

## 温泉工學に就いて (引湯施設)

廣瀬孝六郎 (東京大學工學部)

On the balneological engineering  
Kotaro, Hirose

### 緒言

温泉利用の歴史は本邦に於ても相當古いものであるが、從來は主として疾病治療に又は行遊行樂の目的に用ひられてきた。然るに近來疾病豫防に積極的利用の道が開拓せられている。温泉工學なる言葉は新語であるが、温泉を其泉源から引いて、之を浴用に或は飲用に其他各種の利用の道を講ずる迄の工學的施設を研究する學問であつて、温泉科學の一部門である。之を細別すれば、掘鑿湯引湯分湯、浴室、浴槽等に分れる。從來何故に温泉工學が余り重要視されなかつたかを考へて見よう。勿論浴室や浴槽に就いては、相當の考慮が拂はれて居るが、主に美觀の點からであつて、余り科學的には扱はれなかつた。併し温泉を泉源で直に利用する丈でなく、遠く之を引いて後利用する事は舌くから行はれた事で決して新しいものではない。即ち温泉工學の施設其のものは、已に古くから存在したものである。又其際温泉によつては泉源で利用するのに比較して、効力を減ずる場合のある事も、夙に認められて居た。其原因が泉質中の有効成分の變化にあるだらうといふ事も誰しも容易に想像する處であるが、然らば其泉質を分析して見て、直接其原因を突きとめる事が出来るかといふと、必ずしも常に可能ではなかつた。従つて其原因を温泉工學的施設の改善により、除去する事業は勿論不可能であつた。こゝに温泉の神秘性が潜んで居るともいへるのであるが、之等は科學の進歩と共に當然解決せらるべき問題である。即最近温泉科學の他の方面例へば温泉の地球化學、分析學、臨床醫學等の發達と共に、温泉の神秘が次第に説明されんとして居る。従つて温泉工學も之に伴つて、當然進歩發達せねばならない。即單に泉量を充分に送り、然も施設の磨耗損傷を防げば足るといふ、從來の温泉工學に加ふるに、更に泉質を考慮して其効力を減ずる事なく湯を引くことが附加されねばならない。

以上の見地から温泉工學の内特に引湯の一般理論と施設とを簡単に述べたいと思ふ。但筆者は泉質に関しては専門家でもなく、又此方面には未開拓の領域が多いと聞いている。技術としての温泉工學も未完成の状態にあるので、以下述べる所も抽象的の事が多く具體的ならざる點は諒とせられ度い。

### 泉質と泉量 1 泉 質

温泉工學に於て、泉質の問題を先づ第一に考慮すべき事は上述の通りで、特に引湯に際して然りである。然るに泉質によつては如何なる引湯方法を行つても、變化する恐れのないものがある。之は泉量丈を考慮すればよいわけであるが、唯注意すべきは分析上泉質の變化が起らなくとも、温泉の効力が減ずるものがある事である。兎に角變化し難い温泉は新しい温泉工學の對象とはならないのである。次に泉質特に有効成分の變化し易いものに就いて考へると、之を更に2に分ける。

- 1). 有効成分の極度に變化し易いもの。如何に注意深き引湯方法によるも、其變化を防ぎ得られないものは泉源に於て利用するの外ない。
- 2). 有効成分は變化し易いが、工學的施設の如何によつては、之を防止し得るもの、之が新しい意味の温泉工學の對象たるべきものである。

其詳細に就いては、次に述べるが、温泉科學の進歩と共に、之に属すべき温泉と然らざるものとを判然區別し、其變化の原因を明かにする事が、温泉工學の豫備知識として要望されると共に、温泉工學の進歩發達によつては、從來泉源で用ふるの外なかつた温泉も、之を遠く引湯し得るに至る事が期待される。

但例外としては、寧ろ泉質の變化した方が有効な温泉も稀にある。例へば硫黄泉は古いものが蕁麻疹によいといはれる。

次に引湯に用ふる管其他の材料が、泉質によつて腐蝕される事がある。又中に沈着を生ずる事がある。之等は泉質の蒙むる影響ではなく、逆に泉質が他に及ぼす影響であるから、重大視する要はないが、實際問題としては、腐蝕された管を頻りに取換へるとか、内部の掃除を勵行して沈着を除く事には多大の困難がある。

