

# 温泉の送湯・配湯について

財団法人 中央温泉研究所

細 谷 昇

温泉の送湯・配湯は温泉輸送のことであり、温泉利用に際し、不可欠な技術である。古くより、温泉輸送は引湯と言う名で代表されていたが、これは送湯と言う技術が主体となっているため、この技術のみでは昨今の如き温泉給湯の実態が広域で且つ多目的になってくると、もはや、利用者の要求を満たすには不十分である。

そればかりではなく、このことが貴重な温泉資源に圧迫をもたらし、枯渇現象の元凶となっている。

そこで、本講は先づ温泉の熱管理にかかわる基礎的事項と送湯・配湯技術との関連を述べ、併せて両者にとって共に重要である保温技術について言及する。又、送湯・配湯の技術的内容を生かした温泉給湯設備のモデルとして、兵庫県浜坂町温泉地域給湯の概要について述べる。

## 1. 温泉の有効熱量と利用効率

温泉法第二条で明記してあるように、「温泉とは地中より湧出する温水、鉱水及び水蒸気、その他のガスで、別表に掲げる温度、又物質を有するものを言う」と定義しています。この条文を工学的立場より解釈すると、先ず「地中より湧出する……」のくだりは温泉には湧出量があり、次に「温泉、鉱水及び水蒸気……」では、温度を持っていること即ち泉温があることが示されており、更に「別表に掲げる物質を有する」と言うことは、泉質があることを意味しているのである。

ところで、泉温と湧出量を乗ずる（泉温×湧出量＝熱量）と、これは現在世界中が問題としているエネルギーの一種となる。勿論、この場合温泉水の比重・比熱は、それぞれ1kg/kg、1kcal/kgである。

それ故、温泉は工学的立場でみれば、熱を持った水溶液、若しくは、成分を持った蒸気と言える。しかし温泉は通常温泉水の形で最も多く浴用に利用されている。水と言うことになると、温度は0～100℃の範囲となり、0℃が基準となる。

しかし、温泉水を浴用にするとなると0度を基準としては、入浴するのにその目的にかなわない。それではどこを基準にすべきであろうか。

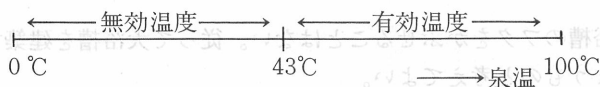
浴槽をその運転温度にて区分すると高温浴（43度以上）、中温浴（43～41度）、低温浴（41度未満）の三つに分けられると言われている。この中で一般に親しまれているのは中温浴である。

従って、43度を基準に泉温を見ると、43度を境に有効、無効の二つの領域に分けられ、泉温と43度の温度差が浴槽を運転するのに有効な温度となる。

これを式に表わせば、

$$\text{有効温度 (℃)} = \text{泉温 (℃)} - 43 \text{ (℃)} \dots\dots\dots(1)$$

となり、図に示せば下図のごときものとなる。



この有効温度と湧出量との積が有効熱量と呼ばれるもので、その関係式は、

$$q \text{ (kcal/hr)} = \text{有効温度 (}^\circ\text{C)} \times \text{湧出量 (} \ell/\text{min)} \times 60 \dots \dots \dots (2)$$

で表わされる。この有効熱量が浴槽の運転を支えるものである。なお若し温泉の熱を暖房に使用するとすれば、基準温度は25°C (米国基準)となるので、温泉の持つ有効熱量は(1)式の43°Cの変りに25°Cを代入したものとなる。なお暖房は高い温度の温泉でなければならないかと言えばそうでなく、最近では少し機械的操作を加えれば43°C以下の低温泉でも充分活用できる。

しかし温泉利用の大部分は浴用であるから有効熱量として、43°Cを期準に考えることが妥当であろう。従って一温泉地全体の有効熱量がどの程度持っているかを把握し、この熱量を充分熱管理すれば、その温泉地の利用効率が高まり、温泉の有効利用に連らなるのである。それには送湯・配湯の工学的意味を理解し、温泉輸送に係わる熱管理が重要なこととなる。

