧力変化が直ちに計器に伴わない時

間的遅れの現象である。

揚湯管内の圧力変動はまず①狭い入口のエア管の圧縮空気に伝わり、②エア管中を圧力波がレシーバタンクまで伝播し、③容量の大きいレシーバタンク内圧力を急変させてから、④計器に反応させる。圧力は伝達過程の状態変化毎に遅れをもって伝わる。例えば、図8において、揚湯管内の水位が急に同図(a)の矢印の様に下降したとする。そこで圧力計が同(b)図の1の様に応答すればよいが、一般には2、3、4の何れかのように定常状態になる迄にある時間を要するものである。また、②ではむだ時間が費やされる。

背圧は一旦 P_2 まで下降してから再び上昇する。この現象は揚湯管内の実際の水頭状態を表わしているのか、図8(b)の2のように計器の挙動を示しているのか、水位が直接測定出来ない現在、判断し兼ねる。しかし、背圧 P_2 までが約20~100秒、再び上昇始めるのに約7秒、 P_2 — P_3 間が約50秒かかっていることから、実際の揚湯管内の状態を反映しているものと思われる。即ち、出水を開始するまで揚湯管内並びに、回りの水は静止状態にあるので背圧が一旦 P_2 まで落ち込む。管内水圧の低下によって管周囲の水位の高い水や帯水層の水が流動し始め、揚湯管内への流入が加速されると、水圧（背圧）は再び緩やかに上昇し、 P_3 まで回復するものと思われる。

IV; その後、背圧は波打現象を示しているが、それも次第に減衰して消えていく。帯水層の水位低下が井戸から周辺に広がっていくため、背圧も時間の経過に伴なって低下していく。単位時間の背圧の変化量は小さくなっており、ある一定時間経過すると安定する。出水開始から安定するまでは井戸内水位が時間的に変化しつつある非定常状態にあたる。

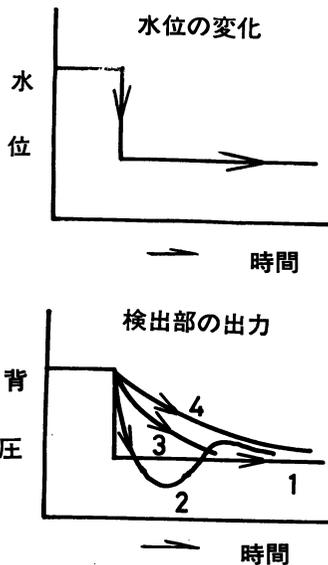


図8

安定背圧は揚湯停止前の背圧に相当すると考えてよい。この時の背圧は一般に動水圧とよんでおり、 P_2 よりも低い状態まで落ち込んでいる。なお、揚湯停止から開始までの時間は約2時間であったが、背圧は出水後その2倍以上の時間を経過しても安定せず低下し続けている。

揚湯管内の流動状況と揚湯量変化

エアリフト式揚湯の場合、水は一般に揚湯管から断続的に噴出する。このため、揚湯管はたえず振動している。空気がコンプレッサーによって送られていることにもよるが、これはむしろ揚湯管内を水と空気との混合物が上昇する際の流動機構によるものと思われる。

気水混合物の流動状況は一般的に次のようである(図9)。

エア管尻から噴出した空気は多数の泡となって揚湯管内を水と共に上昇しながら、気泡どうしが合体し、大きな気泡とな

り、ついに管の断面をふさぎ、更に上下方向へと伸びていく。こうした流動状況は単管内でも二重管でも全く同じである。

単管内での気泡は頭部が円形の、下部が平らな砲弾状となるが、二重管内の場合、中心のエアークの所で頭部が凹んだ円錐状となり、エアークを包む様にして上昇する。この様に気泡と水とが上下に分離している流れをピストン流という。この場合、水は気泡の砲弾の浮力によって押し上げられている様な状況を呈している。上下の気泡の間に挟まっている水は上昇しながら絶えず管壁と気泡との間を薄い幕状となって流下し、その量を減少させている。このため、揚程距離が長い程流下量が多くなり、揚湯量が減少する。

揚湯管出口での水の断続的噴出は気泡が水中に分布している混合流から上下に分離した状態に移行後に発生する。揚程距離が短い場合、ピストン流は起りにくくなるので、水はほぼ一様に流出する。

揚湯量は背圧の低下、即ち、水頭の低下に伴って減少していることが図3と5で示されている。水頭の低下はそれだけ揚程距離の増大ともなる。今回の場合、背圧約 0.1 kg/cm^2 差によって、揚湯量は $2 \sim 5 \text{ l/min}$ 減少している。

