

ローコスト型低水位温度成層型蓄熱槽の開発

関根賢太郎・高橋淳一^{*1}・坪田祐二^{*2}・岡本泰英^{*2}・小嶋雅広^{*3}

Keywords: stratification thermal storage tank, low water level, low cost, efficiency of thermal storage tank

温度成層型蓄熱槽, 低水位, ローコスト, 蓄熱槽効率

1. 序

地下二重スラブを利用した水位約 2m 程度と比較的浅い蓄熱槽は, 基本的に完全連結混合槽として利用されることがほとんどである。しかし, さらなる省エネルギーへの取り組みを理由に, このような水位の低い蓄熱槽においてもディストリビュータ(水分配器)などを用いることにより, 温度成層型蓄熱槽として利用する研究が行われ, 実物件にも適用されている。当社は, 九州支店において水位約 2m の蓄熱槽の各槽(全 6 槽)に円盤状のディストリビュータを設置し, 蓄熱槽効率が 80%近い温度成層型蓄熱槽を実現させた。

しかし, 各槽にディストリビュータを設置するコストがかかり, 一般的に普及する技術として確立するためには, コストダウンが不可欠である。そこでディストリビュータの数を減らし, 全槽に設置した場合と比較して大幅な蓄熱槽効率の低下をまねくことなく温度成層型蓄熱槽を実現することが可能かを模型実験により確認した。

2. 実験概要

2.1 実験装置概要

実験は, 東京電力(株)技術開発センター内の蓄熱槽実験装置を用いて行い, ディストリビュータを設置した槽と設置しない隣接槽との槽間に連通管を設け, 対象範囲の温度成層化について確認を行った。図-1 に蓄熱槽実験装置, 写真-1 に実験装置を示す。

実験装置は, 3,280L × 2,200W × 1,680H の水槽で, 内部に 7 枚の仕切り板を設置することが可能で, 実験条件により大きさを変化させることができる。また, 水槽への水の入力および出力は A から G までの 7 つのヘッダにより任意に選択が可能である。実験可能水位は, 1,000mm である。

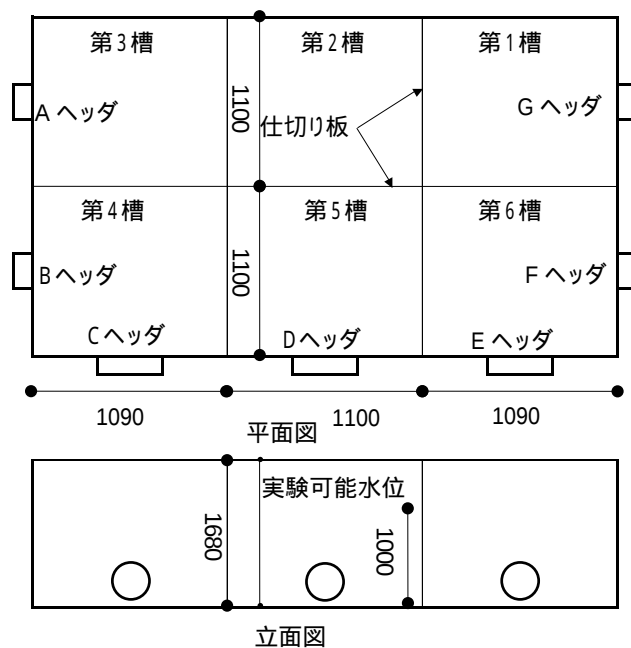


図-1 蓄熱槽実験装置

Experiment equipment



写真-1 蓄熱槽実験装置

Experiment equipment

*1 広島支店設計部

*2 東京電力(株)

*3 東電設計(株)

2.2 モデルの設定

蓄熱槽の大きさは、一般的な建物の地下二重スラブを用いたと仮定し、実物大で 6000L × 4000W × 水深 1500H を想定し、その 1/3 モデルとした(2000L × 1000W × 水深 500H)。

図-2 にディストリビュータ形状を示す。形状は、九州支店で用いた円盤型とし、実物大(900φ : 吹出口幅 50mm)の 1/3 スケールとして、300φ(吹出口幅 17mm)とした。