次に温泉の利用効率について述べる。利用効率とは源泉の持つ有効熱量が使用目的のため真にどの程度利用されているかの割合を百分率で表わしたもので、これを式で表せば

$$\eta(\%) = \frac{\text{使用目的のために真に必要な有効熱量 (kcal/hr)}}{\text{源泉の持つ有効熱量 (kcal/hr)}} \times 100 \dots \dots \dots (3)$$

となる。即ち使用目的が浴用であるならば(3)式の分子は浴槽が適温に運転するのに必要な有効熱量となる。若し浴槽が適温以上になることは、浴槽に必要以上の熱量を送りこんでいるため、熱の浪費となり利用効率は低下する。

又多くの温泉地では送湯・配湯の工学的意味を理解せず、その上熱管理が不充分であるため利用効率は非常に低く40%以下である。

## 2. 浴槽の熱管理

前項では、浴槽に供給する温泉水の有効熱量について述べてきたが、ここではこの熱を使用する浴槽の熱管理について述べる。これは浴槽の中の温泉水がどのような過程で冷却されていくのかを知り、この冷却効果を温泉水の熱量がどのように補うかということである。

大風呂に温泉水を満杯にして放置すると、浴槽内の温度は低下する。温度が下がるのは浴槽から熱量が奪われる為で、通常、放熱と呼んでおり、放熱量の最も大きいところは、湯面であることも知られている。

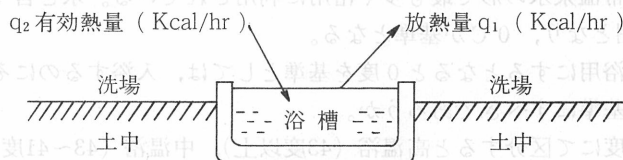


Fig. 1

そこで、このことを図示したのが Fig 1 である。Fig 1 で、 $q_1$  を少なくする為に、家庭風呂と同じように大風呂にフタをするならば、槽内の冷め具合は非常に少なくなる。

しかし、大風呂にフタをするなどと云うことになれば大がかりな事になり、浴槽管理上困難なことである。

それ故、余程の事が無い限り大浴槽のフタをかぶせることはない。従って大浴槽を建築すると、その浴槽の放熱量はほぼ決ってしまうものと考えてよい。

浴槽よりの放熱量は Fig 1 で示めすような埋設浴槽であれば、冬期において浴室温度が20℃で、浴槽運転温度が43℃とすると、

$$q_1 \text{ (kcal/hr)} = 1150 \times A \dots\dots\dots(4)$$

となる。ここでAは浴槽面積 (m<sup>2</sup>) である。

このq<sub>1</sub>の為に浴槽内の温度が低下するのであるが、この放熱量に見合う熱量を浴槽に補給してやれば常に43℃の運転はできるわけで、この補給熱量の働きをするのが、温泉水のもつ有効熱量である。

今、Fig 1 のように温泉水により q<sub>2</sub> (kcal/hr) の有効熱量を加えた時の事を考えてみる。

まず、q<sub>1</sub> = q<sub>2</sub>であれば43℃の浴槽が運転出来るが、q<sub>1</sub> > q<sub>2</sub>であると43℃未満の浴槽運転となってしまう、ぬるいことになる。

又、q<sub>1</sub> < q<sub>2</sub>であると、浴槽内温度が43℃以上となってしまう、水でうめてやらなくては入浴できなくなる。次にq<sub>2</sub>は、

$$q_2 \text{ (kcal/hr)} = (\text{浴槽への給湯温度} - 43)^\circ\text{C} \times \text{給湯量 } W \text{ ( } \ell / \text{min)} \times 60 \dots\dots\dots(5)$$

であるから、浴槽が43℃に保つには(4)式と(5)式が等しければよい。即ち

$$1150 \times A = (\text{浴槽への給湯温度} - 43) \times \text{給湯量 } W \text{ ( } \ell / \text{min)} \times 60 \dots\dots\dots(6)$$