## 2 泉 量

泉量は大なるに如くはないが、所要泉量として浴槽利用人数等から、最小限度の必要量が決定されるのではないが、此點は普通の公衆浴場や水泳プールに於ては、汚染の限度から略決定されるものである。唯温泉に於ては單に汚染の點のみならず、泉質の如何によつては大量に新鮮なるものを必要とするものと、其必要なきものがあるわけであらう。ここに再び泉質の問題と關連してくる事になる。兎に角現在漫然と已得權の如くして主張せらるる泉量に對して、今少しく科學的檢討が加へられねばならない。

### 3 泉質の變化 I 工化學的性質

温泉の有効成分としては、多種多様であるが、其内で變化し易いものとして、次の2があげられる。

1). 溶存ガスを含むもの 之は例へば  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  「ラドン」等がある。溶存ガスの逃し去る原因としては、壓力の減退と溫度の上昇とであるが、更に大氣中で人工的攪亂の與へる曝氣の如きは、甚しく溶存ガスの減退を來すものである。かかる場合周圍の條件が元に戻した時一旦折出した氣泡が再び溶解するか否かは大なる疑問であるから最初から逃さない様にする事が大切である。かくの如く化學的性質の變化は、其物理的性質と密接に關連して居るから、次に述べる。2). 酸化され易い成分 單に化學的性質として酸化され易いものは數多あるが、時に最近研究を進められつゝある觸媒作用を有する物質は、極めて酸化され易いものらしい。之は  $\text{Fe}$  や  $\text{Mn}$  ともいはれて居る様である。 $\text{H}_2\text{S}$  も酸化されると  $\text{S}$  を遊離して泉質を變ずる。酸化の起る原因は、大氣の酸素に接するにあるが、尙上述曝氣が行はるれば、酸素の溶入を助長するから、酸化は一層促進される。

次に引湯施設の材料如何によつては、泉質が變化を蒙る事がある。金屬類で温泉に容易に溶解するものは材料として避くべきである。

### II 物理的性質

1). 溫度は一般には冷却しない様に引いて來たいのであるが、中には例外として熱過ぎる温泉は浴用にしろ飲用にしろ一定溫度迄は冷却せねばならない。即保温設備又は冷却設備が必要である。併し熱過ぎる温泉を冷却する事は其爲に溶解質が折出す事がある。此際冷却の目的を以て冷水を混ずる事は、單に有効成分の濃度を稀薄にするのみならず、泉質を變へる事があるから注意を要する。

一方冷泉を加熱する事は、上述の通溶存ガスを驅逐する恐れがある。

2). 壓力は温泉が自噴するか否かによつて異なる。自噴する温泉は元來壓力下にあつたものであるから、大氣中に出れば氣壓を受けて低下する。汲出すものは特に壓力下にあつたわけではないが、地下から地表に出れば

多少の壓力の低下を免れない。其爲に溶存ガスの減少が起る。此場合壓送を行へば壓力の大氣壓に低下する事は避けられるが、多少の壓力の動搖は防ぎ得ない。尙壓送でなく自然流下による事は、壓力が大氣壓に下るのみならず、大氣の酸素に直接接觸するので、酸化され易い成分を含むものは特に避けねばならぬ。

#### 4 施設のうける變化

材料を腐蝕し易い泉質として、各種のイオン及化合物があげられるが、特に次の如き組合せが悪いとされて居る。H<sub>2</sub>S と HS<sup>-</sup>、CO<sub>2</sub> と O<sub>2</sub>、Cl<sup>-</sup> と SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> と CO<sub>2</sub> の如し。水温が高いから腐蝕作用は特に促進されない。材料の如何にもより金属は特に犯れ易い。一々の材料に就いては後述する。