図-3 にディストリビュータ設置槽と隣接槽との関係を示す。槽の連結方向は、実際に想定される長辺方向および短辺方向を隣接させた場合の 2 通りの形状とした。

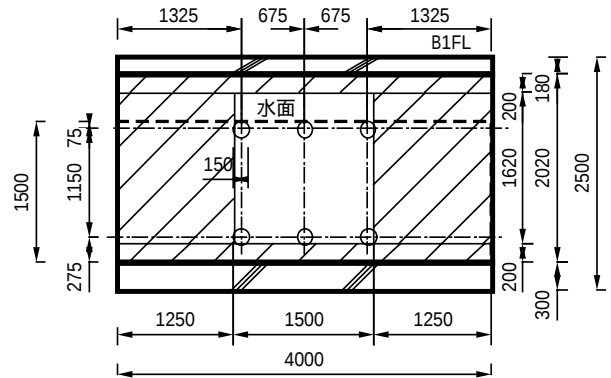
表-1 に槽間の連通管パターンを示す。連通管径と貫通孔間隔などは、当社の梁貫通孔の可能範囲とした。図-4 ~ 6 に連通管パターン C の場合の連通管位置を示す。図-4 に示すように、梁上下は 200mm、梁端部は梁成の 1/2 部分は貫通不可とし、連通管間隔は径の 4 倍以上とした。

表-1 連通管パターン

Joint pipe pattern

パターン	連通管径		設置位置
	実物	模型	
パターンA	600φ	200φ	中央×1(2)
パターンB	300φ	100φ	上下×2(4)
パターンC	150φ	50φ	上下×3(6)

()内の数字は槽パターン2の個数



斜線部分は貫通孔不可部分

図-4 連通管の設定(槽パターン1: 実物大)

Establishment joint pipe(real)

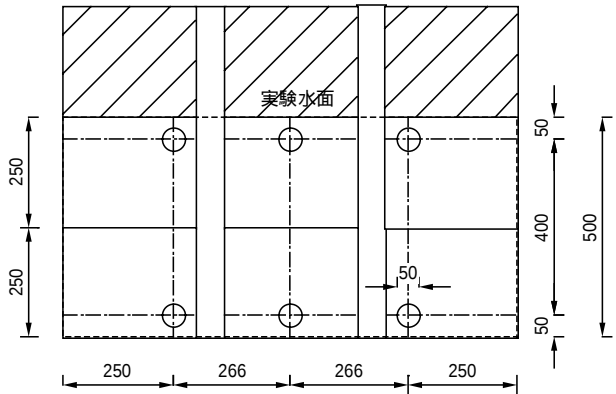


図-5 連通管の設定(槽パターン1: 模型)

Establishment joint pipe(model)

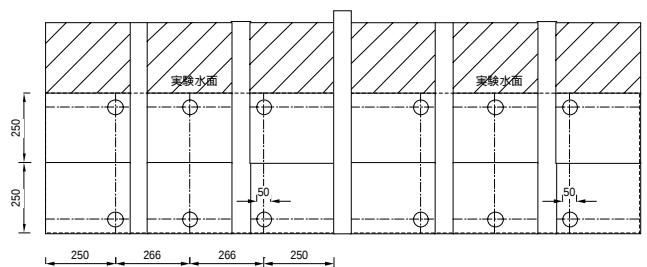


図-6 連通管の設定(槽パターン2: 模型)

Establishment joint pipe(model)

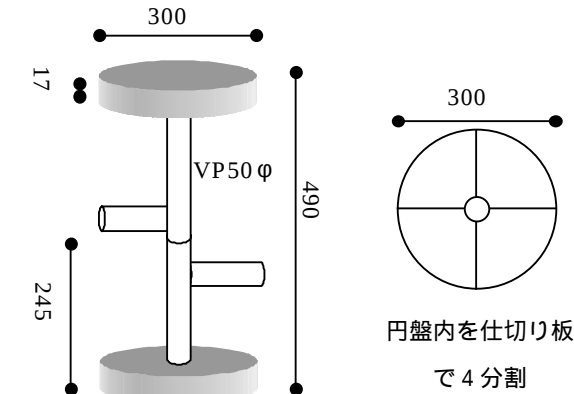
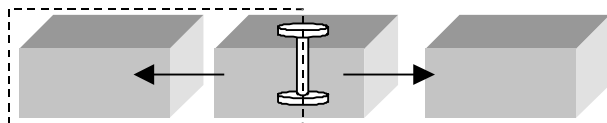
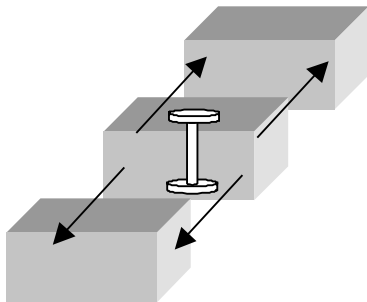