と書ける。(6)式より給湯量 W (ℓ/min) は、

$$\text{給湯量 } W \text{ ( } \ell / \text{min)} = \frac{1150 \times A}{(\text{浴槽への給湯温度} - 43) \times 60} \dots\dots\dots(7)$$

となり、この給湯量以上に多く注湯すると浴槽は熱くなるし、又以下であればぬるくなるのである。

今、仮に浴槽面積が10m<sup>2</sup>で、給湯温度が50℃と48℃との場合の給湯量を(7)式より比較してみる。50℃の場合の給湯量を W<sub>1</sub> (ℓ/min) とすると、

$$W_1 \text{ ( } \ell / \text{min)} = \frac{11,500}{(50 - 43) \times 60} = 27.38 \text{ ( } \ell / \text{min)}$$

又48℃の場合の給湯量を W<sub>2</sub> (ℓ/min) とすると

$$W_2 \text{ ( } \ell / \text{min)} = \frac{11,500}{(48 - 43) \times 60} = 38.33 \text{ ( } \ell / \text{min)}$$

となり、W<sub>2</sub> と W<sub>1</sub> との比 (W<sub>2</sub>/W<sub>1</sub>) をとると、1.4となる。すなわち、48℃の場合の方が、1.4倍の湯量を使用しなければ同じ広さの浴槽が運転できないことになる。

それ故、もし源泉より浴槽まで、温泉水を輸送する際に、温度をなるべく下げないようにするには、どの様な給湯システムを採るべきかということを、真剣に考えれば温泉地全体の採取量は少なくする事ができ、これが温泉資源の保護対策に連なるのである。

但し、こゝで注意をしておきたいことは、前述したとおり、給湯温度を高くすれば湯量は少なくすむが、その温度もおのずと限度がある。なんとすれば、給湯温度を60℃以上にすると、入浴者の体に直接湯がかかった際、火傷の恐れがあるからである。それ故、給湯温度の上限は60℃程度である。

又給湯温度を60℃以上にしない方がよい今一つの理由を述べる。先の例の大風呂に60℃の温泉水を給湯した時の給湯量 (W<sub>3</sub> ℓ/min) を計算すると

$$W_3(\ell/\text{min}) = \frac{11,500}{(60-43) \times 60} = 11.3(\ell/\text{min})$$

となり、その量は50℃給湯の時の給湯量の約41%、48℃給湯の時の約29%で済んでしまう。しかし、このような給湯量では入浴者が多い時間帯では、浴槽内の汚れがひどくなり不快感を与えることになる。火傷の危険をさげ、給湯温度を60℃におさえても、なおかつ汚れの問題が残るのであるから、60℃以上の給湯をさけるのは当然と言える。

さて、汚れを解決するには二つの方法がある。まず、①の方法は入浴者が多い時間中は給湯温度を48℃程度にし、入浴者が少ない時間には、給湯温度を高くして浴槽の供給量を少なくする方法である。

その理由は先にのべた通り給湯温度を48℃程度にすると、60℃給湯の場合の3.4倍強の湯量が浴槽に供給されて、はじめて43℃の浴槽運転が出来るわけであるから、槽内汚染度は大変に小さくなり問題にならなくなる。

参考までに述べるが、浴槽内の温泉水を約2時間半で1回かえてしまう量が浴槽に供給されれば、汚染はほとんど問題にならない。実はこの事を基に逆に給湯温度を算出すると、その温度が48℃程度となるのである。

なお、①の方法を採る場合は、浴槽内の温泉水の流れの機構を少し工夫する事が望ましい。

次に②の方法は、給湯温度は高いまゝ一定とし、汚染の問題は浴槽内循環濾過装置によって解消する方法である。

例えば先の例をとりあげて解説すると、給湯温度が60℃であれば、43℃の浴槽運転に必要な11.31ℓ/minの新湯を浴槽に供給し、浴槽内の汚染は濾過機によって取り除くことである。この場合、濾過機を通過した温泉水は浴槽湯面に吐出させ、新湯は湯面上より流入させることが絶対に必要である。

