

密度成層条件がソーラーポンドの蓄熱特性に与える影響について

東京電機大学大学院 学生員 山内敏和
 東京電機大学理工学部 正会員 有田正光
 東京電機大学理工学部 正会員 中井正則
 東京電機大学大学院 学生員 出口義昭

1. はじめに

太陽エネルギーを利用した技術の一つに、ソーラーポンドと呼ばれる貯水池がある。これは、池内水に塩化ナトリウムなどの無機塩類を溶解させて底層水の密度を大きくすることにより、夜間の放射冷却に伴う熱対流を抑制し、底層に太陽熱を貯蓄することを目的とした貯水池である。

本研究は、屋外的大型水槽を用いて密度成層条件がソーラーポンドの蓄熱特性に与える影響について、実験的に考察したものである。

2. 実験装置と実験方法

実験には、図-1に示すような縦 5.5m × 横 4.5m × 高さ 1.75m のコンクリート製水槽(水槽Ⅰ)を使用し、同水槽内に密度成層を作成してソーラーポンドとした。なお、水槽の上側に透明屋根を取り付けて雨水の流入を防いだ(ただし、水槽と屋根の間に隙間があり、風は完全には遮断されていない)。また、水槽Ⅰの蓄熱効果を評価するために、断熱を施した直径 1.05m × 高さ 1.25m の塩化ビニル製水槽(水槽Ⅱ)に淡水を貯水して放置した。

全水深は、水槽Ⅰ、Ⅱともに 120cm とした。水槽Ⅰの密度成層は図-2に示すように、淡水層(第Ⅰ層)、中間層(第Ⅱ層)、塩水層(第Ⅲ層)の 3 層系であり、表-1に示す条件で作製した(ケース 1 は昨年の結果¹⁾を引用している)。ここに、 h_1 、 h_2 、 h_3 は第Ⅰ～Ⅲ層の厚さ、 C は第Ⅲ層の塩分濃度である。

ケース 1～3 の実験において、成層状態を一定に保った場合の長期にわたる水温・蓄熱量の経時変化を調べ、第Ⅲ層の塩分濃度 $C(=1, 3\%)$ と第Ⅱ層の厚さ $h_2(=5, 30\text{cm})$ に対する蓄熱量の変化を検討した。水温の測定にはサーミスタ型温度計を使用し、両水槽のほぼ中央で 10cm 間隔の水温鉛直分布を 10 分ごとに取得した。

3. 実験結果

以下で実験結果について述べる。なお、水槽Ⅰの第Ⅰ層平均水温、第Ⅲ層平均水温、水槽Ⅱの平均水温(ともに水深平均値)、および気温をそれぞれ T_1 、 T_3 、 T_0 、 T_a とし、さらに第Ⅲ層と第Ⅰ層の水温差および第Ⅲ層と水槽Ⅱの水温差をそれぞれ $\Delta T(=T_3 - T_1)$ 、 $\Delta T'(=T_3 - T_0)$ とした。

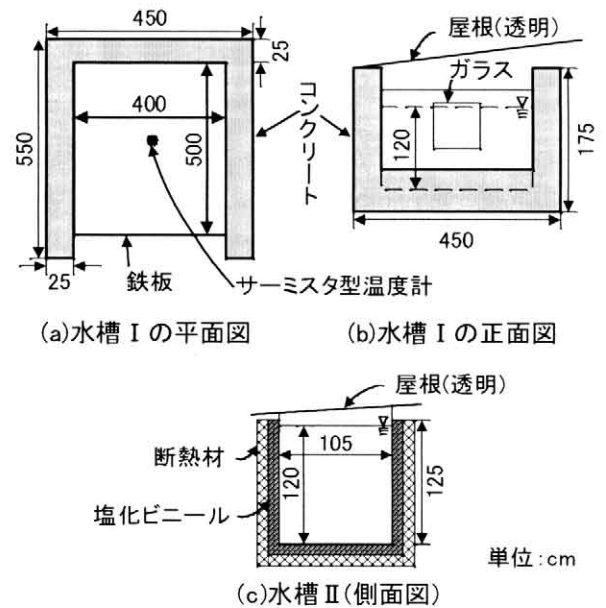


図-1 実験装置

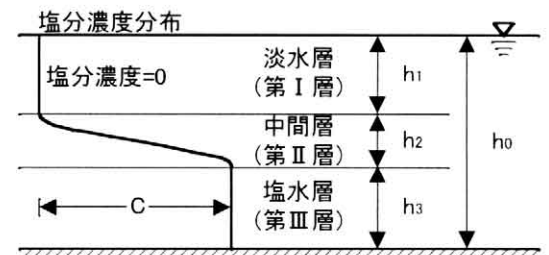


図-2 密度成層(水槽Ⅰ)

表-1 実験ケース一覧

ケース	実験実施期間	$h_1(\text{cm})$	$h_2(\text{cm})$	$h_3(\text{cm})$	$h_0(\text{cm})$	$C(\%)$
1	98'11.3 ~ 12.22	57.5	5.0	57.5	120	1.0
2	99'4.9 ~ 4.24	57.5	5.0	57.5	120	3.0
3	99'9.11 ~ 12.31	45.0	30.0	45.0	120	3.0

Key words : Solar pond, Heat accumulation, Density stratification in salinity, Field experiment