沈澱は所謂温泉華又は湯の花であるが、硫黄泉や炭酸泉に多く見られる。硫黄泉では H<sub>2</sub>S を含むものと然らざるものがあるが前者が大氣に觸れると酸化せられて淡黄色又は乳白色の硫黄華を析出する。併し元來 H<sub>2</sub>S は温水中に多量に溶けないのでたとひ腐卵臭を感ずるとしても、其量は極めて少い。従つて之から遊離するは硫黄も微量である。

炭酸泉は單純炭酸泉の外に炭酸鹽類泉がある。之は過剰の炭酸により重炭酸鹽として溶解して居るものであるから地表に出て減壓されると CO<sub>2</sub> が放出して不溶解性の炭酸鹽となつて沈澱する。例へば重炭酸カルシウムは炭酸カルシウムとなつて石灰華を沈澱するが、重炭酸第一鐵は同時に酸化せられて炭酸第二鐵を生じ、加水分解を起して水酸化第二鐵を析出するに至る。他にも温泉華はあるが省略する。

之等の成因を考ふるに、上記硫黄華と石灰華の如きは酸化と CO<sub>2</sub> の消失とが原因をなして居る。何れも大氣に接觸する事により起るが CO<sub>2</sub> の消失は更に減壓により促される。従つて壓送する事は壓力の點からも空氣と遮斷する點からも、温泉華の發生を豫防する事になる。之を以て完全に防止する事は出来ないとしても、沈澱を生ずる箇所を限定してなるべく掃除し易い所に析出される事は或程度可能であらう。

#### 5 施設 I 材料

管の材料としては、強度耐久性等を考慮せねばならぬが、特に温泉に對しては、泉質に影響を及ぼさない事と逆に泉質によつて腐蝕されない事とを併せ考へねばならぬ。尙保温材料としては熱の不良導體がよく例外として冷却材料としては良導體がよいわけである。金属材料は一般に此見地から温泉には面白くない。非金属材料例へば陶磁器、ガラス、硬ゴムの如き材料が優つて居るが欠點は強度小で壓力に耐へ難く、中には管として製造しがたいものもある。今實際の管に就いて述べる。

1) 陶管は元來上水道では用ひられない。主として下水道用である。即壓力管としては不適當である。併し温泉引湯で左して大なる水壓のかゝらぬ際は、用ひて差支ない。並管、厚管、特厚管とあり。日本標準規格第 59 号で規格が定められて居る。直徑 90 cm 以下（但厚管）である。

特徴は耐酸耐アルカリ性大で腐蝕に抵抗大なる事、内面平滑にして敷設容易なる事である。欠點としては上記泉質脆弱の外に、大徑のものは製作困難である。

管の一の弱點たる接手に就き述べれば陶管は挿込接手を用ひ、挿口承口の間隙を槓肌又はヤーン（麻）でつめて後、配合 1:3 位の「モルタル」を填充する。

「シンター」管と稱するは、陶管の一種と見て宜しい。

2) 「エタニット」管は「アスベスト」（石棉）纖維と「ポルトランドセメント」とを原料として、適當の割合

に混合し之に水を加え充分攪拌して乳状膠泥液とする。此液を製紙輪轉機に於けると同様の方法で、回轉せる「フェルト」の上に極めて薄い(約 1/5 mm)無縫目帶の「セメントアスベスト」層を送出し適當に水分を除去し、所要の管徑の滑かに磨かれた軸に、全長に亘り3點から均等強壓を加へ乍ら、所定の厚さ迄巻きつけるのである。

長所としては

- 1) 組織均等緻密で高壓に耐へる。
- 2) 化学作用 電蝕作用を受けない。即此點温泉引湯に好適である。
- 3) 接手作業が簡單である。
- 4) 重量軽く運搬に便である。
- 5) 熱の不良導体である。

併し欠點としては異型管を作り得ない事や耐震性に欠ける事があげられる。

水道用「エタニット」管規格が水道協會により制定せられた。接手は「ギボルト」と「シムプレツクス」との2種である。

3). 木管は従來から温泉引湯に用ひられ來つたものであるが、之に對する意見は區々で極端に推稱する人もある。長所としてあげられるのは

- |                           |                   |
|---------------------------|-------------------|
| 1) 内面平滑、年と共に抵抗を減ずる。       | 4) 熱の不良導体である。     |
| 2) 化学的腐蝕に割合耐へる。電蝕作用も受けない。 | 5) 弾性に富む故、水衝作用小なく |
| 3). 輕くて運搬に便である。           |                   |

