

エアーリフト・ポンプによる揚水試験について

大 山 正 雄

Sur les essais de pompage par la pompe à air

par

Masao OYAMA

Institut de la Source Thermale de Département de Kanagawa

Établissement Départemental

Hakone, Kanagawa

(Résumé)

On utilise en general en pompage les pompes à air comprimé pour l'évacuation des eaux dans les puits profonds des eaux thermales. Nous pouvons changer la quantité d'eau selon la longueur du tuyau d'air comprimé. Il est donc très important de savoir la relation entre la quantité et la longueur du tuyau pour le contrôle du puits.

En supposant que le fluide dans une conduite de décharge soit l'air liquide homogène dont l'écoulement est permanent, la quantité (Q) dépend de la longueur du tuyau (H) et de la hauteur d'élévation (H ℓ). Tout ceci peut écrire d'une façon suivante :

$$Q = E \sqrt{F - \frac{H \ell}{H}}$$

E et F sont ici constants.

Nous avons effectué les essais de pompage à Hakone et à Yugawara en changeant la longueur du tuyau. Nous avons obtenu le même résultat que par le calcul.

1. はじめに

箱根、湯河原の源泉井の揚水装置は殆んどがエアリフト・ポンプである。エアリフトは効率は悪いが、水面が低く、井戸口径が小さく ($D=75\sim150\text{mm}$) とよくまた、動力装置が地上に設置されているので故障が少ないという利点を持っている。

エアリフトでの揚水量は水位、帯水層の透水性、空気量、エア管の長さ等で決まる。水理状態や動力装置が同一なら揚水量はある範囲までエア管の長さで操作できる。従って、単に水面が低下して、揚水量が減少した分の回復や量の増減をはかる場合、エア管の長さをどの程度にしたらいのかということは井戸管理の上で大きな関心となっている。

本報告において、エアリフトの揚水特性を考慮した計算結果とエア管の長さを変えた段階揚水試験結果との比較を行なった。

2. エアリフト・ポンプの揚水特性について

揚水を開始すると井戸内の水面は時間の経過とともに低下し、一定時間後にある状態で維持される。この状態の水面を静水面に対し、動水面と称する。ある揚水量に対する水面降下距離、即ち、静水面と動水面との差は各井戸の滞水層の透水性および同一の井戸に於ても揚水量の大小によって決まる。

第1図はエアリフト・ポンプ利用源泉井の概略図である。

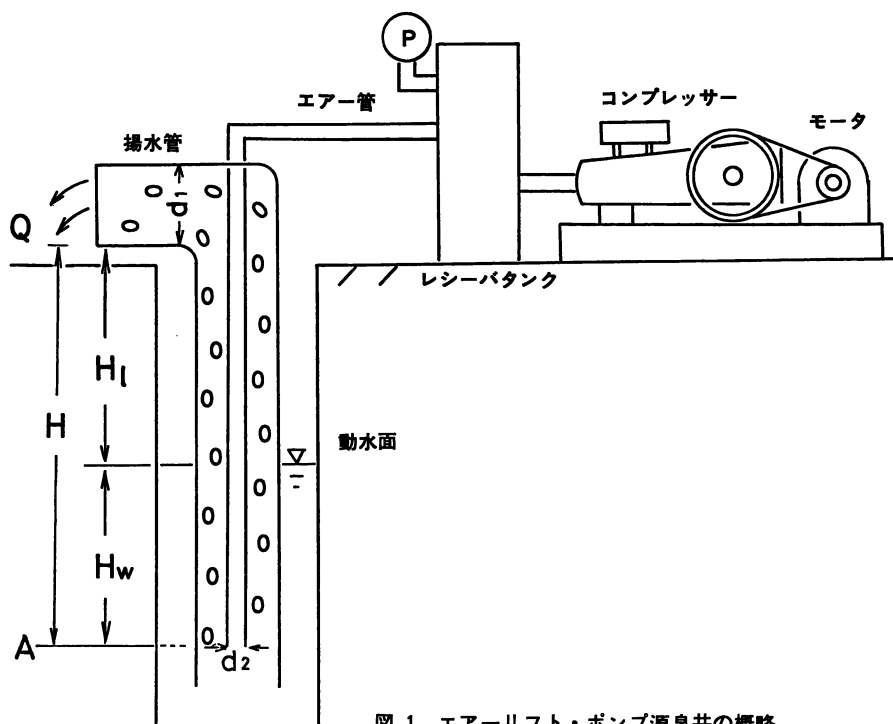


図 1 エアリフト・ポンプ源泉井の概略

地表に空気圧縮機があり、圧縮された空気は揚水管に挿入されたエアースペースで送り込まれる。従って、温泉と空気の混合流体は揚水管とエアースペースの間を上昇する。

2-1 基礎式

気水混合の流れについて行なわれた山内の手法に基づき、揚水量、エアースペース長と水面との関係を次の仮定の下で考える。

1. 流れは気ほう流で、垂直方向である。
2. 揚水管内を上昇する気ほうの体積は一定である。
3. 気ほうは一様に分布し、均質である。
4. 水の上昇速度 U は一定である。
5. 気ほうの重さは無視する。

第1図のように動水面より下のエアースペース長を H_w 、揚程を H 、エアースペース長を H 、揚水管の内径を d_1 、エアースペースの外径を d_2 とすると、揚水管の断面積 D_1 および水力半径 D_2 は

$$D_1 = \frac{\pi}{4} (d_1^2 - d_2^2), \quad D_2 = \frac{\frac{\pi}{4} (d_1^2 - d_2^2)}{\pi (d_1 + d_2)} = \frac{1}{4} (d_1 - d_2)$$

である。

揚水管内面の摩擦係数を f 、水の比重量を r とすると管の A B 間の圧力降下 P は

$$P = fr \frac{U^2}{2g} \pi (d_1 + d_2) H$$

管断面における気体の割合を fg 、水の割合を $(1 - fg)$ とすると揚水管内の水の重さ F は

$$F = D_1 r (1 - fg) H$$

エアースペース先端部の損失係数を k とすると A 点における上向きの力は

$$D_1 r \left[H_w - (1 + k) \frac{U^2}{2g} \right]$$

である、従って、揚水管内の A 点における力のつり合いは

$$D_1 r \left[H_w - (1 + k) \frac{U^2}{2g} \right] = D_1 r (1 - fg) H + fr \frac{U^2}{2g} \pi (d_1 + d_2) H$$