### 3. 送湯・配湯と保温・配管技術

前項で述べたように、50℃の温泉水、27ℓ/min 持っていれば10㎡の広さの浴槽を運転しても適温となるが、若し、これを輸送して、48℃にしてしまえば、「ぬるい」浴槽運転となってしまふ。この様な場合、大低源泉所有者は輸送過程の放熱についてはかえりみず、唯温泉水量の獲得にやっきとなり、源泉の新掘或は増掘、更に動力揚湯等の手段をとってしまうのである。

しかし、温泉資源は他の地下資源と同じように限界があり、その付けは温泉枯湯現象と言う恐しいものとなる。であるから、温泉枯湯現象をまねいた元凶は温泉輸送に対する理解の不充分さであったと言っても過言ではない。そこで、温泉輸送について述べよう。

温泉水を給湯するまでの系統図は通常Fig 2図のようなものである。湧出または揚湯された温泉水は目的地に送湯され、ここで或配湯方式により給湯されるのであるが、この過程がすべて温泉輸送となる。従って、温泉輸送を技術上より見ると源泉より或る目的地に輸送すること、即ち、送湯と言う技術と温泉を利用者に配ること、即ち配湯と言う技術とに分けられる。送湯、配湯を熱工学の立場より眺めると、次のように言える。

- ㉑ 送湯とは、温泉の有効熱量を出来る限り損失のないように、目的地に送る熱量輸送である。平たく言えば送湯は源泉があたかも目的地の近くにあるかの如き状態、即ち極力温度を低下させないように輸送することである。
- ㉒ 配湯とは温泉の有効熱量を利用者に合理的に配分する熱量輸送である。平たく言えば利用者の到着温度を均一化し、同じ広さの浴槽であれば同じ分湯量ですむように輸送することである。

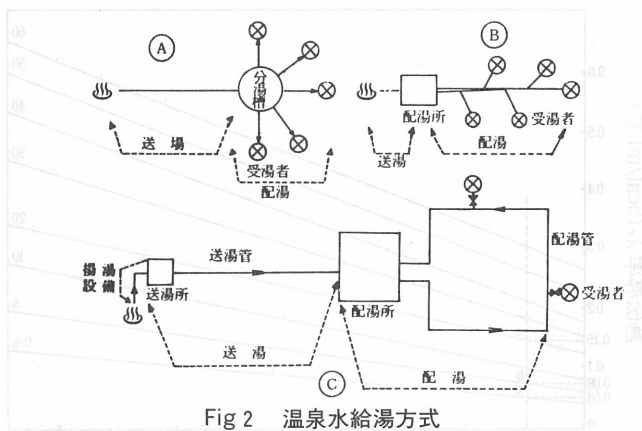


Fig 2 温泉水給湯方式

従って、送湯と配湯との技術を混同して出来た給湯方式は不合理な面が多い。その一例をあげてみる。

古い温泉地に行くと、Fig 2の①のような給湯方式で利用者に配湯しているのをよくみかけることがある。俗に言うタコ足方式である。これは送湯と言う技術のみで配湯まで行っているのが不合理な点が出てくるのである。

なるとなれば、源泉より分湯槽までは送湯の技術を正しく用いて輸送するために有効熱量の損失は少なく、問題はないのであるが、分湯槽で温泉を細分してしまうと、分湯槽から以後で送湯技術を懸命に駆使しても、各利用者の到着温度は不均一になってしまう。これは、各利用者の分湯量及び分湯槽から各利用者までの輸送距離とがそれぞれ違うから起らざるを得ない現象ではあるが、利用者の立場からみると到着温度が違うため、若し、同じ分湯量であったとしても、その有効熱量が異なるので、同じ広さの浴槽が運転出来ないと言う不合理性が生まれるからである。

このように、送湯技術を主とした配湯方式を採用した場合、大抵は温泉の生命である有効熱量が輸送過程で多く損失してしまうので、利用効率が低下し、熱量不足となり、連鎖的に温泉の過剰採取がおこる原因となるのである。