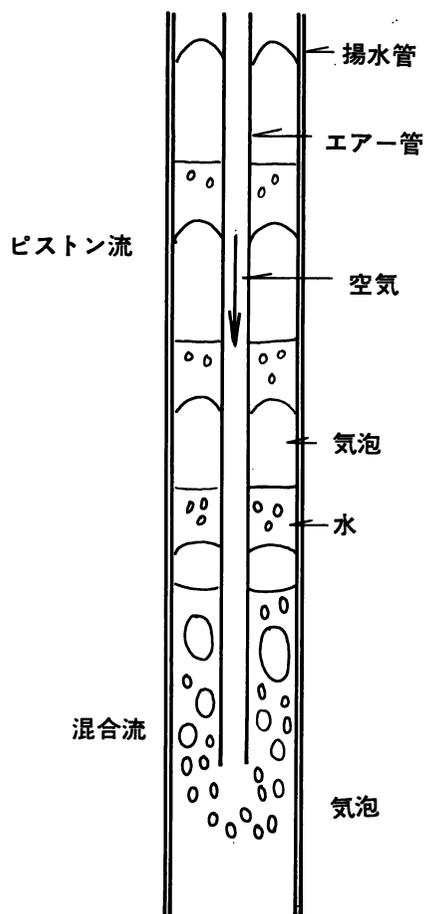


図9 揚湯管内の流動状況

揚湯時の泉温変化

揚湯を開始して10分以上たっても泉温は揚湯停止前に比べ $2 \sim 5 \text{ }^\circ\text{C}$ 程低下している。しかし、揚湯量が安定しても泉温が停止前の状態に戻るには少なくとも、 $3 \sim 4$ 時間必要であった。揚湯管は一般に図2に示されているように、孔壁の崩壊や上部の冷地下水の流入を防ぐため下端に水止をした外管で保護されている。外管は保温の役目もはたしているが、揚湯を停止している間に冷やされてしまう。このため、揚湯を開始した時は途中で奪われる熱量も大きい。しかし、次第に周囲が暖めてくるので泉温も上昇する。揚湯停止前の揚湯管の周囲は恒温状態になっていたと考えてよいから、泉温が回復するに要する時間は揚湯を停止している間に冷やされた外管や地層ならび周辺の水を再び暖めるのに必要とする時間に相当する。従って、外管の周りが比較的早く冷えたり、No. 14のように長時間揚湯していない源泉井の場合泉温はなかなか安定しない。

揚湯試験結果

背圧からの動水位変化の推定は損失圧力を一定として、最高圧力との差から求めた。なお、水頭ならびに圧力補正は泉温を基準とした。動水位の時間的降下曲線は揚湯開始直後暫くの間大きく変動するので、図7の破線のような仮想曲線を求め、タイスの非平衡式から透水量係数を算出した。揚湯量は時間的に変化しているため測定開始から終了3時間 ($t=0 \sim t$) までの平均揚湯量 \bar{Q} として求めた。

$$\bar{Q} = \frac{1}{t} \int_0^t Q dt$$

揚湯試験の結果は表1に示した。水位降下は揚湯開始直後の最高圧と終了時の差とした。

透水量係数は $1.51 \times 10^{-4} \sim 2.3 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sec}$ と孔井によってかなり幅がある。 $10^{-4} \text{ m}^2/\text{sec}$ オーダーの No. 56 と 80 は小鷹ら (1972) がこの地域での温泉・地下水の移動を左右する主要な割れ目系の一つとして推定した西北西—東南東方向の断層の付近に位置している。

温泉帯水層の透水量係数は一般に小さいので、揚湯による水位降下は大きい。No. 16 の場合、45.5 ℓ/min の量を揚湯するだけで水位は25mも下がってしまう。

ま と め

湯本・塔ノ沢地域の温泉帯水盆の水文調査の一つとして揚湯試験を行なった。今回は須雲川沿いの1日中揚湯している4源泉井と普段利用していない1源泉を対象としている。

エアリフトポンプによる揚湯時の水位変化は水中ポンプ等による場合と幾分異なった動きをしているので、その解析を行なった。

揚湯試験の結果、温泉帯水層の透水量係数は一般に小さい ($10^{-4} \sim 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sec}$) ので十数米から数十米も水面を下げて水頭差をつけなければ、毎分50~60 ℓ の温泉を揚湯することが出来ない。

減少した揚湯量の回復をはかるためのエア管の伸長や、より馬力のあるコンプレッサーへの変更

表1 揚湯試験結果

No.	深 度 m	エアー 管 長 m	揚 水 停 止 前			停 止 時 間 hour	初 期 最 高 圧 kg/cm ²	水 位 降 下 m	平 均 揚 水 量 ℓ/min	透 水 量 係 数 m^2/sec
			背 圧 kg/cm ²	泉 温 °C	量 ℓ/min					
14	182.0	77.0	—	—	—	長時間	10.70	18.3	41.4	3.7×10^{-5}
16	410.8	88.4	4.60	39.0	45.5	約2.0	6.96	25.3	34.8	2.3×10^{-5}
19	242.0	112.8	7.45	75.7	82.7	2.0	9.15	20.1	78.6	6.4×10^{-5}
56	261.0	71.5	3.95	42.1	48.7	2.0	4.58	6.2	51.0	13.6×10^{-5}
80	436.0	137.5	10.72	52.3	109.4	2.0	12.00	12.8	117.6	15.1×10^{-5}