となる。管断面の水の占める面積比は上式から

$$(1 - fg) = \frac{H_w}{H} - \left(\frac{1 + k}{H} + \frac{f}{D_2} \right) \frac{U^2}{2g}$$

従って、揚水量 Q は

$$\begin{aligned} Q &= D_1 (1 - fg) U \\ &= D_1 \left[\frac{H_w}{H} - \left(\frac{1 + k}{H} + \frac{f}{D_2} \right) \frac{U^2}{2g} \right] U \quad \dots\dots\dots(1) \end{aligned}$$

揚水量が Q_0 および Q_1 のときのエアースペース長とエアースペースの浸水深さをそれぞれ、 H_0 、 H_1 、 H_{w0} 、 H_{w1} とすると (1) 式より

$$Q_0 = D_1 \left[\frac{Hw_0}{H_0} - \left(\frac{1+k}{H_0} + \frac{f}{D_2} \right) \frac{U_0^2}{2g} \right] U_0 \dots\dots\dots(2)$$

$$Q_1 = D_1 \left[\frac{Hw_1}{H_1} - \left(\frac{1+k}{H_1} + \frac{f}{D_2} \right) \frac{U_1^2}{2g} \right] U_1 \dots\dots\dots(3)$$

となる。また $\frac{Q_0}{Q_1} = \frac{U_0}{U_1}$ とすると (2) と (3) 式より

$$\frac{Hw_0}{H_0} - \frac{Hw_1}{H_1} = \frac{f}{2gD_2} (U_0^2 - U_1^2) + \frac{1+k}{2g} \left(\frac{U_0^2}{H_0} - \frac{U_1^2}{H_1} \right) \dots\dots\dots(4)$$

水の上昇速度は

$$U = \sqrt{a} \quad Q$$

とすると、(4) 式は

$$\frac{Hw_0}{H_0} - \frac{Hw_1}{H_1} = \frac{fa}{2gD_2} Q_0^2 \left(\frac{Q_1^2}{Q_0^2} - 1 \right) + \frac{1+k}{2g} \left(\frac{U_0^2}{H_0} - \frac{U_1^2}{H_1} \right)$$

となる。従って、揚水量 Q_1 は

$$Q_1 = Q_0 \sqrt{1 + AB - AC} \dots\dots\dots(5)$$

$$A = \frac{2gD_2}{faQ_0^2}$$

$$B = \frac{H\ell_0}{H_0} - \frac{H\ell_0}{H_1}$$

$$C = \frac{1+k}{2g} \left(\frac{U_{02}}{H_0} - \frac{U_1^2}{H_1} \right)$$

となる。

3. 試験井と附近の状況

段階揚水試験は箱根と湯河原の現在使用している源泉井で行なった。

3・1 箱根： 本孔井は神山の西斜面に掘さくされた温泉井である（図2）。

久野(1972)によると、附近の地質は神山の噴出物の上に、3100年前（大木他, 1976）の神山の蒸気爆発で生じた山崩れ堆積物が薄く被っている。姥子温泉はこの山崩れ堆積物中の浅層帯水層中を神山方面から流下して湧出しているものである。湧出量は附近の降水量と密接な関係を持ち、冬期には枯渇し、雨期には1000ℓ/min以上にも達する（広田, 1976）。ボーリングによる温泉採取が始まったのは1965年以降と比較的最近のことである。ボーリング深度は100m以内と400m以深とのものに分かれる（図3）。浅井戸は山崩堆積物中の、深井戸は標高400～500mの神山熔岩中の帯水層から、各々エアリフト・ポンプでくみ上げている。この二つの主要帯水層の間に、二三の宙水的な帯水層が認められるが、それらは局所的で大きな広がりをもたない。深層帯水層の静水面は場所により地表から100～250mとかなり深い、それらは芦の湖面の標高723.5mにほぼ一致している。

本孔井の掘さく竣工時の孔内状況は台帳より表1に示す。泉温と揚水量の経年的な変化（表2）は

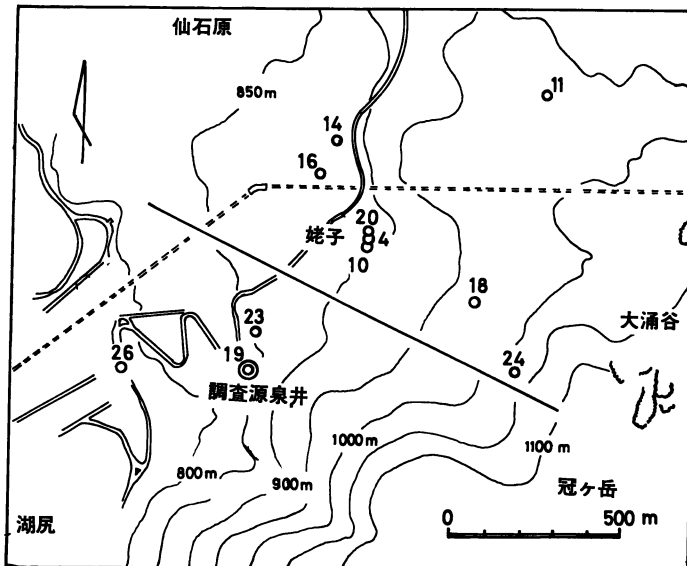


図 2 箱根・湖尻第19号井の位置と源泉井分布

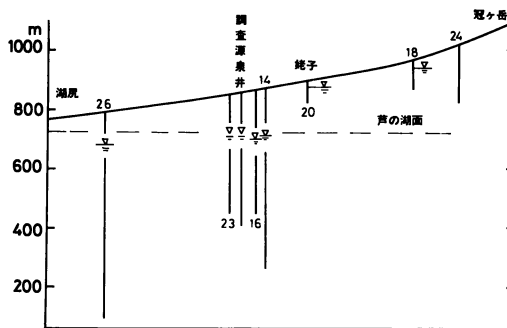


図 3 源泉井の深度分布

温泉は地下深所から湯河原火山の火道に沿う亀裂を上昇し（久野1972, 大木他, 1963）, 末広橋を中心とした地域で湧き出ている。温泉は藤木川沿いの大きな亀裂帯を通り, 地形に沿って流下している。揚水試験の結果, 不動滝から藤木橋にかけての藤木川沿いが最も透水性がよく, 透水量係数は $10^{-4} \text{m}^2/\text{sec}$ の程度である。川から離れるに従い係数値は小さくなっている（大山1976）。