図-2 ディストリビュータ形状

Distributor



短辺方向合せ(槽パターン1)



長辺方向合せ(槽パターン2)

図-3 ディストリビュータ設置槽と隣接槽の関係

Arrangement thermal storage model

2.3 計測方法

計測は、T 型熱電対により槽内温度分布、ディストリビュータの吹出・吸込口温度を測定した。図-7, 8 に測定ポイントを示す。

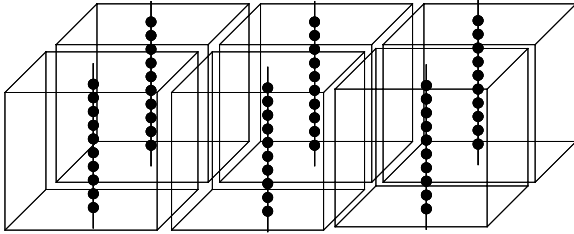


図-7 槽内測定ポイント(各槽中央 10 上下 25mm 中間 50mm)
Measurement point thermal storage tank

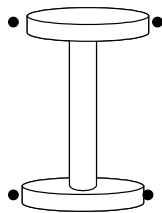


図-8 ディストリビュータ測定ポイント
Measurement point distributor

2.4 実験条件

表-2 に実験パターンを示す。実験は、槽および連通管パターンをパラメータとした。なお槽パターン 1 は、実験装置の制約から図-3 の破線の部分を取り出した形状で実験を行った。また、槽パターン 1, 2 以外に単槽での実験と槽スケールは異なるが、実験装置上最大の連槽である 6 槽の場合の実験も併せて行った。図-9 に実験装置での槽パターンを示す。実験は、想定される実物の流量・利用温度(6-13)から、模型則によりディストリビュータ吹出部の流速を固定し、Ar 数(Fr 数)を一致させることにより、初期水温と流入水温を決定した。なお一部パターンにおいては Fr 数<1 の追加実験も行った。

$$Fr = U / \sqrt{(H \cdot g \cdot \rho / \rho_0)} \quad (1)$$

$$Ar = 1 / (Fr)^2 \quad (2)$$

Fr : フルード数

Ar : アルキメデス数

U : 吹出し口における平均流速[m/s]

H : 吹出し口の代表長さ[m]

G : 重力加速度[m/s²]

ρ : $|\rho_s - \rho_0|$ (3)

ρ_s : 流入水の密度[kg/m³]

ρ_0 : 槽内初期温度での水の密度[kg/m³]

表-2 実験パターン

Experiment pattern

No	槽ﾊﾞﾀｰﾝ	連通管 ﾊﾞﾀｰﾝ	流量	流速	Ar数	Fr数
			[l/min]	[cm/s]		
4	1	C(50φ)	9.2	1.9	0.758	1.148
5	2	A(200φ)	18.4			
6	2	B(100φ)	18.4			
7	2	C(50φ)	18.4			
追-1	6槽	C(50φ)	8.3	1.7	1.009	0.995
追-2	単槽	-	16.7			
追-3	1	C(50φ)	8.3			
追-4	2	C(50φ)	16.7			
初期温度:25.0		流入温度:17.5				