之に反して短所としては

- |             |              |
|-------------|--------------|
| 1) 水壓に耐へない。 | 3). 漏水多し     |
| 2) 壽命短し     | 4). 異形管が作れない |

従つて低壓の温泉引湯であれば、敢て不適とはいはれない。

種類としては、剝拔管と組子管とがある。剝拔管は徑も制限され、内部堅牢なる赤朶が剝拔かれるから、壓力には極めて弱い。組子管は割合強いが、何れも接手は困難である。但組子管は接手しないで千鳥に組んでゆける。

木管に準じて竹管も使はれる。併し直徑が制限され、節の部で沈着を生ずる。竹の組子管は製作困難なるべし。

4). 金属管は温泉用としては、鑄鐵管、ガス管、鉛管等が使はれた。之等は温泉で犯され易く、又逆に温泉に溶解して泉質に變化を及ぼす事もある。但鉛は割合に耐へる。又熱の良導体なる欠點があるから、明かに温泉引湯には不適である。

例外として金属と作用せざる泉質で、泉温割合高く、且高壓力下に引湯するものには、金属管を使用差支ない。

5). 鐵筋コンクリート管は耐震性が長所であるが、耐酸性に乏しいことは大欠點である。但アルカリ性には耐へる。其他欠點としては

1). 水密性に乏しい。 2). 高圧に堪へない。 3). 異形管が出来ない。  
元來上水道にも余り使はれない。「ヒューム」管といふのは此の一種である。

## II 壓 送

大氣に接觸しない點及壓力の低下も防ぐ點からも壓送が望ましい。  
管の大きさ決定は、原理に於ては水の場合と變りなく、次式から導く

$$h = \left(1.5 + f \frac{l}{d}\right) \frac{v^2}{2g}$$

但  $h$  = 全損失水頭 (速度水頭, 流入及摩擦損失水頭以外は省略)

$f$  = 摩擦係數  $v$  = 流速

$l$  = 管長  $g$  = 重力による加速度

$d$  = 管徑

$\frac{l}{d} > 3750$  ならば 1.5 を省いても 1% 以下の誤差となる。之より流量 ( $Q$ ) と直徑 ( $d$ ) の式を導けば

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} v = \frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{2gh}{fl}} d^5$$

$$d = \left(\frac{8flQ^2}{\pi^2 gh}\right)^{\frac{1}{5}}$$

即 距離 ( $l$ ) 高低差 ( $h$ ) 及所要泉量 ( $Q$ ) が判れば所要直徑 ( $d$ ) が算出される。併し温度と泉質との關係上  $f$  が異なる事泉質によつてはガスを放散して流れを妨げる事、將來湯の華により斷面積の減ずる恐れある事等が大なる相違である。其爲には相當に余裕ある直徑を選ばねばならない。

壓送に際しては壓力の低下が起れば溶存ガスの放出と大氣の吸引とを來す。流速が大に過ぎると渦を生じてガス放出の原因となる。

併し整流と渦流との境の限界流速は、確定値を示すものではなく、又殆んど大部分の水流は渦流の状態にあるものである。その他管の屈曲、彎曲、弁等何れも壓力の變化を伴ひ、ガス含有の温泉には宜しくないが絶対避けることは出来ない。排氣弁、排水弁を所々に設けねばならない。管の傾斜も出来るならば一定の方が、壓力の動搖がなくて理想的である。