湯河原温泉は1950年頃からの乱開発で著しく水位が低下し（過去20年間に平均50m）, 動力装置の増強と増掘が繰り返され, 逐次上部から帯水層が枯渇している。1958年時の既存源泉一本あたりのエア管延長は年平均5.6mである。

試験井は藤木川の右岸に位置し, 400mまで掘さくしてある（図4）。掘さく竣工時の孔内状況は台帳より表3に, 揚水量等の経年変化を表4に示す。

孔井は竣工以来, 井戸掃除も浚いも行なわれていなかったが, 1976年7月5日に揚水を停止し, エ

認められない。

孔井内の現在の状況は1975年12日と13日の温泉研究所による電気検層で次のことが得られた。

1. 静水位は112.6mである。これは芦の湖の水面とほぼ一致する。
2. 深度は425mであり, 孔底温度は63.5℃である。
3. 主要な泉脈は380~410m間にあり, その温度は60~62℃である。

揚水試験は1976年7月13~16日にエア管を5段階に分けて行なった。揚水動力装置は電動機11kW, 平山式横型3段7×6空気圧縮機, 回転数222r.p.mである。

3・2 湯河原： 湯河原温泉の孔井は湯河原カルデラ内を貫流する藤木川沿いに集中しており, 湯ヶ島層群中から揚水している。

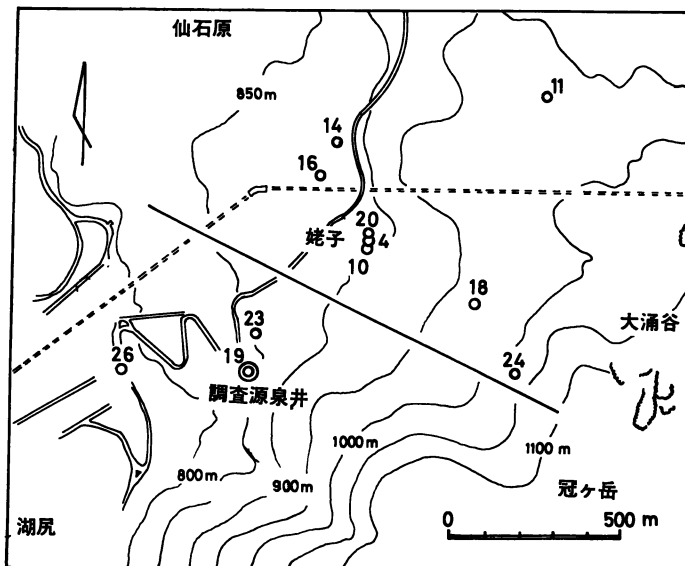


図 2 箱根・湖尻第19号井の位置と源泉井分布

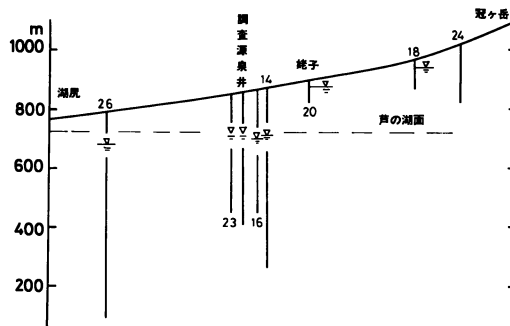


図 3 源泉井の深度分布

温泉は地下深所から湯河原火山の火道に沿う亀裂を上昇し（久野1972, 大木他, 1963）, 末広橋を中心とした地域で湧き出ている。温泉は藤木川沿いの大きな亀裂帯を通り, 地形に沿って流下している。揚水試験の結果, 不動滝から藤木橋にかけての藤木川沿いが最も透水性がよく, 透水量係数は $10^{-4} \text{m}^2/\text{sec}$ の程度である。川から離れるに従い係数値は小さくなっている（大山1976）。

湯河原温泉は1950年頃からの乱開発で著しく水位が低下し（過去20年間に平均50m）, 動力装置の増強と増掘が繰り返され, 逐次上部から帯水層が枯渇している。1958年時の既存源泉一本あたりのエア管延長は年平均5.6mである。

試験井は藤木川の右岸に位置し, 400mまで掘さくしてある（図4）。掘さく竣工時の孔内状況は台帳より表3に, 揚水量等の経年変化を表4に示す。

孔井は竣工以来, 井戸掃除も浚いも行なわれていなかったが, 1976年7月5日に揚水を停止し, エ

認められない。

孔井内の現在の状況は1975年12日と13日の温泉研究所による電気検層で次のことが得られた。

1. 静水位は112.6mである。これは芦の湖の水面とほぼ一致する。
2. 深度は425mであり, 孔底温度は63.5℃である。
3. 主要な泉脈は380~410m間にあり, その温度は60~62℃である。

揚水試験は1976年7月13~16日にエア管を5段階に分けて行なった。揚水動力装置は電動機11kW, 平山式横型3段7×6空気圧縮機, 回転数222r.p.mである。

3・2 湯河原： 湯河原温泉の孔井は湯河原カルデラ内を貫流する藤木川沿いに集中しており, 湯ヶ島層群中から揚水している。

表 1 箱根湖尻19号井の孔内状況 (台帳記載)

源泉番号	箱根 (元々箱根村) 19号		
形態	源泉井		
標高	837m		
掘削許可	1965年10月22日		
着工	1966年3月22日		
竣工	11月15日		
竣工届	15月24日		
許可深度	800m		
掘削深度	525m		
掘削口径	15.0cm		
仕上口径	10cm		
静水位	120m (地表面下)		
孤底温度	60℃		
挿入鉄管	口径 15.0cm	長さ	11m
	12.5cm	長さ	225m
	10.0cm	長さ	230.5m
揚水管	口径 5.0cm	長さ	418m
エアー管	口径 1.25cm	長さ	406m
揚水量	74 ℓ/min		
水温	53.3℃		

