

下水流速が下水採熱に及ぼす影響

東洋熱工業株式会社 正会員 松間福太郎\*  
 福井大学工学部 正会員 福原 輝幸\*\*

1. はじめに

未利用エネルギーを普及するにあたって、そのエネルギー採取法は安価で施工や維持管理が容易なものが望ましい。筆者らは下水熱を採取するにあたって、下水管渠中に採熱パイプを敷設し、下水と直接熱交換を行う方法について検討を行ってきた。既報<sup>1),2)</sup>では、熱交換流体流量が及ぼす熱的影響および夾雑物が及ぼす熱的影響について報告した。下水は都市活動に密接に関連しており、下水温度や下水流量は地域によって異なる。下水管は図1のように下水流量に応じ、また地域によって大きさが異なることより、下水流量あるいは下水流速が採熱に及ぼすパラメーターの1つとして考えられる。

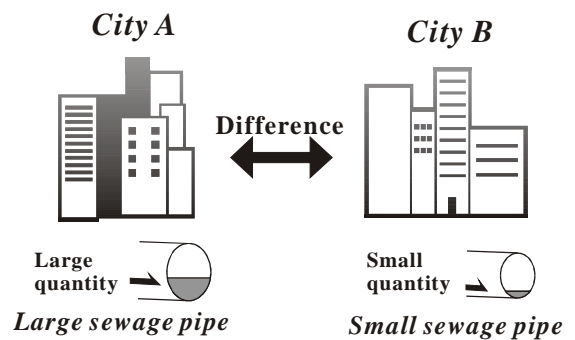


図1：下水パイプの地域格差

そこで本研究では、下水流速を変化させた実験を行い、下水流速と採熱量の関係について検討を行った。

2. 採熱試験

下水からの採熱量を測定するために採熱試験を行う。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)の水路内に勾配I=0.004で内径D=0.3(m)の塩ビ管を半円形に切り取ったものを擬似下水管とし、その内底に管長l=10.5(m)、内径φ=0.025(m)のSUS316製熱交換パイプ(溝付き)が敷設される。熱交換流体は冷水タンク内で約6( )一定に温度制御され、送水ポンプにより、流速V<sub>p</sub>=0.25(m/s)で冷水タンクと熱交換パイプを循環する。約12の冷温水が下水管中を流速V<sub>s</sub>=0.43(m/s)

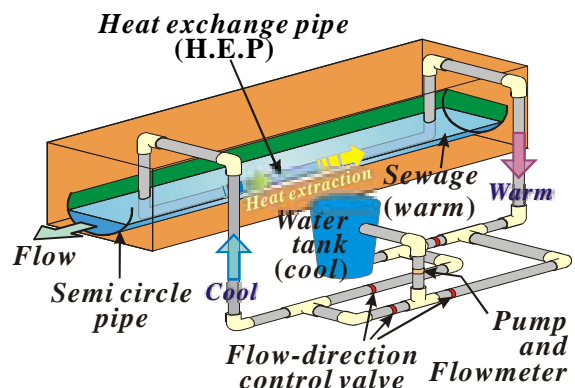


図2：採熱試験装置

および0.67(m/s)で流下する。熱電対を用いて測定される温度は、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、外気温であり、データロガーにより自動的に1分毎に記録される。

3. 熱貫流率

下水温が一樣・定常であり、熱交換流体と下水流体が熱的平衡状態にあるとき、熱交換流体の熱移動方程式は次のように与えられる。

$$\frac{\partial T_{pi}}{\partial x} = -\frac{\alpha \eta}{V_{pi}} (T_{pi} - T_{sw}) \dots (1)$$

ここに、 $\eta=4\beta/(\rho c)_{pi}\phi$ 、 $(\rho c)_{pi}$ ：熱交換流体の体積熱容量、 $T_{pi}$ ：熱交換流体温度、 $T_{sw}$ ：下水温度、 $\alpha$ ：熱交換流体と下水流体との間の熱貫流率、 $x$ ：熱交換パイプ入口からの距離、である。なお、 $\beta$ 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  $x=0$  (熱交換パイプ流入口) で  $T=T_{pi0}$  (熱交換パイプ流

キーワード：下水熱，熱交換パイプ，下水流速，熱貫流率

\*：〒104-8324 東京都中央区京橋 2-5-12 Tel：03-5250-4121

\*\*：〒910-8507 福井県福井市文京 3-9-1 Tel：0776-27-8595 Fax：0776-27-8746

入水温）を考慮すれば，熱交換流体温度分布は次式で与えられる．

$$T_{pi} = T_{sw} + (T_{pi0} - T_{sw}) \exp\left(-\frac{\alpha\eta}{V_{pi}} x\right) \quad \dots (2)$$

