

夾雑物付着が下水熱採取に及ぼす影響

福井大学大学院 学生員 松間福太郎*

福井大学工学部 正会員 福原 輝幸*

1. はじめに

無散水融雪は、地盤沈下や地下水不足などの環境問題、あるいは散水による散水凍結や水はねといった交通上の問題に対して有効であるが、その利用熱源の確保が最も重要な課題である。そのような中で下水熱は冬期において有効な温熱源であり、利用可能な排熱として注目されている。既報では熱交換パイプを用いて下水熱を採取する方法とその能力について室内実験による評価を報告した¹⁾。しかしながら実際には、熱交換パイプを用いて下水熱を採取する際、**図 1** に示されるように熱交換パイプに夾雑物が付着するため、熱交換パイプの採熱能力が低下することが懸念される。

そこで本研究では、室内実験によって実際の夾雑物とは異なるが、熱交換パイプに仮想夾雑物を巻き付け、熱交換パイプ能力の低下について検討を行った。

2. 夾雑物付着と室内試験

採熱試験は福井大学構内水理実験室において**図 2** に示されるような試験装置を用い、周囲温度変化の小さい夜間に行われる。採熱試験装置は約 12(m)の可変勾配式水路内に外径 0.3(m)の塩ビ管を半円形に切り取ったものが擬似下水管として、その内側に内径 0.025(m)の SUS301 製熱交換パイプが敷設される。下水管には約 11℃の冷温水が流量 700(l/min)で流され、熱交換パイプには冷水タンクを用いて約 6℃に温度制御された冷水が流量 30(l/min)で循環する。測定される温度は下水流下方向に 8 点、熱交換パイプ流下方向に 10 点、室内気温 1 点、外気温 1 点であり、それぞれ熱電対を用いて測定される。また今回の採熱試験では夾雑物として 10(m)×0.3(m)のガーゼを 2 折にしたものが、熱交換パイプ全域にわたって均等に 10 枚巻きつけられる（**図 3** 参照）。

3. 熱貫流率評価

下水温が一樣・定常であり、熱交換パイプ流体と下水流

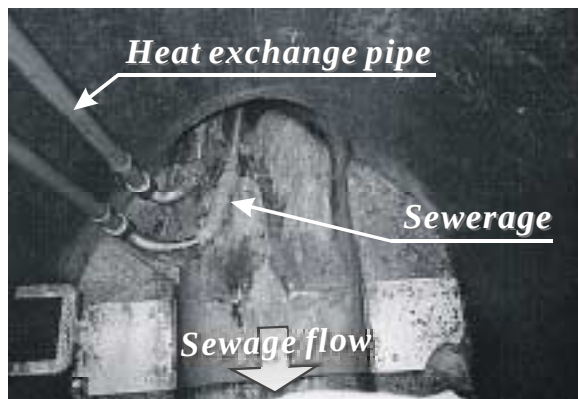


図 1：下水管梁内夾雑物

（石川県金沢市下水道部提供）

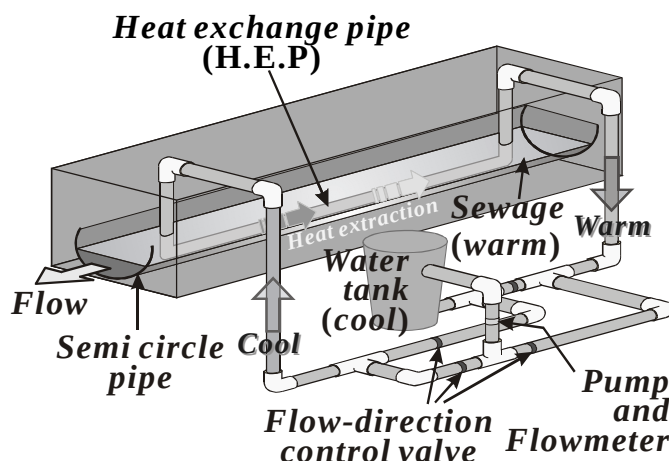


図 2：採熱試験装置概要図

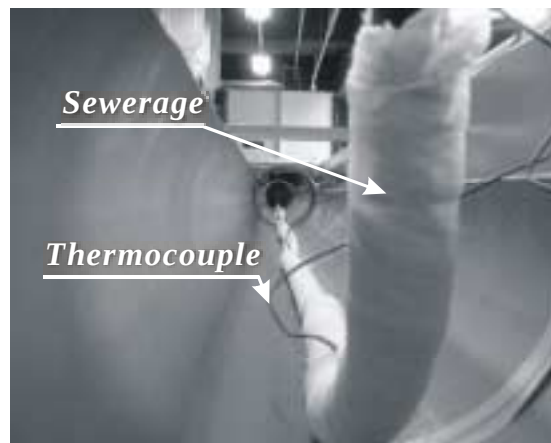


図 3：夾雑物巻き付け後熱交換パイプ

キーワード：下水熱，夾雑物，熱移動，熱交換パイプ

* 〒910-8507 福井県福井市文京 3-9-1 TEL: (0776)-27-8595 FAX: (0776)-27-8746

体が熱的平衡状態にあるとき，熱交換パイプ流体の熱移動方程式は次のように与えられる．

$$-(\rho c)_{pi} Q \frac{\partial T}{\partial x} dx = \alpha (T - T_{sw}) dA_s \quad \dots (1)$$