(小田原保健所)

表 2 箱根湖尻19号井の泉温と揚水量

測定日	温 泉	揚 水 量
年 月 日	℃	ℓ/min
1969	56.8	86
1972. 12. 11	55.7	69
1973. 11. 2	48.0	41
1974. 11. 26	57.0	68
1975. 11. 17	55.8	66
1976. 7. 3	56.5	67
1976. 7. 16	56.7	67

表 3 湯河原117号井の孔内状況 (台帳記載)

源泉番号	湯河原117号井		
所在地	湯河原町宮上565の1		
標高	98m		
竣工	1954年12月8日		
深度	400m		
掘削口径	6 inch		
仕上口径	4 inch		
静水位	15m		
土止管	口径 6 inch	長さ	74m
水止管	口径 4 inch	長さ	136m
揚気管	口径 2.5 inch	長さ	180m
エアー管	口径 1/2 inch	長さ	140m
1968年3月31日付			
揚水管	口径 2.5 inch	長さ	180m
エアー管	口径 1/2 inch	長さ	173m

表 4 湯河原117号井の泉温と揚水量

測定日 年月日	泉 温 (℃)	揚水量 (ℓ/min)	そ の 他
1955. 12. 12	55.0	95.0	エアー管 140m
1958.	54.2	94.5	
1961.	54.0	85.7	
1963. 2. 6	52.2	78.0	動圧 8.6kg/cm ²
1964.	51.8	65.4	
1967.	51.8	65.0	
1968. 3. 31			エアー管 173m
4. 10	54.0	76.0	動圧 11.1kg/cm ²
1970. 8. 7	52.2	86	10.35
1971. 4. 26	50.8	70	9.85
1972. 5. 16	51.8	73	9.7
1973. 5. 16	50.5	77	9.87
1974. 2. 23	50.0	76	9.72
1975. 4. 11	50.5	75	9.92
1976. 5. 24	49.3	73	9.82

アーク管、揚水管および水止め管を抜いて浚いを行ない、ついで温泉研究所によって電気検層が7月26日と27日に行なわれている。その結果、

1. 静水位は47.2mである。
2. 孔底は387.2mで13m埋まっている。孔底温度は64.4℃である。
3. 泉脈は60~80mに25℃, 98~125mに31℃, 351~375mに60℃のものがあるが、上部二層は水止め管で止め、利用していない。水止め管を抜いている時は上部の帯水層の水が下部の帯水層に流下している。

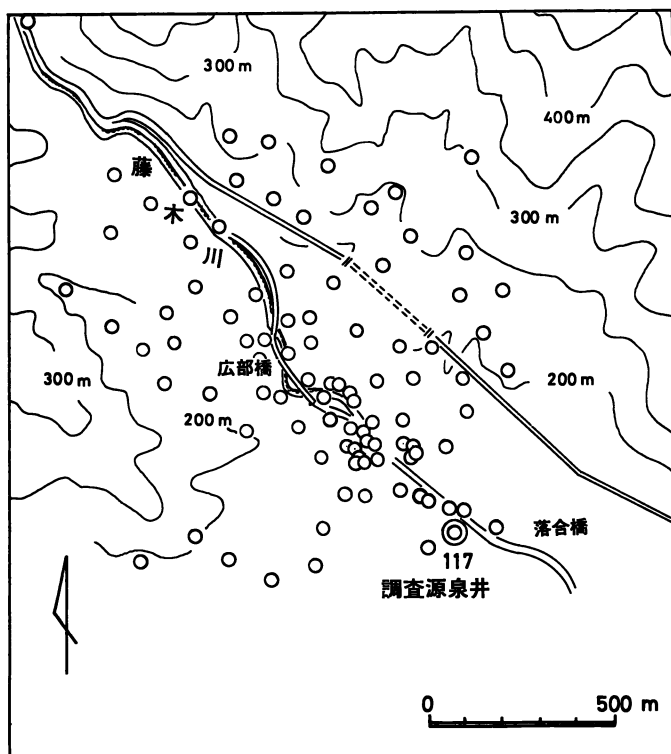


図 4 湯河原第117号井の位置と源泉井分布

揚水動力装置は電動機 5.6kW, 平山式横型 2 段 6×6 空気圧縮機である。

揚水試験は 8 月 26 日から 9 月 16 日かけ, エアー管の長さを 8 段階に分けて行なった。

空気圧縮機の空気量は井戸元でフロート式流量計を用い, 出口を大気中に開放した測定によると $0.78 \text{ m}^3/\text{min}$ である。ピストン変位量 (192r.p.m) から求めた空気量は $1.01 \text{ m}^3/\text{min}$ なので, 空気圧縮機の効率は約 77% である。

なお, 水止め管を設置した時の静水位は 60m である。

4. 調査結果と考察

段階揚水試験の結果は表 5 と 6 に示す。

4・1 圧 力： 揚水が始まる直前のエアー管先端 (A) にかかる圧力は管の水面下の垂直距離に比例する。図 5 の実線はエアー管先端の静水圧, 白丸は揚水を開始する直前のレシーバ・タンクの圧力 (最高圧) P_0 を示している。気体がレシー・バタンクからエアー管の先端まで流動する間に圧力損失を生じるので, タンクの圧力は実線より当然高くなければならない。しかし, 実際にはエアー管が短かい時, レシーバ・タンクの圧力は実線より高いが, 管が長くなるに従い圧力差がなくなり, 静水圧より低くなってしまふ。管が長くなり, 圧力が高くなると, 管先端での気体の重さは無視出来ない値になる。この重さをタンクの最高圧に加えたのが図中の黒丸である。水位の変化はこの修正圧にもとづいた。

