

# 超省エネルギービル（大林組技術研究所本館）における 温度成層式縦型蓄熱槽の性能評価

前 田 茂 哉

## Evaluation of Thermally Stratified Heat Storage Tanks in the Super Energy Conservation Building (Main Building of Ohbayashi-Gumi Technical Research Institute)

Shigeya Maeda

### Abstract

Surveys of the characteristics of the thermally stratified heat storage tanks (H.S.T.) installed in the Super Energy Conservation Building have been carried out since the completion of the building. The items investigated are the characteristics of H.S.T. in summer and winter, heat loss from H.S.T., and indicial response of H.S.T. The results are (1) water temperature control is excellent to keep high stratification throughout the year, (2) about 95% of stored heat can be expected to restore, and (3) heat loss can be estimated from the coefficient of overall heat transmission and the mean temperature difference between the interior and the exterior of the tank.

### 概 要

大林組技術研究所本館に採用されている温度成層式蓄熱槽について竣工後約1年間の追跡調査を行なった。調査項目としては、夏、冬代表日における槽特性、夏、冬での槽からの熱損失、槽の単位応答があげられる。この結果、以下のことが明らかになった。(1) 水温制御は良好で、槽内の温度成層性は年間を通して高いレベルに維持されていた。(2) 蓄熱効率は概して95%程度は期待できる。(3) 蓄熱槽からの熱損失は、熱貫流率と槽内外平均温度差から概略求めることができる。

### 1. はじめに

本報は、超省エネルギービル(大林組技術研究所本館)に対する一連の追跡調査の中で、温度成層式縦型蓄熱槽(以後「蓄熱槽」と略)の関与する部分について、竣工後1年間の運転実績を基に分析したものである。特に夏期休暇、冬期休暇の空調停止時を利用して、蓄熱後に槽を放置することで、槽からの熱損失を調べると共に、中間期の水の抜き換えを利用して、単位応答実測も行っており、これらの結果についても報告する。

### 2. 蓄熱システム概要および槽内温度測定点位置

空調熱源システムの概要を図一1、2に示す。冷水槽は、夏期に冷房用冷水を、冬期には冷水とヒートポンプ(HP 1 (10 RT), HP 2 (15 RT))を運転する際の熱

源水を蓄える。冷却水・温水槽は、夏期にHPおよび太陽熱利用吸収冷凍機(AR (10 RT))用の冷却水を、冬期には暖房用温水を蓄える。

水温の制御は、熱源配管系統は吹込三方弁制御(冷却塔だけは無制御)、空調配管系統は二方弁制御と吸込三方弁制御を併用する方式を採用している。

蓄熱槽の仕様は表一1に示す。槽容器は建物の東側コア部分の駆体を用い、1階から屋上までの深さを有する。

次に、図一3に各槽内に設置した温度測定点の深さ位置とセンサ番号、流出入口の位置等を示す。原則として温度センサは、約500mmピッチで設置されている。

### 3. 夏期運転実測結果

#### 3.1. 冷水蓄熱槽の槽特性

図一4、5に蓄熱、放熱1サイクルでの垂直温度分布を示す。図一5で、10時から14時まで温度躍層が降下し

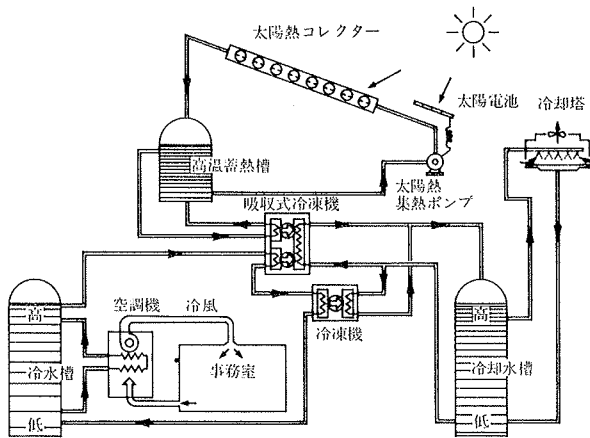


図-1 空調熱源系統略図 (夏期)