は更に大きな水頭差をつくり出すことであるから、井戸内の水面を一層下げる。こうしたことが作用して周辺の水面を益々下げることになる。周囲の源泉の水位低下の割合は距離と共に指数関数的に小さくなるので、10日間位の短時間では他の源泉の揚湯量に変化を与えない場合が多い。しかし、1年以上の長い月日をとれば、水位の微小低下も次第に累積し、ついに付近源泉の揚湯量に影響を与えるようになる。この繰返しが広域の水面低下となり、平均揚湯量の減少となって表われる。その最も著しい例が湯河原で示されている（大木・岩田，1971）。そこではかつて自噴していた井戸が今日では地表から80m以上も水位が低下し、しかも、年2～3mの速度で水位低下が進行している。

温泉水位の低下は揚湯量の減少ばかりでなく、下部が減圧の状態になるので上部の冷地下水や河川水が温泉帯水層へ容易に流入し、泉温を下げたり、今まで温泉帯水層であったところが冷地下水層に転化したりする。また、平野ら（1972）の調査によって、湯本・塔ノ沢では温泉の溶存物質が著しく減少し、上部冷地下水や河川水のそれに近づいていることが明らかになっている。

温泉の涸渇の問題は水位低下によって引きされるといっても過言でない（大木・岩田，1971）。従って、水位の状態を絶えず観測し、水位を基準とした温泉行政が行なわれることが必要であり、行政と研究機関との一致した努力が求められる。

そのためにはまず、1)揚湯量の回復の申請の時でも必ずその源泉の静水位を測定し、揚湯量との関係を調査する。2)同時に、電気検層や揚湯試験を行なって泉脈の位置とその温度、ならびに水理状態等を調べる。3)回復揚湯量は帯水盆の水収支から判断する。4)既存源泉の水位を定期的に観測する体制を備える。5)湯本・塔ノ沢地域は全体としてすでに過剰揚湯となっているから、より広域に新規源泉の掘さくを認めない方針を取ることが必要であろう。

謝 辞

揚湯試験に際し、翠山荘、青風荘、岡田旅館、天成園、南風荘の各源泉所有者には数時間の揚湯停止および調査の便宜をはかっていただいた。小田原保健所浜野功係長には有益な助言をいただいた。神奈川県温泉研究所大木靖衛所長からはしばしば重要な指示をいただいた。小鷹滋郎氏、広田茂氏には調査に協力していただいた。上記の方々に厚く御礼申し上げる。なお、この調査は神奈川県衛生部温泉調査研究費によった。

参考文献

- 赤川浩爾，浜口八朗，坂口忠司，碓哲二（1970），気液スラグ流の差圧脈動に関する研究（第1報，差圧脈動の実験結果），（第2報，差圧脈動の理論解析），日本機械学会論文集，Vol. 36，No. 289，1520—1534。
- 石谷清幹，赤川浩爾，武田克己，永田和彦（1952），気液混合物の流動（第1報，流動の様式と相対速度），日本機械学会論文集，Vol. 18，No. 72，31—37。
- 伊藤茂（1956），気ほうを含んだ液体の管内流動について（第1報），（第2報），（第3報），日本機械学会論文

- 集, Vol. 22, No. 121, 648—662.
- 小鷹滋郎, 大木靖衛, 広田茂 (1972), 箱根湯本・塔ノ沢温泉の湧出機構, 神奈川温研報告, Vol. 3, No. 3, 95—108.
- 大木靖衛, 平野富雄, 田嶋綾子 (1968), 箱根温泉の成因, 神奈川温研報告, Vol. 1, No. 6, 35—40.
- 大木靖衛 (1971), 箱根火山の温泉, 箱根火山, 日本火山学会編, 139—176.
- 大木靖衛, 岩田義徳 (1971), 温泉の保護と適正利用, 観光, No. 39, 50—56.
- 大山正雄, 大木靖衛 (1973), 湯本・塔ノ沢温泉の最近の動向について, 神奈川温研報告, Vol. 4, No. 2, 91—98.
- 神奈川県衛生部 (1972), 昭和46年温泉実態調査報告書.
- 空気機械工学便覧編集委員会 (1930), 空気機械工学便覧.
- 小鯛桂一 (1965), エアーリフトの揚湯を主体とした熱海・伊豆山温泉の調査報告, 地質調査所月報, Vol. 16, No. 11, 39—48.
- 柴崎達雄 (1973), 地下水資源学, 水収支研究グループ編.
- 水力機械工学, 便覧編集委員会 (1968), 水力機械工学便覧.
- 平野富雄, 大木靖衛, 粟屋徹 (1972), 箱根湯本・塔ノ沢温泉の泉質, 神奈川温研報告, Vol. 3, No. 3, 109—130.
- 日本機械学会 (1970), 機械工学便覧.
- 矢木栄, 白井隆, 佐々木貞治 (1951), 壺型管式反応装置の研究 (第1報), 垂直管内における気液混相流の流動状態の観察および Hold up について, 化学機械, Vol. 15, No. 7, 317—322.
- 山内邦比古 (1960), 空気揚水ポンプに関する研究, 工学院大学研究報告, No. 8, 67—75.
- WALTON, W.C. (1970), Groundwater Resource Evaluation, McGraw Hill.