4・2 水位変化と水の上昇速度： 揚水が始まると水面は時間の経過とともに低下するが, 一定時間後にはある状態で維持される。

図 6～7 は各揚水量に対する水位低下と時間との関係である。

エアー管が長くなると揚水量が多くなるので, 水位低下量は大きくなり, また, 水位が安定するに要する時間も長くなる。ところで, 揚水を開始した当初の水位低下量は揚水量が大きい程小さい現象がみられる。気体がエアー管先端から噴出し, 揚水管内の水面が上昇を開始してから地表に達するま

表 5 段 階 揚 水 試 験 結 果 (箱根湖尻19号井)

			1	2	3	4	5	6
測 定 日		1976年	7月14日	7月14日	6月13日	7月13日	7月16日	
エアー管長	H	m	176.0	231.0	291.5	352.0	390.5	156
最高圧力	Po	kg/cm ²	7.34	12.35	17.94	23.65	27.40	
最高圧継続時間	t	sec	31	91	155	215	265	
揚 水 量	Q	ℓ/min	17.7	41.0	53.8	60.4	67.0	
計算揚水量	Q	ℓ/min			55.1	62.1	65.4	0
水位降下量	h	m	10.5	26.2	34.0	43.6	49.0	0
比 湧 出 量	Sc	×10 ⁻⁵ m ³ /sec/m	2.81	2.61	2.64	2.31	2.28	
透水量係数	T	×10 ⁻⁵ m ³ /sec	1.07	1.16	0.99	0.83	0.76	
体 積 速 度		m/sec	0.18	0.41	0.54	0.60	0.68	

表 6 段 階 揚 水 試 験 結 果 (湯河原117号井)

			1	2	3	4	5	6	7	8
測 定 日		1976年	9月16日	9月1日	8月30日	8月26日	8月30日	9月1日	9月3日	9月16日
コア管長	H	m	93.5	110.0	132.0	170.5	198.0	214.5	253.0	88
最高圧力	Po	kg/cm ²	4.46	5.87	7.82	11.36	13.94	15.50	19.15	4.03
揚 水 量	Q	ℓ/min	16.0	30.3	45.5	62.6	71.5	73.0	78.0	0
計算揚水量	Q	ℓ/min	13.9		46.5	61.6	68.7	72.3		0
水位降下量	h	m	2.1	8.7	13.4	19.5	22.4	23.1	26.3	0
比 湧 出 量	Sc	×10 ⁻⁵ m ³ /sec/m	12.70	5.80	5.66	5.35	5.32	5.27	4.94	
透水量係数	T	×10 ⁻⁵ m ³ /sec	5.33	1.56	2.07	2.14	2.21	2.11	2.54	

での時（最高圧継続時間）はエアー管の長さに比例している（図8）。最高圧継続時間が長くなることは管内の水面上昇平均速度が小さくなることを意味する。従って、揚水開始当初の量はエアー管が短い程多いので、水位降下が大きくなる。しかし、混合流の上昇速度はある釣り合の状態に達するまで加速し、揚水量を次第に増加させていくので、エアー管の長さによる水位低下の矛盾は揚水開始当初の、エアーリフトの特有の現象と思われる。

図9の黒丸は水面の平均上昇速度 V_l 、白丸は水面が地表に達した時、エアー管先端から噴出した気泡も同時に達したと仮定した場合の気泡上昇平均速度 V_g である。なお、表5の体積速度 V は揚水量が定常状態になっている時の単相で流れている場合の液体の平均速度である。揚水が定常状態になった時の揚水管内の水の上昇速度を、次の仮定の下で考えてみる。

1. 管内の気体は水よりも早い速度で上昇するが、水と気体の上昇速度は等しいとする。
2. 気体の体積は上昇するにつれて膨張するが、揚水管の中央 $\left(\frac{H}{2}\right)$ の体積を保っている。

湯河原第117号井の78ℓ/minの場合、水の上昇速度は1.6m/secである。従って、(5)式のC項は他項に比べ小さいので無視出来る。(5)式は、

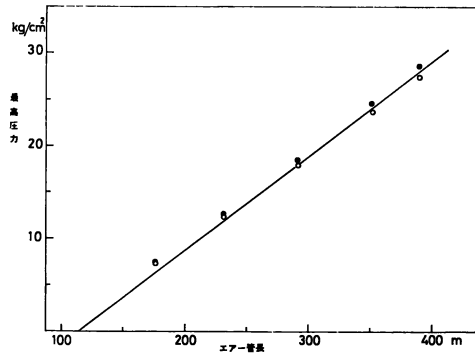


図5 水圧とレシーバ・タンクの圧力

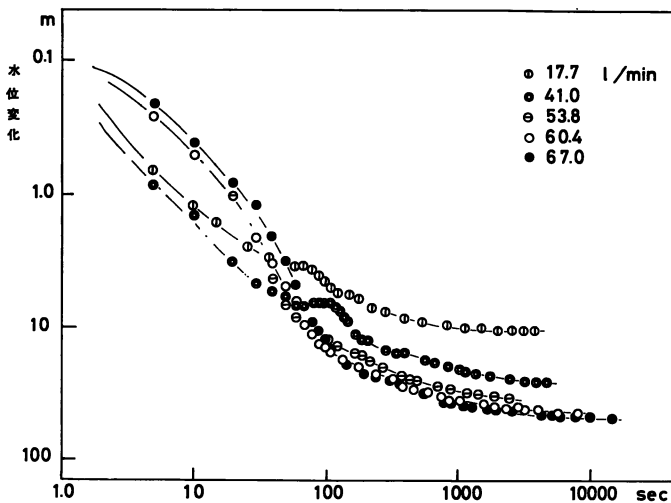


図6 段階揚水試験時の水位変化 (箱根19号)