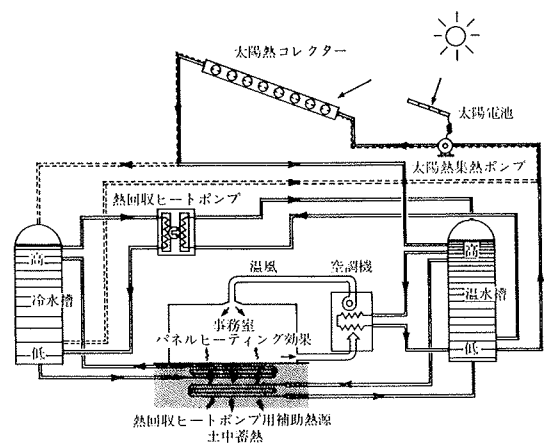


図-2 空調熱源系統略図 (冬期)

ていないのは、熱源機器を運転したため、槽から消費される冷水の量が減ったことによるものである。

両図より、蓄熱槽の出入口水温が良く制御され、温度成層性が良好なことが分る。さらに槽内の水の流れが逆転しても界面の温度勾配に大きな変化は認められない。またこの時の界面の厚さは50~60 cm程度と見積られる。この特性は、設定水温が変更されない限り維持され温度成層性は夏期中良好であった。

### 3.2. 冷却水・温水蓄熱槽の槽特性

図-6に冷却水蓄熱運転時の垂直温度分布を示す。図では、高温域(31~33℃)若干乱れが生じている。これは、運転を夏期に限定するAR冷却水系統には三方弁を設置しない方が、コスト面で有利と判断したことによる。しかしこの場合でも、最低限の温度差は確保されており、槽全域で混合が促進することはない。

### 4. 冬期運転実測結果

図-7, 8に温水槽の垂直分布を示す。図-7はHPによる温水蓄熱運転を示す。図よりかなり良好な成層現象が認められる。しかし温度分布は、図-5, 6ほど整っておらず、ここに冬期に運転する土中蓄熱や太陽熱集熱による水温変動の影響が認められる。図-8は、太陽熱集熱量が多く、余剰分が蓄熱された時のものである。槽上部に50℃程度の温水が流入している割には温度勾配が緩い。これは集熱温度がその設定温(40℃)を越えたことで三方弁が全開となり、日射量に応じて集熱温度が変化したためと考える。しかし、この場合でも槽下部での温度成層性は高い。

### 5. 槽からの熱損失

夏期休暇に行なった冷水槽からの熱損失実測時の槽内垂直温度分布の時間変化を図-9に、冬期休暇に行なった温水槽からの熱損失実測時のそれを図-10に示す。

容 器	鉄筋コンクリート造(500mm厚) 〔躯体の一部〕有効容量 70m <sup>2</sup> ×2槽(2.2m×2.9m×11.5m H)
断 熱	押出発泡スチレン板(100mm厚)の 「内断熱」
防 水	シート防水
付属設備	ディストリビュータ、整流板

