

福井大学大学院 学生員 ○松村量行

福井大学工学部 正会員 福原輝幸

福井大学大学院 学生員 渡邊 洋

1.はじめに 現在、我が国は6%の二酸化炭素排出削減に向けて、具体的なエネルギー施策を講じなければならない時期に来ている。筆者等は、寒冷地における環境に配慮した克雪・利雪の観点から、冬期でも安定した熱源である地中熱に着目し、その季節的な温度差利用や蓄熱システムの開発に取り組んでいる^{1),2)}。関西地域では、阪神大震災以降、防災を目的とした貯水槽が普及しつつあるが、この貯水槽は寒冷地において、道路融雪(ロードヒーティング)のための熱供給源としても有効利用できる³⁾。しかしながら、貯水槽の熱貯蔵・熱交換性能を評価するには、貯水槽と周辺地盤との間の熱移動特性の解明が不可欠となる。

そこで、本論では、地下貯水槽下部に冷水が連続的に供給される条件下での、貯水槽水温分布の形成プロセスおよび貯水槽の周辺地盤からの採熱特性について検討する。

2.地下貯水槽熱貯蔵システムおよび採熱試験

2.1 地下貯水槽熱貯蔵システム Fig.1 は福井大学構内に設置された本システムの概要を示す。システムは地下貯水槽(以下、貯水槽と呼称)および無散水舗装(以下、無散水舗装体と呼称)から成る。埋設された貯水槽は内径2.2m、高さ2.2m、厚さ0.2mのPC製ヒューム管であり、底部基礎コンクリートには貯水槽と周辺地盤との間の熱交換を促進させるために、10本の金属板(長さ約1m)が打ち込まれる。貯水槽の土被り厚は2mであり、地表面下0.5mには遮水用のビニールシートが敷設される。また、無散水舗装体は2m×2m×0.12mのコンクリート製であり、内部には循環パイプ(内径:13mm)が多重平行流型に埋設される。その配管ピッチは0.1m、被り厚は0.03mである。なお、計測方法やデータ収集に関する詳細は参考文献2)を参照されたい。

2.2 貯水槽と地盤との間の熱伝達特性 Fig.1 に従えば、夏期には路温よりも温度の低い冷水が、貯水槽下部から無散水舗装体へ供給され、路温上昇を緩和する。循環水は、無散水舗装体を通して間に温度上昇し、再び貯水槽上部へ戻る。そして、水温が地温より高い場合には、貯水槽から周辺地盤へ向かって熱移動が生じ、周辺地盤に熱エネルギーが貯蔵される。一方、冬期には貯水槽と周辺地盤に蓄えられた熱エネルギーによって、路温よりも温度の高い温水が、貯水槽上部から無散水舗装体へ供給され、路温低下を抑制する。

2.3 採熱試験 実験は1995年5月30日午前3時30分から6月4日午後12時まで行われた。無散水舗装体に載せた氷塊のために、路面温度は低下し、2.2で述べた冬期運転となる。循環流量 Q は2.0[l/min]であり、約63時間で貯水槽内の水は入れ替わることになる。

3.熱貯蔵特性 Fig.2 は $r/R=0.27$ (r :貯水槽中心からの半径方向距離、 R :貯水槽半径(=1.1m))における、地表面からの鉛直下向き深さ z ごとの貯水槽水温 T_w 、周辺地温 T_g および貯水槽流入水温 T_i の経時変化を示す。図中の↑は実験開始時刻 $t=0$ hrを表す。 T_i は気象変化の影響を受けて、日周期的に変化する。

貯水槽底部 $z=4$ mの T_w は、低温水流入の影響を受けて、流入開始後短時間で低下するが、貯水槽上部 $z=2.25$ mの T_w は約 $t=33$ hrから徐々に低下し始める。

Fig.3 は、 r/R ごとの T_w および T_g の鉛直分布、 T_i および貯水槽流出水温 T_o をそれぞれ、(a)実験開始時 $t=0$ hr、(b)24時間後 $t=24$ hrおよび(c)120時間後 $t=120$ hrについて示したものである。図中 $z=2.1\sim4.1$ mが貯水槽

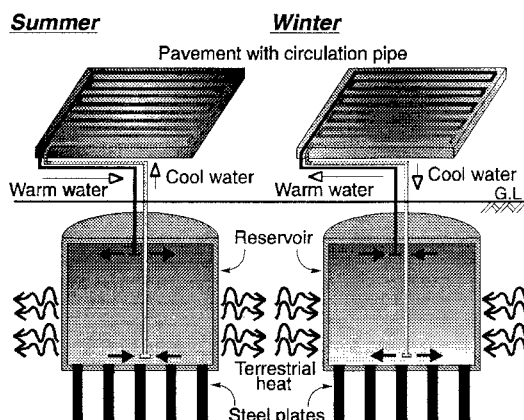


Fig.1 地下貯水槽熱貯蔵方式における熱移動概念図

の範囲である。なお、(b)には実験開始からの積算流入水深さ $z_i=3.34\text{m}$ を波線で示す。

まず、 $r/R=0.27$ および 0.91 の水温分布から判るように、貯水槽は水平 2 次元の温度成層状態にある。

$t=0\text{hr}$ の T_w は、全域で一様である。 $t=24\text{hr}$ において、貯水槽上部 $z=2.1\sim 3\text{m}$ くらいまでの T_w は、ほぼ一様であるのに対して、 $z=3\sim 4.0\text{m}$ くらいの T_w は、底部に向かって低下するような直線分布である。また、 $z_i=3.34\text{m}$ 付近において、冷水域と温水域との間に明確な温度界面は生じていないように思われる。 $t=120\text{hr}$ になると、槽全体にわたり T_w の鉛直方向勾配が負となり、槽全体で温度低下が進行している。