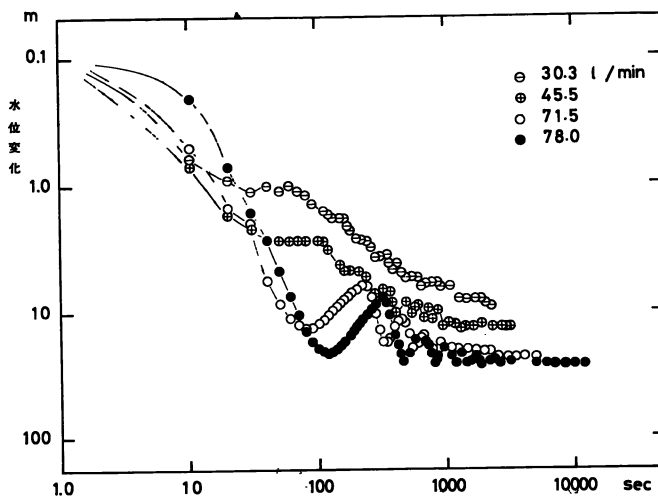


図7 段階揚水試験時の水位変化 (湯河原117号)

$$Q_1 = Q_0 \sqrt{1 + AB} \quad \dots\dots\dots(6)$$

となる。

揚水量 Q_0 を基準にとれば、揚水量 Q はエア管長 H と揚程 $H \ell$ との比 $G = \frac{H \ell}{H}$ で決まる。

$$Q = Q(G)$$

$$= E \sqrt{F - \frac{H \ell}{H}} \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$E = Q_0 \sqrt{A}$$

$$F = \left(\frac{1}{A} + \frac{H \ell_0}{H_0} \right)$$

4.3 エア管の長さによる揚水量の実測結果と計算結果の比較

図10の白丸はエア管長に対する揚水量を示している。揚水量は管が長くなれば増加するが、その増加率は逆に小さくなっていく。揚水量 (Q)、エア管長 (H)、揚程 ($H \ell$) との関係は

湯河原117号井： 揚水量 $Q = 30.3 \text{ l/min}$ を基準とし、 $Q = 78.0 \text{ l/min}$ との関係から (7) 式は

$$Q = 135 \sqrt{0.675 - \frac{H \ell}{H}} \text{ l/min} \quad \dots\dots\dots(8)$$

となる。エア管の長さを短かくし、揚水量 $Q = 0$ になるときのエア管の長さ H は (8) 式から、揚程を静水面までの距離 $H \ell = 60 \text{ m}$ として求めると $H = 88.9 \text{ m}$ となる。実際、エア管長を $H = 88 \text{ m}$ (16本) とすると揚水できなかった。図12の実線は (8) 式から求めた値をつないだものである。

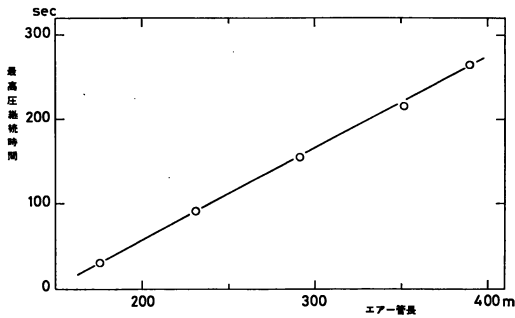


図 8 最高圧継続時間 (箱根19号井)

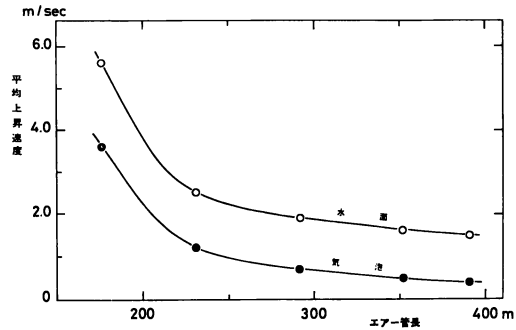


図 9 水面上昇平均速度 (箱根19号井)

揚水量を増加するためエア-管を伸ばしていくと $\frac{H\ell}{H}$ の値は漸次小さくなっていく。エア-管を無限大に伸ばして揚水したと仮定した場合の揚水量は $\lim_{H \rightarrow \infty} \frac{H\ell}{H} \doteq 0$ として(8)式から $Q_{\max} = 110.9 \ell / \min$ となる。今回の実測最大揚水量 $Q = 78.0 \ell / \min$ は仮定最大量 $Q_{\max}$ の 7 割にあたる。

箱根19号井： 揚水量 $Q = 17.7 \ell / \min$ を基準とし、 $Q = 41.0 \ell / \min$ との関係から次式をえる。

$$Q = 117.8 \sqrt{0.72 - \frac{H\ell}{H}} \quad \ell / \min$$

本孔井が揚水している $H = 390.5m$ での揚水量は仮定最大量の 6.7 割に相当する。

図11は地質調査所の小鯛桂一氏が熱海で行なった段階揚水試験の資料(表7)をもとにしたものである。揚水量 $Q_0 = 182 \ell / \min$ と $Q_1 = 218 \ell / \min$ との関係から(7)式は

$$Q = 379.5 \sqrt{0.836 - \frac{H\ell}{H}} \quad \ell / \min$$

となる。エア-管154mのときの揚水量は上式から $Q = 240.3 \ell / \min$ となり実測とよく一致している。なお、この量は仮定量 $Q_{\max} = 347 \ell / \min$ の 7 割にあたる。

4・4 水面低下に対する揚水量の回復： たんに水面が低下して揚水量が減少したとする。透水性は変わらないとし、エア-管をいくら伸ばせば元の量が取れるのかを考える。揚水量はエア-管長と揚程の比 $G = \frac{H\ell}{H}$ で決まるから、水面が低下する前の揚水量 Q_1 および Q_2 の G は、