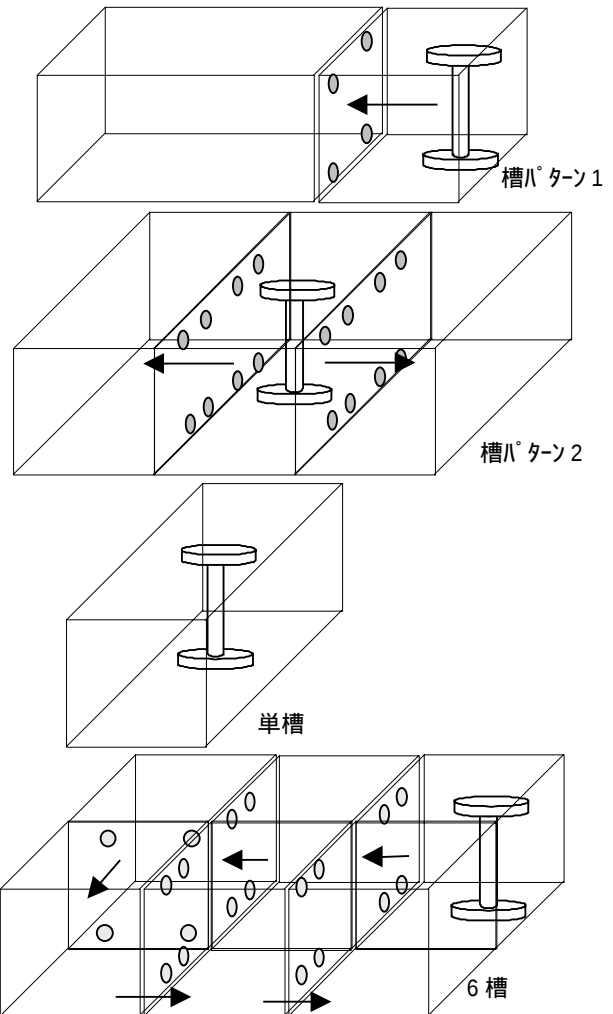


図-9 実験装置での槽パターン
Experiment arrangement

2.5 評価方法

実験結果の評価は、測定温度から蓄熱槽効率を算出して比較した。蓄熱槽効率は、蓄熱槽に『理論的に蓄えられ利用できる熱量』に対する『実際に蓄えられ利用できる実質の熱量』の比である。

$$\eta = (H_{so} / C \rho \cdot V \cdot \theta) \times 100 \quad (4)$$

η : 蓄熱槽効率[%]
 H_{so} : 蓄熱槽に実際に蓄えられ利用できる熱量
 C_p : 水の容積比熱
 V : 蓄熱槽水量
 θ : 二次側利用温度差の設計値

3. 実験結果

表-3 に実験結果から求めた蓄熱槽効率を示す。蓄熱槽効率は、ディストリビュータ設置槽と連通管で連結した隣接槽ごとおよび全槽の平均を求め比較した。

図-10,11 に連通管 200φ を中央に 1 箇所設けた実験 No.5 のディストリビュータ設置槽と隣接槽の温度プロフィールを示す。ディストリビュータの設置された槽は、水面近くまで温度成層し、蓄熱槽効率も 91.7% と高い。しかし、図-11 の温度プロフィールから隣接槽は連通管の上端(水深 350mm) から水面までは温度成層化せず、蓄熱槽効率も約 66 ~ 69% と低く、結果的に全槽平均で 75.4% と低い結果となった。これは、ディストリビュータ設置槽では、水槽下部から温度成層化していき、隣接槽も連通管からの流入により同様に温度成層化していくが、連通管上端より上部は、ディストリビュータ設置槽から隣接槽への流入がなくなるため、温度成層化が抑制されてしまうためである。

図-12,13 に No.6,7 の温度プロフィールを示す。連通管パターンが 50,100φ のパターンにおいては、単槽と比較すると隣接槽で温度プロフィールが若干垂直気味になるが、温度成層は形成されることを確認した。また、ディストリビュータ設置槽と隣接槽の蓄熱槽効率は若干異なるが、全槽平均はほぼ同じであり、連通管パターンの違いは槽パターン 2 では見られなかった。

図-14,15 に No.追-3,追-4 の温度プロフィールを示す。連通管パターンが同じで槽パターンの異なる No.4,7 および No.追-3,追-4 は、長辺方向を合わせた槽パターン 2 の蓄熱槽効率がよく、今回実験に用いた円盤型のディストリビュータでは、より正方形に近い槽形状の方が温度成層化するためには有効であることを確認した。