$$dA_s = \beta \pi \phi dx \quad \dots (2)$$

ここに， $(\rho c)_{pi}$ ：熱交換パイプ流体体積熱容量， T ：熱交換パイプ流体温度， T_{sw} ：下水温度， α ：熱貫流率， x ：熱交換パイプ入口からの距離， dA_s ：熱交換パイプ微小区間 dx における伝熱面積である．なお， β は溝による表面積の増加率を表し， $\beta=3.52$ となる．式（1）の境界条件として $x=0$ （流入口）で $T=T_{in}$ （流入水温）を考慮すれば，パイプ流体温度分布は次式で与えられる．

$$T = T_{sw} + (T_{in} - T_{sw}) \exp\left(-\frac{\beta \pi \phi \alpha}{(\rho c)_{pi} Q} x\right) \quad \dots (3)$$

式（3）において， $x=l$ （流出口）で $T=T_{out}$ （流出水温）とすれば，熱貫流率は以下の式より求められる．

$$\alpha = \frac{(\rho c)_{pi} Q}{\beta \pi \phi l} \ln\left(\frac{T_{sw} - T_{in}}{T_{sw} - T_{out}}\right) \quad \dots (4)$$

次に，熱交換パイプを通じて得られた採熱フラックス E は次式により与えられる．

$$E = (\rho c)_{pi} Q (T_{out} - T_{in}) \quad \dots (5)$$

なお，この計算モデルでは熱交換パイプの内表面を伝熱面と定義し，夾雑物の巻き付けによる熱交換パイプの外径の増大は考慮していない．

4. 試験結果および考察

採熱試験により得られた熱交換パイプ内水温分布を図4に示す．プロットは実測値，実線は式(3)による計算値を表す．熱交換パイプ入口水温は 5.8°C であったのに対して出口水温は 0.5°C 上昇し， 6.3°C であった．また同時に，夾雑物影響の比較のために夾雑物無し(巻き付け無し)時のデータを示す．夾雑物が無い場合は熱抵抗が小さくなることで出口水温は入口水温よりも 2.6°C の上昇となる．

夾雑物の有無による熱貫流率と熱交換パイプ単位長さあたりの採熱フラックスの違いを表1に示す．表1において括弧内に示される数値は夾雑物巻き付け無し時の値で除した数値を示す．夾雑物被膜厚さ 3.47mm の時，熱貫流率は $70(\text{W}/\text{m}^2\text{K})$ となり，夾雑物が無い場合の6%にまで，また採熱フラックスに関しては19%にまでそれぞれ低下した．

以上より，熱交換パイプに夾雑物が付着することは下水熱採取にとって不利に働くことが定量的に確認できた．今後は，夾雑物付着に関するデータを増やし，またそれらを防ぐために付着のメカニズムについて検討を行っていきたい．

参考文献 1) 松間福太郎・福原輝幸：溝付きステンレスパイプの下水熱採取能力評価，土木学会第56回年次学術講演会講演概要集VII部，PP.228-229，2001

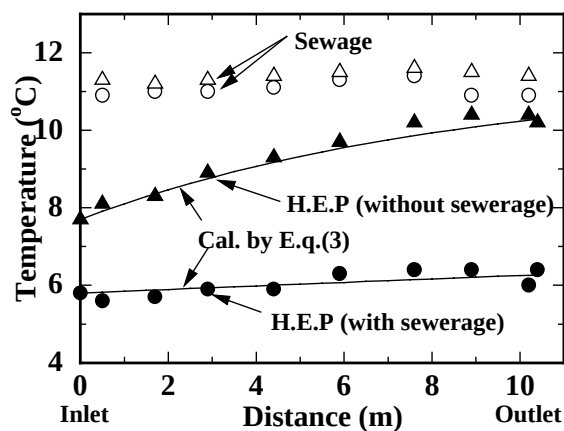


図4：熱交換パイプ内水温分布

表1：採熱能力比較

夾雑物被覆厚さ (mm)	熱貫流率 ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)	採熱フラックス (W/m)
0	1161	522
3.47	70 (0.06)	100 (0.19)