従って、温泉を供給するにあたっては、送湯、配湯の技術の違いを充分認識しないと恐ろしい結果をまねくものである。又、最近のように限られた資源である温泉水が広域に供給できるようになったのも、送湯、配湯の技術的特徴を充分理解し、利用効率が高められたからである。利用効率を高めるには、供給システムが合理的であり、しかもこれが熱管理されていることが必要かつ充分な条件である。熱管理となれば、等1段階として輸送管(送湯管又は配湯管)よりの放熱量を経済的問題を含めて少なくすることである。それには、輸送管を保温しなければならないのであるが、保温と言え、大抵は保温材を巻いて外側をビニールテープにて、まけば事終れりと簡単に考えられるがこれは大変に間違ったことである。その理由を少しのべる。

現在よく使用されている保温材はすべて吸水も吸湿もあるものばかりで、若し、保温材が水分を吸水すると、水ぶくれとなり、熱伝導率 $\lambda$ (kcal/m $\cdot$ hr $\cdot$ °C)が大きくなる。

このことを今少し数値的に表現してみよう。Fig 3は保温材が水分を吸収した場合に熱伝導率がどう変化していくかと言うことをグラフにしたものである。

Fig 3において仮に乾燥状態(水分0%のとき)で、 $\lambda = 0.04$ (kcal/m $\cdot$ hr $\cdot$ °C)(Fig 3 a点)の保温材があると、これが5%吸水すると、b点に移動し、 $\lambda_r = 0.08$ (kcal/m $\cdot$ hr $\cdot$ °C)となり、更に20%吸水すると、 $\lambda_r = 0.15$ (kcal/m $\cdot$ hr $\cdot$ °C)に移動してしまう。即ち、乾燥時の熱伝導率が20%の吸水状態ではその断熱能力は4分の1弱(0.04/0.15=0.25)に低下するのである。

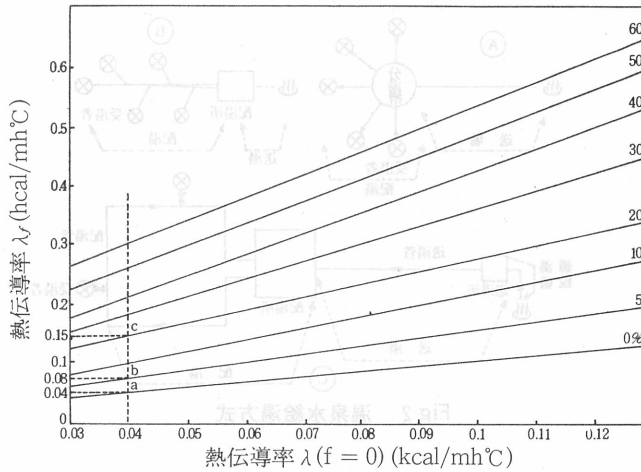


Fig 3 保温材の吸湿と熱伝導率

この様に吸湿，吸水した保温材は，保温効果はなく，むしろ冬期には冷却効果となる。しかも一般に利用されている温泉水の温度は，36～80℃の範囲のものであるから一度吸水，吸湿した水分を保温材より除去することは，困難であり，ましてや，温泉輸送管を埋設する場合にはこの吸水，吸湿の状態によって，輸送管路の使命は，短期間に失なわれ，ひどいときには到着した温泉水の有効熱量がマイナスになることもある。これを防ぐには，保温材の外面に外装防水工を施工するのであるが，この外装防水工が不完全であると，いくら良い管材を使用しても温泉輸送の真の役目は果たすことができない。つまり，温泉輸送管の保温は外装防水工をいかに安価にし，しかも完全にするかにかかっているとと言っても過言ではない。巷に温泉用保温パイプなどと言われて市販されている品物の中にも，以上述べたようなことに充分留意して製作されていないものも多く，使う際には重々気を付けることが肝用である。次に，配管技術の問題ですが，若し漏湯があるような送湯，或は配湯路線が利用効率にどのように影響するかを述べる。今湧出量が  $W$  (ℓ/hr) で，泉温が  $T_1$  (℃) の源泉があり，これを浴槽に送湯したとき，路線に漏湯がない場合の到着温度を  $T_2$  (℃) とする。又この路線に  $A$  (%) の漏湯があった場合の到着温度を  $T_3$  (℃) とすると，

