

温度成層型水平貯水槽の熱流動に関する実験的検討

福井大学大学院 学生員 小寺健太郎*

福井大学工学部 正会員 福原輝幸*

1.はじめに

積雪地域における環境問題の中に、融雪のための地下水散水に伴う地盤沈下や地下水汚染が挙げられる。これらの問題を解決するための融雪方法の1つとして、浅層地中熱を利用した温度成層型貯水槽集熱システム¹⁾がある。これは、地盤温度の年間変動が小さいことを利用して、浅層地盤に埋設した貯水槽内の流体を地中熱で加熱し、温められた流体を舗装体内の放熱管へと循環させて、路面融雪や凍結防止を行うものである。その融雪性能評価は現在、兵庫県美方郡村岡町の国道9号線沿いにある、道の駅「ハチ北」で行われている¹⁾。性能向上のための要素の1つとして、このシステムのより経済的な運転管理が挙げられる。そのためには、数値計算シミュレーションによる検討が必要となる。

本研究では、地中に埋設された水平貯水槽内流体の熱解析に必要なデータの収集を目的とし、貯水槽内の熱移動特性を調べる。

2.貯水槽内流体温度成層化実験

Fig.1は実験装置の概念図である。模型貯水槽は長さ100cm、内径18cm、厚さ1cmの亚克力製円筒カラムである。貯水槽入口には、流体の流入による乱れを防ぐための整流格子を取り付ける。また、貯水槽水温計測のために、軸方向には貯水槽入口付近($x/L=0.17$, x :流入端からの軸方向距離, L :貯水槽内の長さ)、中間($x/L=0.5$)、出口付近($x/L=0.83$)の3ヶ所を選ぶ。さらに、これらの地点での鉛直断面内水温分布を得るために、鉛直方向5ヶ所($z/H=0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9$, z :貯水槽底部からの鉛直上向き距離, H :貯水槽内径)、水平方向4ヶ所($r/R=0, 0.25, 0.5, 0.75$, r :貯水槽断面中央からの水平距離, R :貯水槽半径)に熱電対を取り付ける。

実験は「ハチ北」におけるシステム稼動前の貯水槽周辺地盤温度を参考にして、15℃一定の恒温室内で行

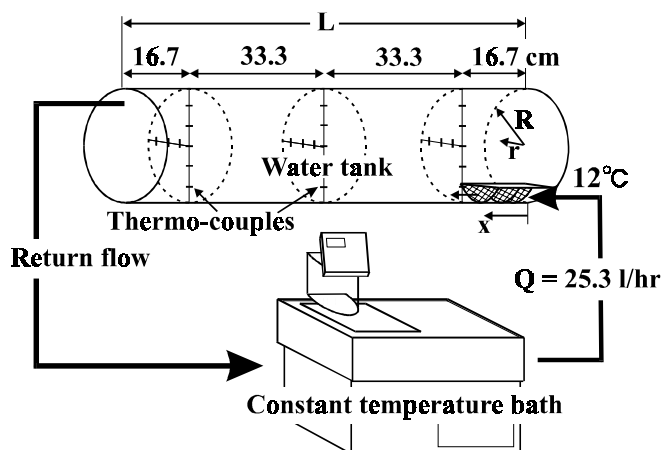


Fig.1 実験装置概念図

われる。実験条件は、道の駅「ハチ北」の入口リチャードソン数を基にして定められる。

入口リチャードソン数は

次式で表される。

$$R_i = \frac{u^2}{d_0 g (\Delta \rho / \rho_0)}$$

R_i : 入口リチャードソン数

u : 流入水の流速(m/s)

d_0 : 流入管の内径(m)

ρ_0 : 初期貯水槽内水温に対する密度(kg/m³)

ρ_{in} : 流入水温に対する密度(kg/m³)

g : 重力加速度(m/s²)

$\Delta \rho$: $|\rho_0 - \rho_{in}|$

結果、本実験では冷水流体の温度を12℃および循環流量 Q を25.3 l/hrとする。

恒温室内に設置された貯水槽内水温が15℃一定であることを確認した後、12℃の流体(水)が恒温水槽から貯水槽下部へ送られると同時に、戻りの流れとして貯水槽内の流体が貯水槽上部から恒温水槽に向う。こうして実験は170分間、すなわち流体が1循環に要する時間(60min)の2.8倍まで続けられる。

温度計測は上述した貯水槽内水温に加え、貯水槽出入口水温および貯水槽上部・側部・下部の空気温度も熱電対により連続的に計測される。また、適時サーモグラフィーを用いて貯水槽内の水温分布を貯水槽側面から撮影

キーワード：温度成層化、水平貯水槽、可視化、熱流動、地中熱

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

福井大学 工学部 建築建設工学科 環境水理研究室

し、貯水槽内の温度成層化を可視化する。

Table1 は実験条件の要約である。

3.実験結果

Fig.2 は貯水槽中間 ($x/L=0.5$) の断面における水平方向水温の経時変化を表す。同一高さ ($z/H=0.5$) では、実験開始後 30 分から 80 分の間の、水温低下の挙動に及ぼす r/R の影響は無い事が判る。

Fig.3 は Fig.2 と同位置での水平方向水温分布を、時間ごとに示したものである。 $r/R \leq 0.5$ において水温は一樣である。貯水槽外部に最も近い位置、 $r/R=0.75$ での水温が他の位置のそれに比べて $0.1 \sim 0.3^\circ\text{C}$ 程度高いことが判る。これは、貯水槽周辺空気との熱交換により、貯水槽内が温められるためと考えられる。