次に、 T_g は $t=0\text{hr}$ において貯水槽壁に近いほど高くなる。これは実験開始以前の、夏期運転 (Fig.1 の左側を参照) による T_w の上昇に起因して、貯水槽から周辺地盤への熱移動が生じたからである。 $t=120\text{hr}$ では、貯水槽壁近傍 ($r/R=1.24$) の $z=2\sim 4\text{m}$ の範囲内において、 T_w の低下に伴う T_g の減少が認められ、貯水槽と地盤との間の熱的相互作用が理解できる。

Fig.4 は、実験開始から 1 日単位の熱エネルギー収支の時間的変化を示す。 T_o 、 T_i および Q より、1 日の流出熱エネルギー (E_o) および流入熱エネルギー (E_i) が求まる。両者の差 ($E_o - E_i$) として、貯水槽から舗装体へ供給される熱エネルギー (E_{oi}) が算出される。貯水槽内部熱エネルギーの日変化量 (E_r) は、貯水槽水温の時間変化から算出される ($E_r < 0$: 水温低下、 $E_r > 0$: 水温上昇を意味する)。よって、貯水槽と地盤との間を移動する熱エネルギー (E_s) は ($E_{oi} - E_r$) により求まる。このとき、 $E_s > 0$ は貯水槽から地盤への熱移動を、 $E_s < 0$ はその逆を表す。なお、図中の () は、 E_s の全熱エネルギー収支に対する百分率 (換言すれば E_s の貢献率) ($|E_s| / (|E_s| + |E_{oi}| + |E_r|) \times 100(\%)$) を示す。実験初期において E_s が正である原因は、実験以前の夏期運転にあると考えられる。しかし、24 時間以降 E_s は負となる。 E_s の貢献率は、時間と共に約 10 から 30% へ増大し、貯水槽を横切る熱移動は無視できないと判断できる。

4. おわりに 採熱試験の結果から、地下貯水槽内および周辺地盤における熱的特性について検討を行った。今後は、熱貯蔵の季節変化特性の解明を、実験的および理論的に行う。最後に本研究は、(社)近畿建設協会の研究助成を受けたことを記し、感謝の意を表す。

参考文献 1) 森山・林・福原・渡邊: 掘削杭熱交換方式による地熱利用と路面融雪システム, 土木学会第 50 回年次学術講演会, 1995、2) 渡邊・福原・黒田・川崎: 貯水槽季節蓄熱方式による路面温度制御—第一報—, 土木学会第 50 回年次学術講演会, 1995、3) 川崎・山下・福原: 季節蓄熱方式による八井谷チューン着脱場の無散水融雪システム, 土木学会第 52 回年次学術講演会, 1997

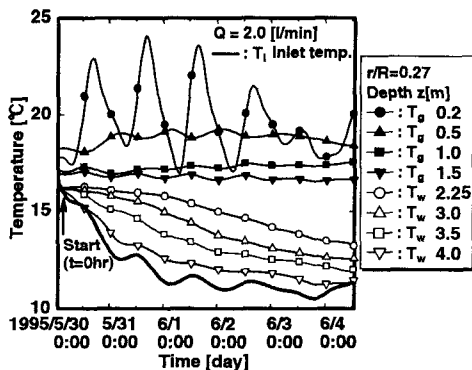


Fig.2 貯水槽水温および貯水槽上部地温の経時変化

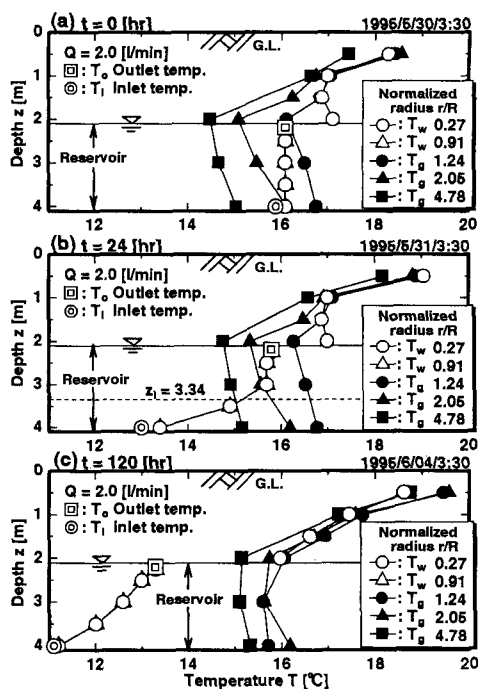


Fig.3 貯水槽水温および周辺地温の鉛直分布

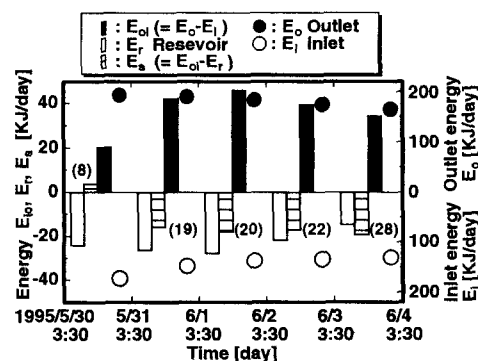


Fig.4 一日単位の熱エネルギー収支の時間的変化