$$G_1 = \frac{H\ell_1}{H_1} \quad H\ell_1 = h + x_1$$

$$G_2 = \frac{H\ell_2}{H_2} \quad H\ell_2 = h + x_2$$

となる。ここで、 h は静水面、 x は揚水による水面低下量である。

エア-管が H_1 の時、静水面が Δh 低下し、揚水量が Q_1 から G_3 に減少したとすると Q_3 は

$$G_3 = \frac{H\ell_3}{H_1}, \quad H\ell_3 = \Delta h + h + x_3$$

揚水量 Q_3 は水面が低下する前の Q_2 に等しいとすると、

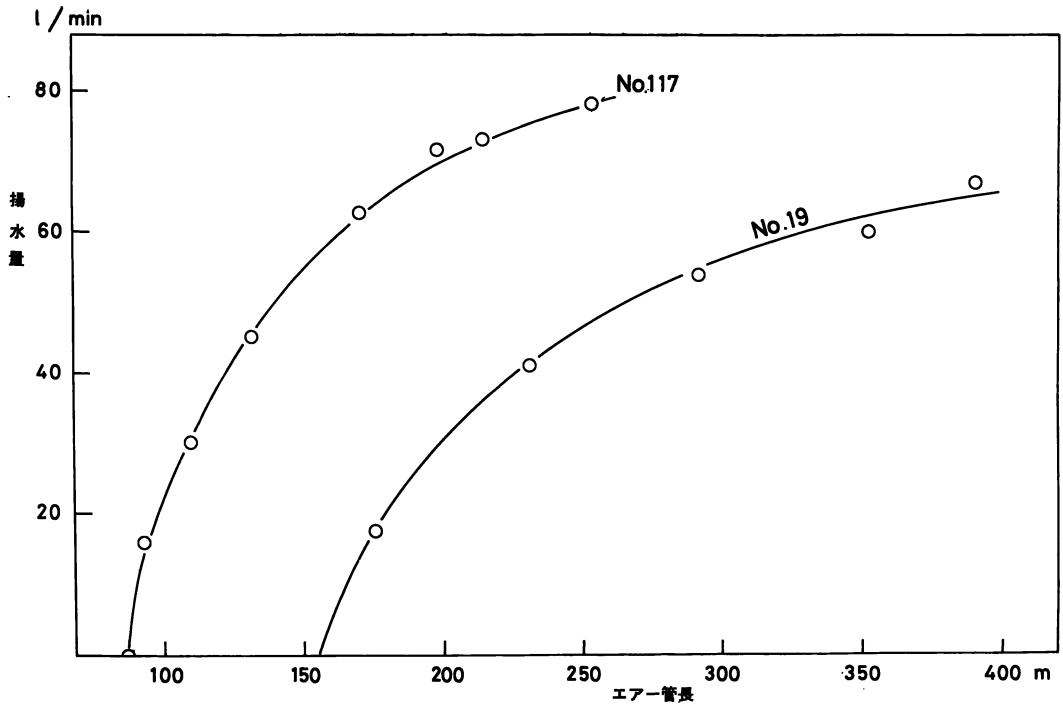


図10 エア管長と揚水量との関係（湯河原117号井，箱根19号井）

$$H \ell_3 = H \ell_2 \frac{H_1}{H_2}, \quad x_2 = x_3$$

揚水量を Q_1 に回復するに必要なエア管の長さを H_4 とすると G は

$$G_4 = \frac{H \ell_4}{H_4} H \ell_4 = h + \Delta h + x_1$$

となる。従って、

$$H_4 = H \ell_4 \frac{H_1}{H \ell_1} = \left[H \ell_2 \frac{H_1}{H_2} + (H \ell_1 - H \ell_2) \right] \frac{H_1}{H \ell_1}$$

となる。

水面変化によって、揚水量が変わった時、元の量に回復するに必要なエア管長は水面が変化する前のエア管長と揚程値から推定される。

4・5 帯水層の透水性： 源泉井の透水量係数は Theis の非平衡式より求めた。各揚水量における係数は湯河原117号井で $T = 2 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sec}$ 前後に集中しており、箱根19号井では $T = 1.1 \sim 0.8 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sec}$ の範囲と大きなバラツキはない。19号井で 16.9 l/min (17°C) の水を18時間 (t) 連続注入した結果、水面は 19.1 m 上昇（地表から 93.5 m ）した。注水を止め、水位の低下ぐあいから算出（図12）した透水量係数は $0.3 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sec}$ である。注水方式でも Theis の値にかなり近い値をえた。

表 7 国立熱海病院 (第13号井)

			1	2	3	4
エア-管長	H	m	99	126.5	154	44.3
最高圧力	P	kg/cm ²	5.0	7.5	10.0	
揚程	H ℓ	m	60	64	67	37
揚程率		%	60.6	50.1	43.5	83.5
揚水量	Q	ℓ /min	182	218	240	
計算揚水量	Q	ℓ /min			240.3	0
比湧出量	Sc	$\times 10^{-4}$ m ³ /sec/m	1.32	1.34	1.33	

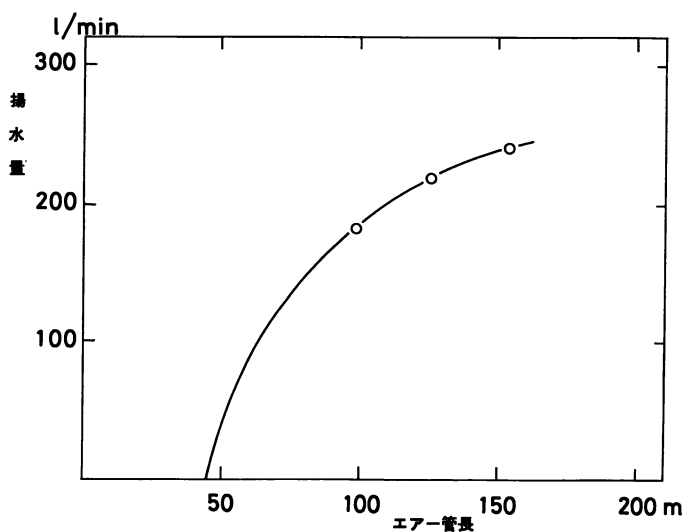


図11 エア-管長と揚水量との関係 (熱海)

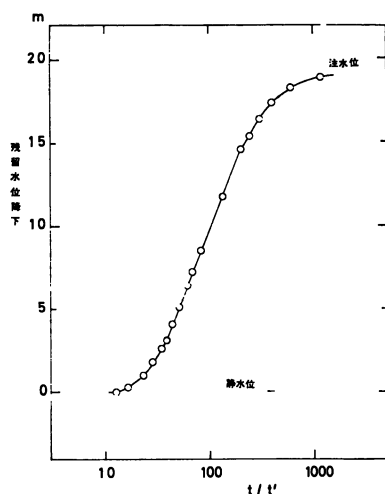


図12 水位降下法による解析

揚水量に対する水位低下 (h) の比を比湧出量 $Sc \left(= \frac{Q}{h} \right)$ という。比湧出量は揚水量が増加するに従い、小さくなっていき、揚水効率は一減少していく。