表-3 実験結果(1)

Experiment effect

実験No.	蓄熱槽効率[%]			
	ディストリビュータ設置槽	隣接槽(1)	隣接槽(2)	全槽
4	88.6	83.2		85.0
5	91.7	65.9	68.6	75.4
6	90.8	85.0	86.1	87.3
7	88.2	86.3	86.7	87.1
追-2	93.2	-	-	-
追-3	89.4	81.4		84.0
追-4	93.3	88.7	90.3	90.8

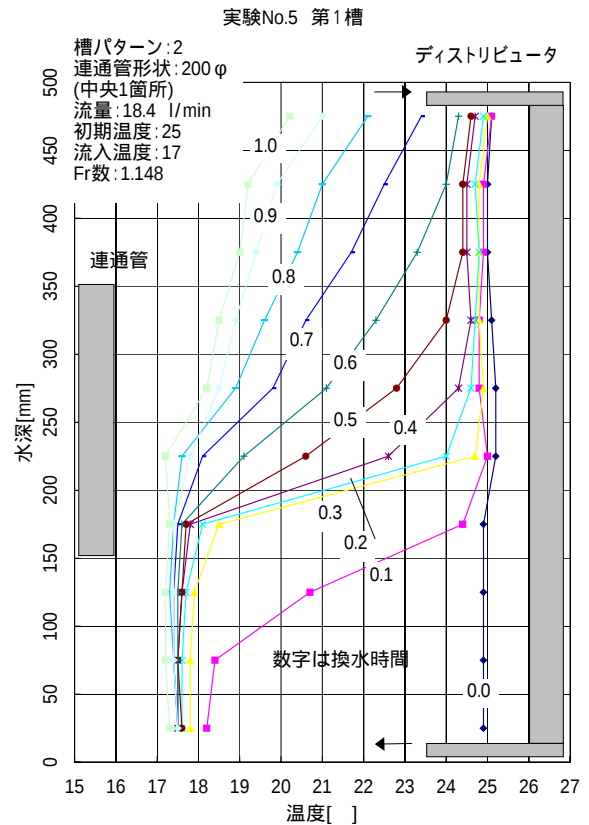


図-10 温度プロフィール(No.5:ディストリビュータ設置槽)
Thermal profile

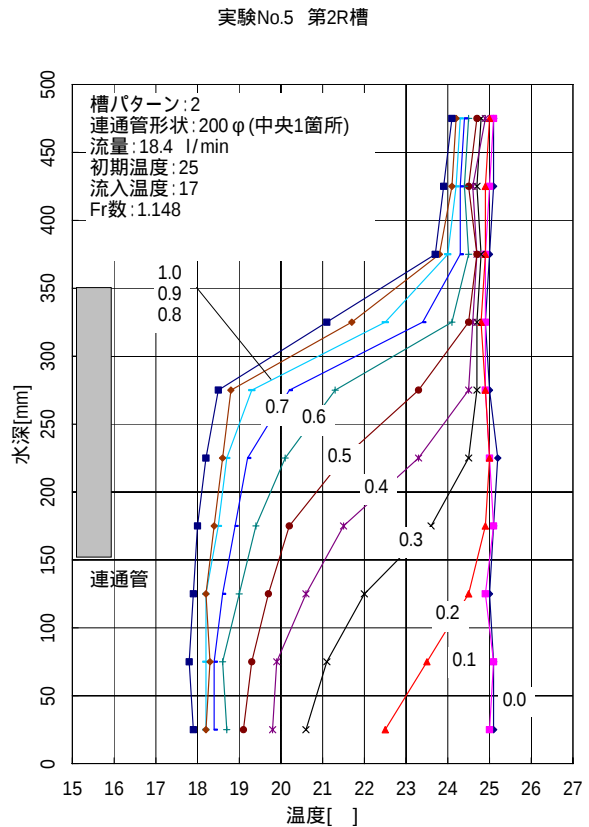


図-11 温度プロフィール(No.5:隣接槽)
Thermal profile

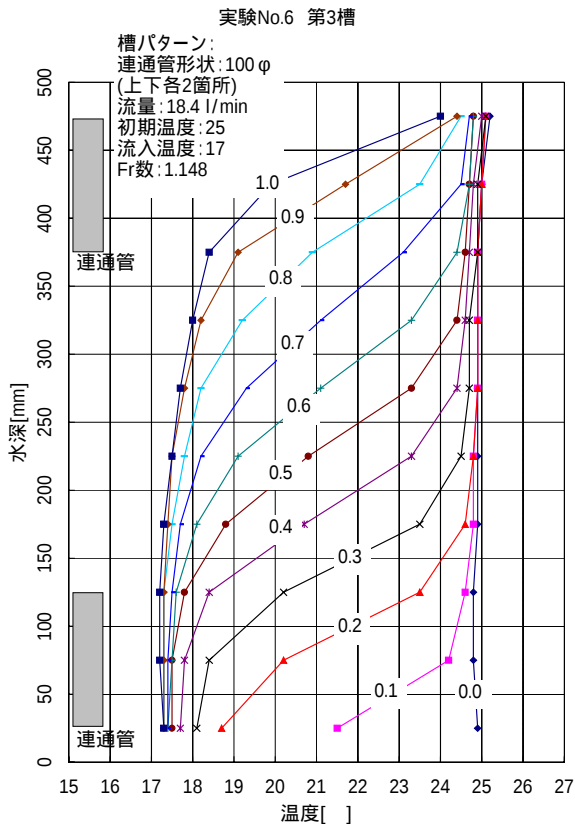


図-12 温度プロフィール(No.6:隣接槽)
 Thermal profile

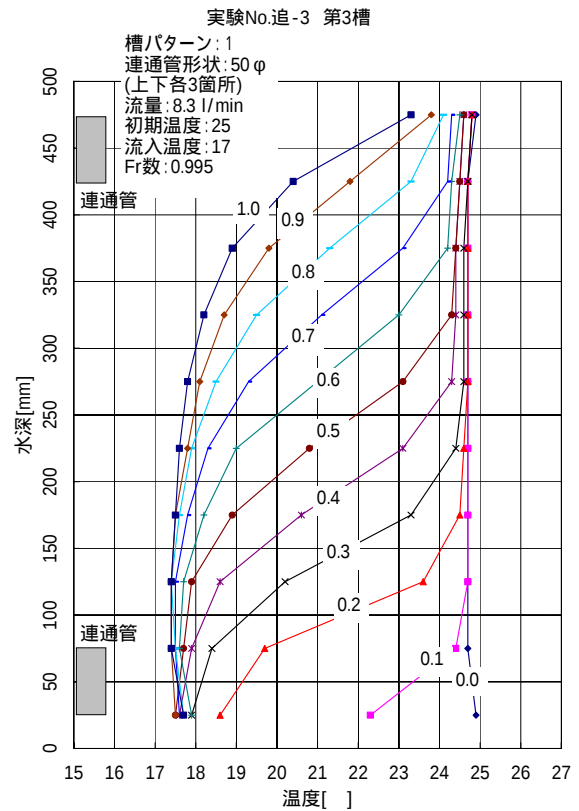