$$T_3 = T_1 - \frac{T_1 - T_2}{(1 - A/100)} \dots\dots\dots(8)$$

の関係が近似的に成り立つ。そこで，路線に漏湯がない場合とあった場合の利用効率を具体的な数値をあげて検討してみる。

「例」

源泉の湧出量は30 ℓ/min で，泉温が55℃である。この温泉を浴槽に送湯したところ，管路の漏湯率が零(%)の場合の到着温度が50℃であった。若し，この路線が5(%)の漏湯が生じたたとすると，その場合の利用効率はどうか計算し，漏湯率零(%)の場合のそれと比較する。

- ① 路線の漏湯率が零(%)の場合の利用効率  $\eta_1$  (%) は58.3%である。
- ② 路線の漏湯率が5(%)の場合の利用効率  $\eta_2$  (%) を計算する。(8)式より到着温度  $T_3$  を求める

$$T_3 = 55 - \frac{55 - 50}{(1 - 5/100)} = 55 - \frac{5}{0.95} = 49.73^\circ\text{C}$$

従って，このときの利用効率  $\eta_2$  (%) は，

$$\eta_2 = \frac{(49.75 - 43) \times 0.95 \times 30}{(55 - 43) \times 30} \times 100$$

$$= \frac{191.73}{360} \times 100 = 53.2\%$$

となる。

故に①と②の比をとると、

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = \frac{53.2}{58.3} = 0.9$$

となる。即ち路線に5%の漏湯があれば、利用効率は、漏湯がない場合のそれより10%も低下することになる。

従って温泉を輸送するため、管路を布設するならば、漏湯が無いと言うことを主眼しなければならない。

詰まり、配管布設工事も保温工事と同様特殊な技術である。

#### 4. 温泉の広域給湯の実例

送湯・配湯の技術的内容の違いを充分理解し、且つ熱管理の技術を生かした最近の実例としては、兵庫県浜坂町の広域温泉給湯設備があげられる。この内容の詳細は、温泉工学誌 (Vol, 17, No. 1. 1982) に報告してあるので、ここでは概要を列記するのみにとどめておく。

- ① 源泉の全揚湯量は600 l/min, 泉温は76℃, 泉質は弱食塩泉である。
- ② 給湯地域の広さは約200ha, 給湯軒数は1,165軒。
- ③ 給湯温度は冬期にて55℃以上ではあるが、実際は約60℃である。
- ④ 配湯本管延長は17,500mで、送湯管延長は85mである。
- ⑤ 分湯方式は、随時計量制(メーター制)である。
- ⑥ 給湯開始以来1年間の使用量を平均すると、約140 l/minである。従って湯量は充分余裕がある。

#### 参考文献

- 1) 中央温研：温泉経営管理研修会第1回～22回テキスト
- 2) 益子・甘露寺：温泉工学会誌 1. 1 (1963)
- 3) 益子・甘露寺：山 2. 1 (1964)
- 4) 益子・甘露寺：山 3. 2 (1965)
- 5) 細谷・益子：山 8. 2 (1972)
- 6) 細谷・益子：山 11. 1 (1976)
- 7) 細谷 昇：山 14. 1/2 (1979)
- 8) 細谷 昇：山 15. 1 (1980)
- 9) 細谷・木間・中島：山 15. 2/3 (1981)
- 10) 細谷・中島・大塚：山 17. 1 (1982)
- 11) 細谷 昇：温泉科学会誌22. 3/4 (1971)
- 12) 細谷 昇：山 25. 2 (1974)
- 13) 細谷 昇：山 27. 2/3 (1976)