一般に亀裂帯の帯水層の場合、透水量係数 (T) と比湧出量 (Sc) との間に一定の関係が見られる。

図13の白丸は箱根・湯河原・松田の亀裂帯の源泉井の透水量係数と比湧出量との関係である。図中の実線は実験式

$$\log T = 1.18 \log Sc + 0.83$$

より求めた値である。

実験井における透水量係数と比湧出量との関係は揚水量を変えても上式の線上にある。従って、揚水時の水位変化 (h) から透水量係数を推定することも可能である。

5. 結 論

以上述べたことを要約すればつぎのようである。

1. レシーバ・タンクから水圧を推定する際、エア-管が長くなり、圧力が上がると空気の重さが無視できなくなる。
2. 比湧出量が増加するに従い小さくなっていき、揚水効率率が減少する。
3. 揚水量はエア-管長 (H) と揚程 ($H\ell$) との比で決まる。
4. 気ほう流における計算結果と実測値とが比較的良好であることを示した。
5. エア-管を伸ばせば揚水量は増加するが、その増加率は小さくなっていく。湯河原第117号井の場合、 H と $H\ell$

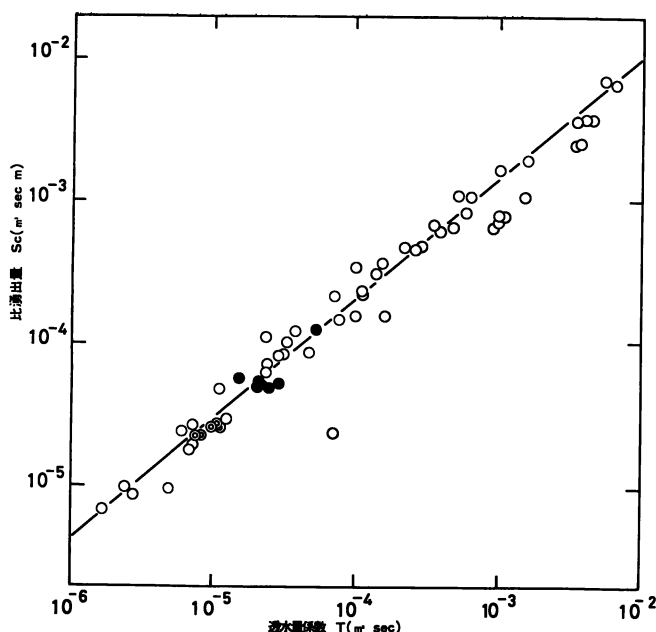


図13 透水量係数と比湧出量との関係

の実験式は $H\ell = 13.75H^{0.31}$ である。それによると揚水量を $78\ell/\text{min}$ から $91\ell/\text{min}$ にただか17%増加させるのにエア管を倍の 500m しなければならない。経済的な面からも井戸効率を考える必要がある。

最後に、新しく源泉を掘さくしたり、増掘動力装置の強化の際、電気検層や段階揚水試験を行なっていくことが、井戸管理の面からも必要である。なお、これらの調査だけでは温泉水系の水収支を評価できないことを加えておく。

6. 謝 辞

揚水試験に際しては源泉所有者の方々に協力をいただいた。温泉研究所の小鷹滋郎、平野富雄両主任研究員、広田茂、栗屋徹、伊東博研究員、荻野喜作地下水科長、守矢正則氏、小梶藤幸氏には調査に協力していただいた。大木靖衛所長には有益な助言および討論をしていただいた。平賀士郎温泉地質科長にはこの調査が円滑にすすむよう御配慮していただいた。

上記の方々に厚く御礼申し上げる。なお、本調査は神奈川県衛生部温泉等研究調査費によった。

参考文献

- 赤川浩爾, 浜口八朗, 坂口忠司, 碇 哲二 (1970) 気液二相スラグ流の差圧脈動に関する研究, 日本機械学会論文集, Vol. 36, No. 289, 1520—1542.
- 赤川浩爾著 (1969) 気液二相流, コロナ社,
- 広田 茂, 小鷹滋郎 (1976) 箱根火山における泉温および水位の連続観測, 神奈川温研報告, Vol. 7, No. 1, 19—26.
- 井上 晃, 青木成文 (1970) 管内二相流の圧力損失に関する基礎的研究, 日本機械学会論文集, Vol. 36, No. 288, 1358—1373.
- 久野 久著, 箱根火山地質図再版委員会 (1972), 箱根火山地質図説明書.
- 小鯛桂一 (1965) エアーリフトの揚水試験を主体とした熱海・伊豆山温泉の調査研究報告, 地質調査所月報 Vol. 16, No. 11, 39—48.
- 水収支研究グループ編 (1973), 地下水資源学, 共立出版.

森 康夫, 原 利次, 原田哲郎, 三谷明男, 陳 幸成, 有馬信也 (1973), 沸騰気ほうポンプ, 日本機械学会
論文集, Vol. 39, No. 325, 2797—2806.

日本機械学会編修 (1970), 機械工学便覧, 日本機械学会.

大木靖衛, 荻野喜作, 長塚綾子, 広田 茂, 小梶藤幸, 高橋惣一, 杉本光夫 (1963), 湯河原温泉調査報告,
神奈川温研報告, Vol. 1, No. 1, 1—40.

大木靖衛, 荻野喜作, 広田 茂, 小鷹滋郎, 小沢 清, 平賀士郎, 河西正男, 平野富雄, 田嶋綾子, 岩田
義徳 (1969), 箱根姥子温泉調査報告, 神奈川温研報告, Vol. 8, 1—12.

OKI. Y., T. HIRANO and T. SUZUKI (in press), Hydrothermal Metamorphism and vein Minerals of
the Yugawara Geothermal Area, Japan.

大山正雄, 大木靖衛 (1974), 湯河原温泉の水位の変遷, 神奈川温研報告, Vol. 6, No. 1, 31—46.

大山正雄 (1976), 湯河原温泉の水位と湧出域の透水性, 神奈川温研報告, Vol. 7, No. 2, 69—84.

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.