図-14 温度プロフィール(No.追-3:隣接槽)
 Thermal profile

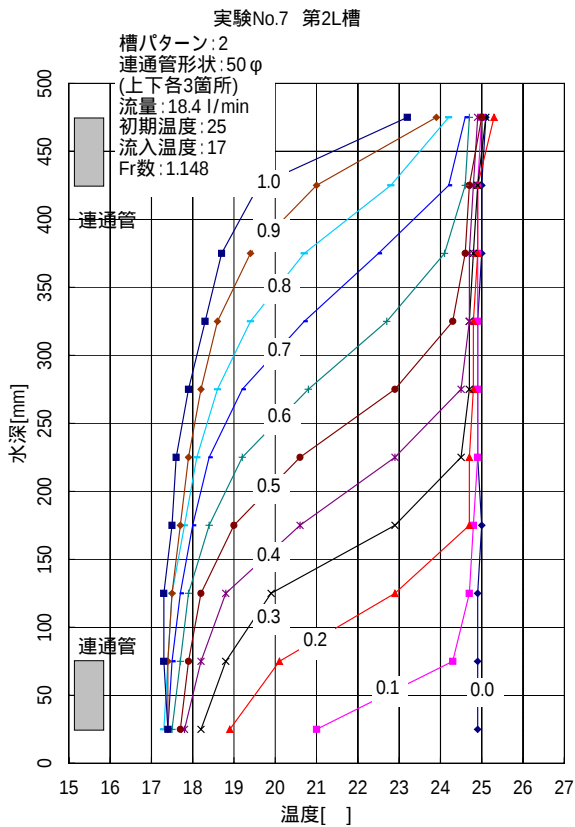


図-13 温度プロフィール(No.7:隣接槽)
 Thermal profile

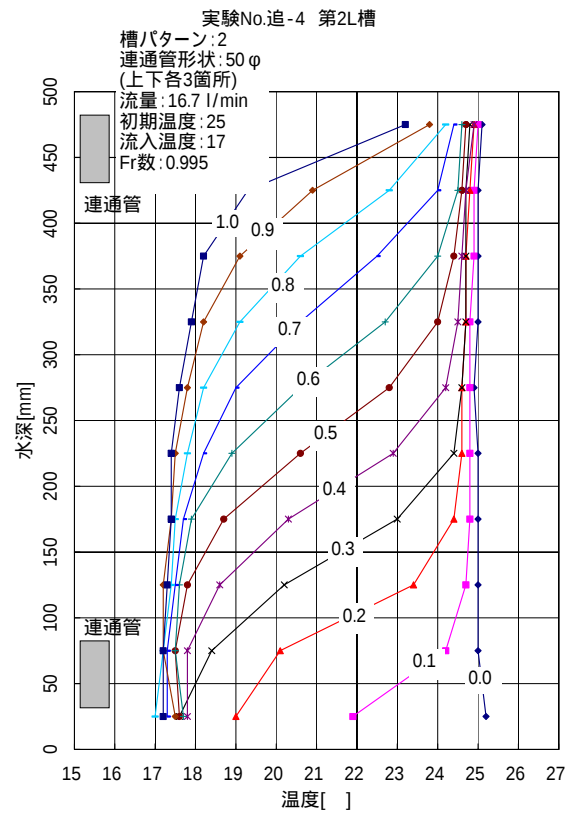


図-15 温度プロフィール(No.追-4:隣接槽)
 Thermal profile

表-4 に蓄熱槽を 6 槽連結させた実験の第 1 槽から各槽までの蓄熱槽効率(平均), 図-16,17 に第 3 槽と第 6 槽の温度プロフィールを示す. 第 6 槽まで温度成層化するが, 単槽での蓄熱槽効率は, 第 5 槽以降 80% 以下となり, 第 6 槽では 77.8%まで下がる. これは, 温度プロフィールが垂直気味になっていることから確認できる. ディストリビュータ設置槽も含めた各槽までの蓄熱槽効率で評価すると, 全槽平均では 85.3%となり, 88%以上の蓄熱槽効率が確保できるのは, 実験条件下では第 4 槽までであった.

表-4 実験結果(2)

Experiment effect

実験No.	ディストリビュータ 設置槽	蓄熱槽効率 [%]				
		1~2槽	1~3槽	1~4槽	1~5槽	全 槽
追-1	95.7	92.0	89.8	88.2	86.8	85.3

4. まとめ

- 槽間に連通管を設けることにより, ディストリビュータ設置槽の隣接槽も温度成層化する.
- 連通管は上下に配置し, 極力水面および底面近くに設けることが隣接槽を温度成層させることに有効である.
- 槽配置は, 実験に用いた円盤型のディストリビュータでは槽長辺方向を隣接させる方が蓄熱槽効率は良い.
- Fr 数 < 1 の実験で単槽と比較すると, 槽長辺方向の連槽での全槽平均の蓄熱槽効率低下は約 3% である.
- 6 槽を連続させた場合, 今回の実験条件下では, 槽平均の蓄熱槽効率 88%以上を目標とすると4槽まで 1 つのディストリビュータで負担させることが可能である.
- 全槽へディストリビュータを設置する場合と比較するとディストリビュータのサイズアップによるコストアップは考えられるが, 個数, 人工などのコストダウンが図れる.