式(2)において，熱交換パイプ流出口  $x=l$  ( $l$ : パイプ長さ) で  $T_{pi}=T_{pil}$  (熱交換パイプ流出口水温) とすれば，熱貫流率は以下の式より求められる．

$$\alpha = \frac{V_{pi}}{l\eta} \ln\left(\frac{T_{sw} - T_{pi0}}{T_{sw} - T_{pil}}\right) \quad \dots (3)$$

また，熱交換パイプを通じて得られた採熱量  $E$  は熱交換パイプ断面積  $A_{pi}$  を用いて次式により与えられる．

$$E = (\rho c)_{pi} V_{pi} A_{pi} (T_{pil} - T_{pi0}) \quad \dots (4)$$

#### 4. 採熱試験結果および考察

採熱試験結果を図3および表1に示す．図3において，中塗りプロット(○, ●)は  $V_s=0.34$ (m/s)の場合の，中空プロット(△)は  $V_s=0.67$ (m/s)の場合の実験値であり，丸プロット(○, ●)は熱交換流体温度を，三角プロット(△)は下水温度を表す．また，実線は式(2)による計算値であり，破線は平均下水温度  $T_{sw}$  を表す．本試験では  $T_{pi}=5.9$ ( )で一定である．計算値は実験値を良好に表す． $V_s=0.34$ (m/s)から  $V_s=0.67$ (m/s)に増大することによって， $\alpha$ は  $697$ (W/m<sup>2</sup>K)から  $952$ (W/m<sup>2</sup>K)となり，37%増加する．

また， $V_s$ が増大することで熱交換流体温度は全体的に上昇する．表1から判るように， $V_s=0.43$ (m/s)のときに  $T_{pil}=10.7$ ( )となり，熱交換パイプ内で  $4.8$ ( )の温度上昇があり， $E=10.0$ (kW)となる． $V_s=0.67$ (m/s)のときには  $T_{pil}=11.8$ ( )となり，熱交換パイプ内で  $5.9$ ( )の温度上昇があり， $E=12.3$ (kW)となる．ここで， $V_s=0.43$ (m/s)に比べて  $V_s=0.67$ (m/s)において， $T_{pil}$ が  $1.1$ ( )高くなる原因としては2つ考えられる．1つは， $T_{sw}$ であり， $V_s=0.67$ (m/s)の方が相対的に， $T_{sw}$ が  $0.6$ ( )高いことである．もう1つは上述したように， $V_s$ の増加に伴う下水と熱交換流体との間の伝熱が促進され， $\alpha$ が増加したことである．

#### 5. おわりに

本研究より，下水流速が増大すると採熱量および熱貫流率は増大することが確認されたので，今後はこの定量的評価を行う．

**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第 部，PP.228-229，2001

2) 松間福太郎・福原輝幸：夾雑物付着が下水熱採取に及ぼす影響，土木学会第57回年次学術講演会講演概要集第 部，PP.177-178，2002

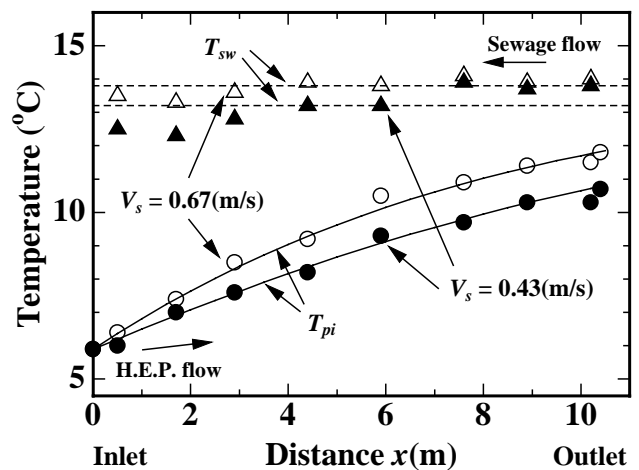


図3：熱交換パイプ内流体および下水流下方向温度分布

表1：採熱試験結果

$V_s$ (m/s)	$T_{pi0}$ ( )	$T_{pil}$ ( )	$T_{sw}$ ( )	$E$ (kW)	$\alpha$ (W/m <sup>2</sup> K)
0.43	5.9	10.7	13.2	10.0	697
0.67	5.9	11.8	13.8	12.3	952