流の方向に上に向ふ方が壓力の動搖が少いといはれる。

泉量調節の爲、又分湯の爲に槽を設ける車がある。泉量調節槽の大きさは確實を期する爲には、大なるに越した事はない。併し大氣接觸と壓力低下と冷却との3點を考へねばならぬ。大氣接觸を避ける爲の考案としては、固定蓋に穴をあけ水面は蓋上に達しさせ、ここに溢流管を附して、絶えず溢流させる。そうすれば槽内は常に水に充され、空氣の侵入する余地はなくなる。又蓋を水上に浮べて、水面と共に上下させる方法もある。何れも分湯管はなるべく槽の下方から出すべきである。

壓力の低下は全く防止する事は出来ないが出来る丈深い地下槽の如きを設け、壓力大なる下層から流出させる等の方法がある。地下槽は保温の意味を兼ね有する。尙壓力低下は湯の華を析出し易いから、対策を要する。保温設備は次に述べる。

管の配置としては、網狀をなす網目式と次第に分岐して樹枝狀に末端に至る行止り式と、途中調節槽を設

けて之から各獨立した管を並行して出すものとの3がある。網目式は上水道では費用されるが温泉では温度の関係上不可なるべく行止式は簡單であるが量の正確を期し難く槽を設けるは之に反するが、大氣接觸と管長が大なる欠點がある。

併し管の末端を開放状態にして、恰かも所要泉量を得らるるが如き管徑を求める事は、たとひ調節槽を設けても無理である。それは、横側の水位變化を絶無となし得ない事と、管徑は大體市場已製品で定まり、余り寸法の變化のこまかいものはないからである。末端は矢張り給水栓を用ひ、實際使用水量は特殊材料による量水器を以て計畫するの外あるまい。

### III 保 温

管や槽では、第一に熱の不良導体を材料に選ぶ。金屬よりは木、「エタニツト」の如きが優る。更に周圍に保温材を巻くが、實際空氣が大なる不良導体であるから、多量の空氣を含むものがよい。管を二重とし其間に綫穀をつめるとか、絨毛、フェルト、コルク等も使はれる。但之等が水を含むと逆に熱を導く事になるから注意を要する、管を地下に埋設し地下槽とする事も有効で、加ふるに上記の方法を施せば尙よい。

今一は細管を用ひ、流速を大にする事は、放熱面積と冷却時間との減少の爲に有効であるから、其爲には一旦高所にポンプで押上げて後分湯する事もある。

### VI 冷 却

冷水槽の中に温泉管を蛇管として導く事が、最も効果的ではあるが、管が閉塞される危険が多く、管内の掃除が甚だ困難である。之を逆にして槽内に温泉を導き、中の蛇管内に冷水を通すと、管には一方から冷水が入り、他方から温水が出るから之を利用する事も出来る。温泉熱の利用である。此場合管の外周に湯垢が附着するが之は熱の傳導を悪くするから除去せねばならない。其爲には豫め構造を考えて、掃除に都合よく設計しておくが宜しい。

冷却装置を設ける場所は、中央がよいか末端がよいか、何れでもよいであらうが、中央で行ふ事はそれ以後の分湯管の長さが違ふから、或程度迄冷却して、末端で今一度調節せねばならない。従つて寧ろ末端の各浴場で別箇に考慮した方がよくはないかと思はれる。

## 6 結 言

以上各種の觀點から述べたが、要約すれば各種温泉の内では有効成分は變化し易いが、引湯方法の如何によつて之を防止し得るものを對象として、主に其引湯に關する部分考えたのである。大別して次の3種となる

- 1). 溶存ガスを含むもの
- 2). 酸化され易き物質を含むもの
- 3). 温度に注意すべきもの

之以外に將來追加されるものがあるであらう。併し上記種の性質に關しても絶對不變の状態では引湯し得るわけではない。それは各種の條件中、明かに矛盾するもの中實行し難いものがあるからである。要は其變化を最小限度に止める事を目標とすべきである。之によつて従來泉源に於て利用するに非ざれば無効なりとせられた温泉のあるものを遠く引いて後利用しても尙有效なる場合が期待され温泉利用の道はここに益々擴大される事になる。併しかゝる意味の進歩發達が決して、温泉工學單獨の發展により達せらるゝものではなく、温泉科學全般の進歩と協力とによつて、始めてなし遂げられる事は言ふ迄もない所である。