参考文献

- 高橋淳一・大野 茂: 大成建設九州支店ビルの複合熱源システムと温度成層型蓄熱槽, 空気調和・衛生工学会, 第 68 巻, 第 12 号(1994-12), p.p63 ~ 76
- 関根賢太郎・高橋淳一・坪田祐二・岡本泰英・小嶋雅広: ローコスト型低水位温度成層型蓄熱槽の開発, 平成 14 年度空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集.
- 空気調和・衛生工学会編: 蓄熱式空調システム基礎と応用, p.p205 ~ 210

謝辞 実験に際し, 多大なご協力を頂きました関係者の方々に感謝の意を表します.

なお, この技術は平成 13 年 2 月 19 日付けで特許申請(特願 2001-41787)済みである.

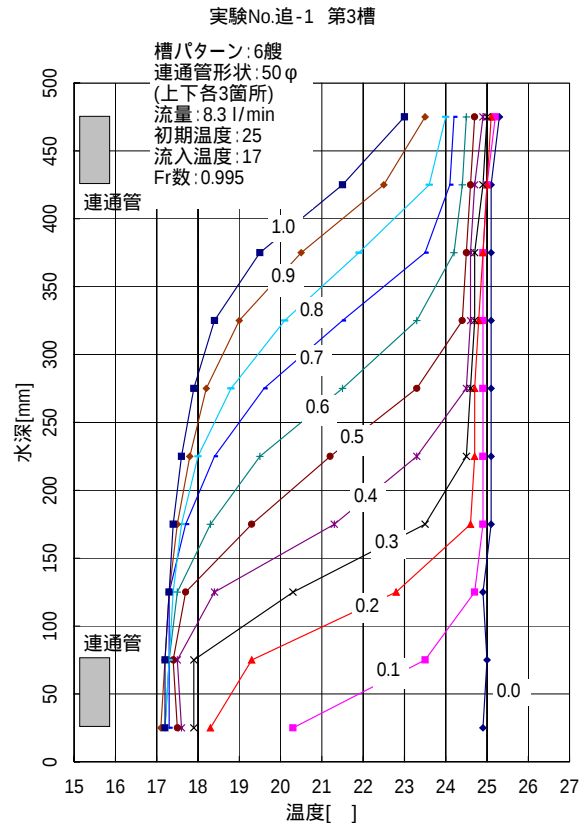


図-16 温度プロフィール(No.追-1: 第 3 槽)

Thermal profile

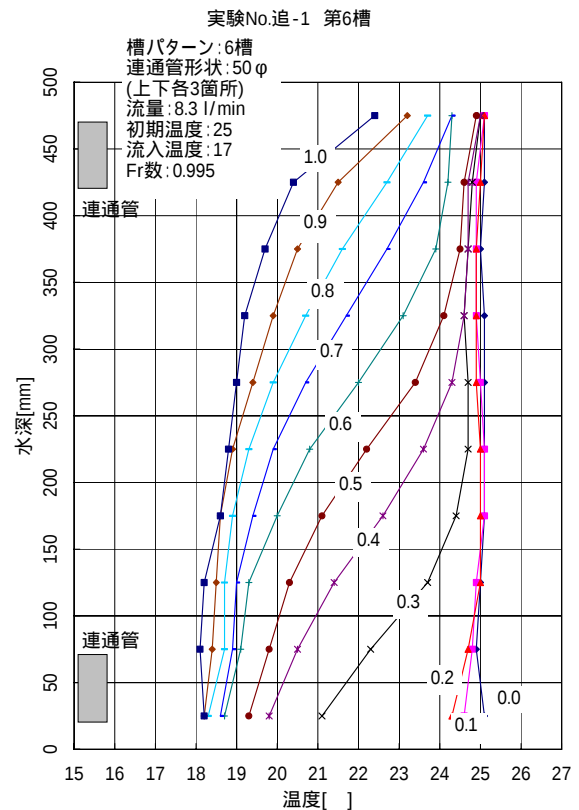


図-17 温度プロフィール(No.追-1: 第 6 槽)

Thermal profile