図-3はケース1における14時の ΔT 、 $\Delta T'$ の時系列を示したものである。同図から、 ΔT 、 $\Delta T'$ はともに成層作成後12日目で3.8℃に達して以降、平均して3℃程度を保っていることがわかる。これは、ソーラーポンドは冬季の不利な気象条件下においても一定の機能を果たすことを意味している。

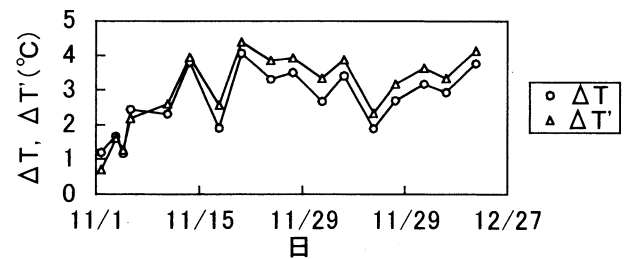


図-3 ケース1の ΔT 、 $\Delta T'$ の時系列

図-4はケース2における14時の ΔT 、 $\Delta T'$ の時系列を示したものである。同図のように、 $\Delta T \approx 0^\circ\text{C}$ 、 $\Delta T' \approx 0^\circ\text{C}$ であり、ソーラーポンドとして全く機能していない。

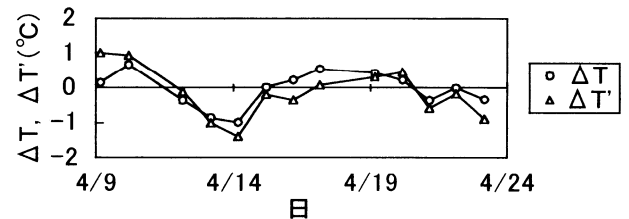


図-4 ケース2の ΔT 、 $\Delta T'$ の時系列

図-5はケース3における14時の ΔT 、 $\Delta T'$ の時系列を示したものである。同図よりわかるように、 ΔT 、 $\Delta T'$ はともに成層作成後23日目で5.5℃に達して以降、平均して5.0℃程度を保っている。

4. 考察

各ケースの蓄熱特性を比較するために、実験開始から15、30、50日後の ΔT 、第III層の蓄熱量 ΔQ を求めた。その結果を表-2に示す。ここに、 ΔQ は $\Delta Q = \rho_3 C_3 V_3 \Delta T$ で定義されている(ρ_3 、 C_3 、 V_3 はそれぞれ第III層の密度、比熱、体積である)。ケース2では蓄熱が全く生じていないが、これは第II層の密度勾配が大きいために、第II層で太陽放射(短波放射)が反射してしまい、第III層に入射する放射熱量が減少したためと考えられる。一方、ケース1、3では ΔT 、 ΔQ が一定の値を示しており、ソーラーポンドとして機能していることがわかる。

表-2 ケース1～3の蓄熱特性の比較

ケース	15日後		30日後		50日後	
	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$	$\Delta Q(\text{MJ})$	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$	$\Delta Q(\text{MJ})$	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$	$\Delta Q(\text{MJ})$
8	1.77	89.2	2.45	123.77	3.45	174.32
9	-0.12	-5.97	—	—	—	—
10	3.12	184.06	4.72	258.73	3.96	208.90

以上より、塩分濃度差の小さいシャープな成層や塩分濃度差の大きい緩やかな成層、つまり、第II層の密度勾配の小さいケースでは一定の蓄熱が期待でき、逆に、第II層の密度勾配が大きいケースでは蓄熱は殆ど無理であることが明らかになった。

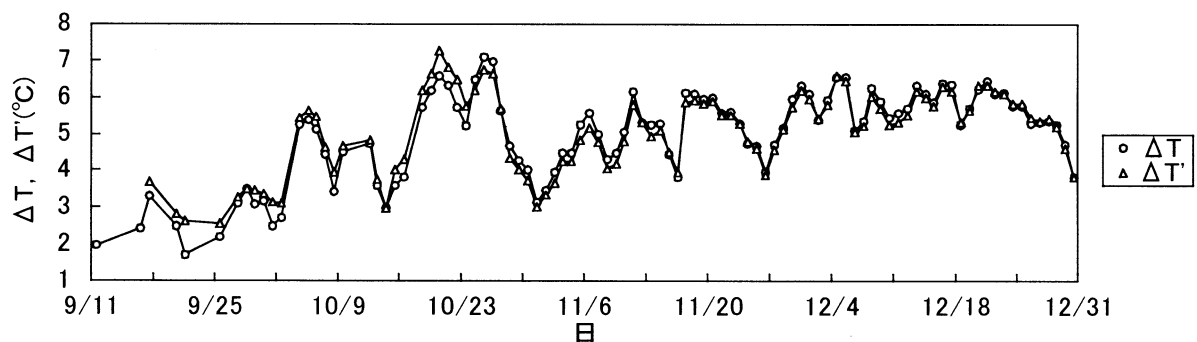


図-5 ケース3の ΔT 、 $\Delta T'$ の時系列

5. まとめ

本研究では、密度成層条件がソーラーポンドの蓄熱特性に与える影響を野外実験により検討した。その結果、鉛直密度勾配がソーラーポンドの蓄熱特性に大きな影響を与えることが明らかになった。今後は、蓄熱量の増加を目的とした研究を目指す予定である。

参考文献

1) 出口、梅基、有田、中井：ソーラーポンドの蓄熱特性に関する野外実験、土木学会第54回年次学術講演会講演概要集第7部、pp.240-241、1999。