Photo.1 は、サーモグラフィーで撮影した実験開始 40 分後における貯水槽内の水温分布である。点線で囲まれた領域が模型貯水槽であり、淡色部分が向って右側下部の入口から流入した低温水(冷水塊)を示している。冷水塊の温度境界面は、実験初期より貯水槽底部に対して水平を保ち、温度成層の様子は貯水槽全域にわたり一樣である。

Fig.4 は、貯水槽内軸方向水温の経時変化を示したものである。流入初期、底面付近 ($z/H=0.1$) の水温には x/L の違いによる温度差が見られる。しかし、時間の経過および z/H の増大とともに、水温は x/L の依存性が小さくなり、 z/H で規定されることが知れる。これは、Photo.1 から判断される結果と矛盾しない。

4.おわりに

低温水の下部流入に伴う、一樣水温を有する貯水槽内の熱流動を実験的に調べた。その結果、「ハチ北」の貯水槽集熱システムと同じ入口リチャードソン数で、低温水が一樣な水温を有する貯水槽の下部へ流入する時、マクロ的には貯水槽の軸方向および水平方向の水温勾配は無視でき、冷水域は鉛直 1 次元的に拡大するとみなせる。今後は、今回の結果を基にして実用的な計算モデルの構築とその検証を行う。

参考文献

1) 福原輝幸・坂本信弘・石野圭史郎：地中熱利用による道の駅「ハチ北」の路面温度制御システム，水工学論文集第 44 巻，pp.235-240，2000。

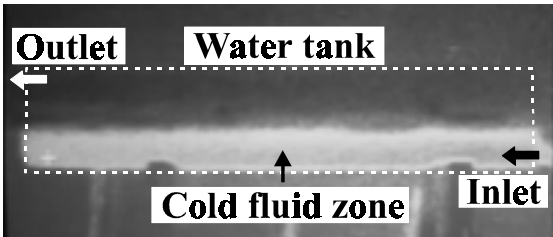


Photo.1 サーモグラフィーによる貯水槽内水温状況 (実験開始 40 分後)

Table1 実験条件

空気温度	流入水温	流量	入口リチャードソン数
15($^\circ\text{C}$)	12($^\circ\text{C}$)	25.3(l/hr)	3280

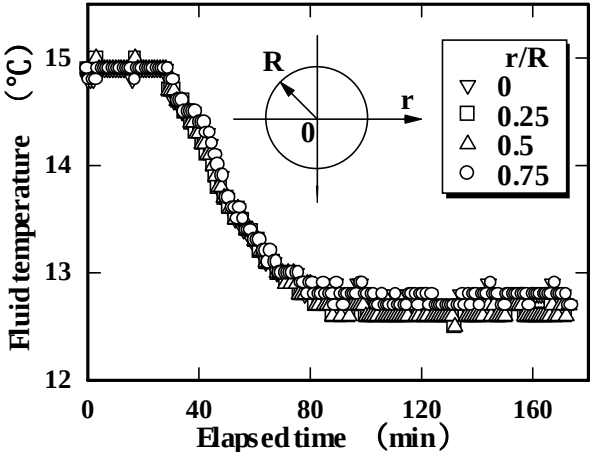


Fig.2 水平方向水温時系列

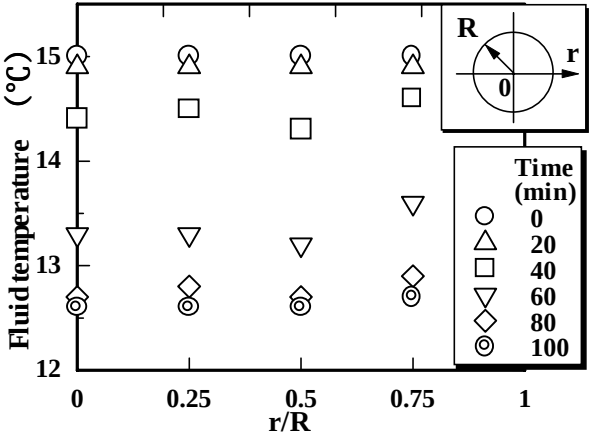


Fig.3 各時間における水平方向水温分布

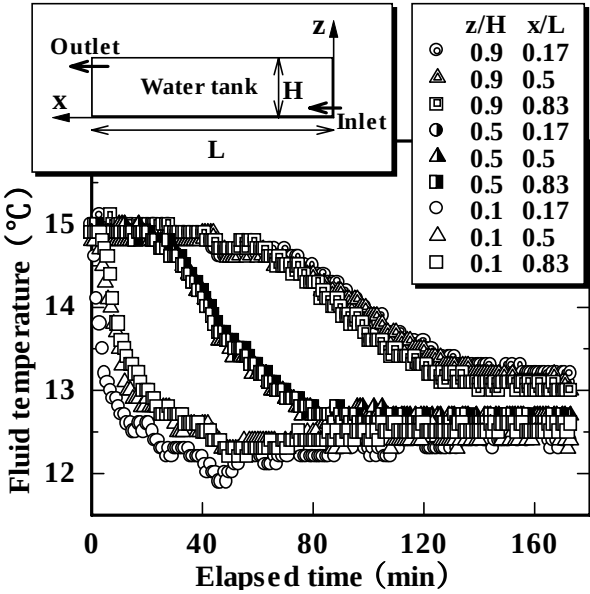


Fig.4 軸方向水温時系列