表-1 蓄熱槽仕様

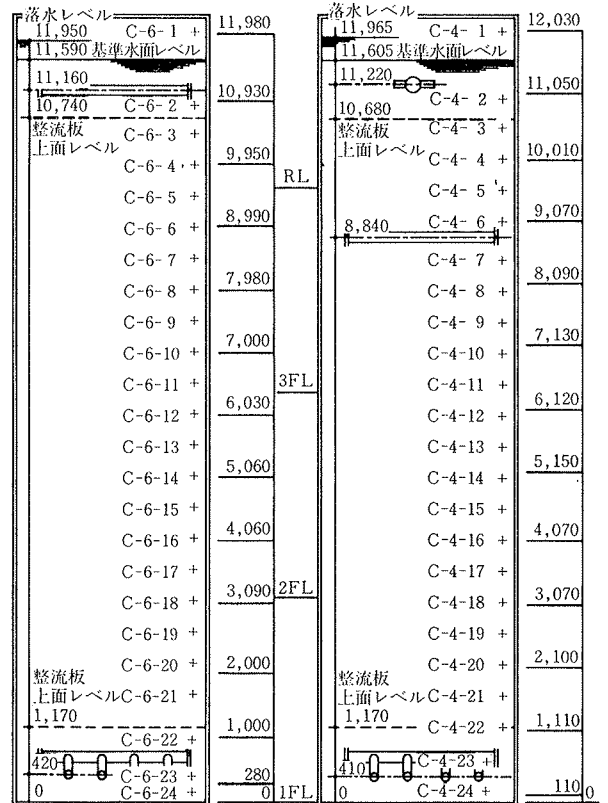


図-3(a) 冷水蓄熱槽 温度センサ位置

図-3(b) 冷却水・温水蓄熱槽温度センサ位置

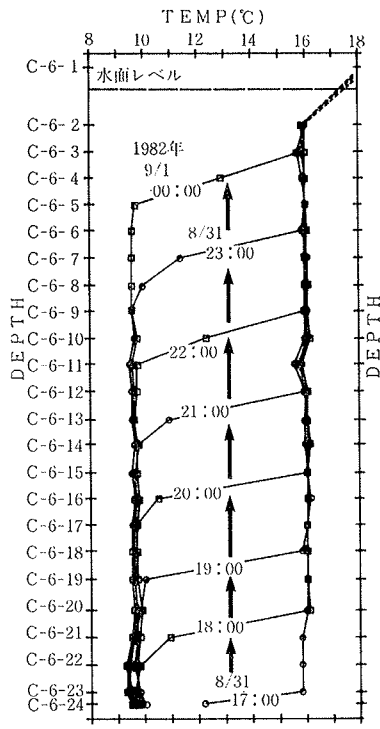


図-4 冷水蓄熱槽垂直温度分布 (冷水蓄熱運転)

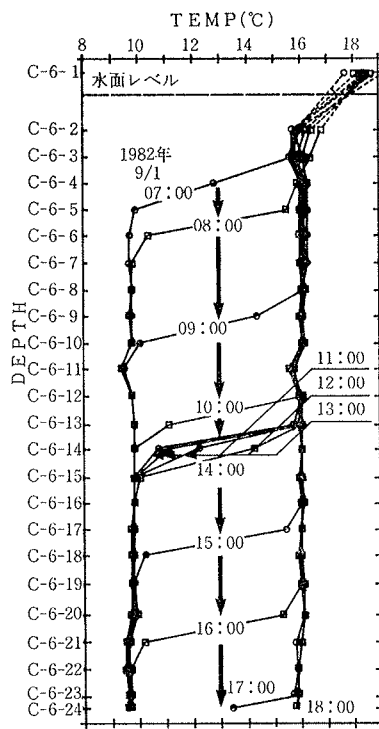


図-5 冷水蓄熱槽垂直温度分布 (放熱運転)

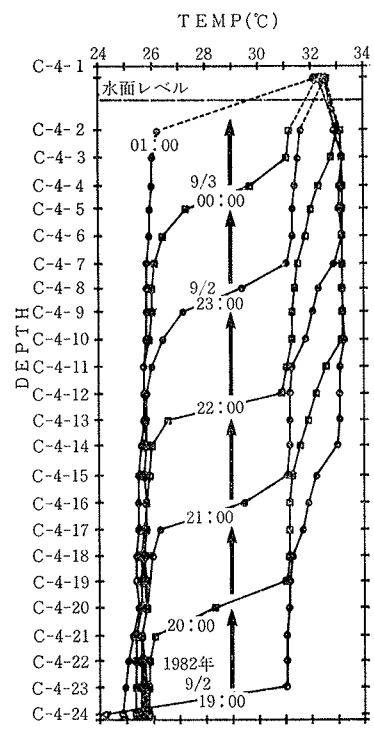


図-6 冷却水槽垂直温度分布 (冷却水蓄熱)

図-9では、槽内がほぼ一様に温度上昇しているが、図-10では、外気温との温度差が大きい槽上部での温度低下が著しい。さらに C-4-15~18 の位置で、1月2日から3日にかけて界面が降下する現象が生じている。これは、2F.L.直下までの盛土によって、その上下部分の熱損失に差が生じて水温が逆転したか、水面近くの水温が低下し、槽内で自然対流が生じたためであろう。

熱損失の測定結果を表-2に示す。なお、整理に当たって値はすべて平均化し、定常的に解析している。これより、実測により求めた壁中心基準の総合熱貫流率 (kcal/m<sup>2</sup>・h・°C) は、夏期0.28、冬期0.31であり、理論値0.30とほぼ一致した。

### 6. 冷水槽への冷水単位入力に対する槽特性

冷水槽に対して、HP 1の単独運転を行ない、蓄冷片サイクルでの単位応答を求めた。この時行なった無次元

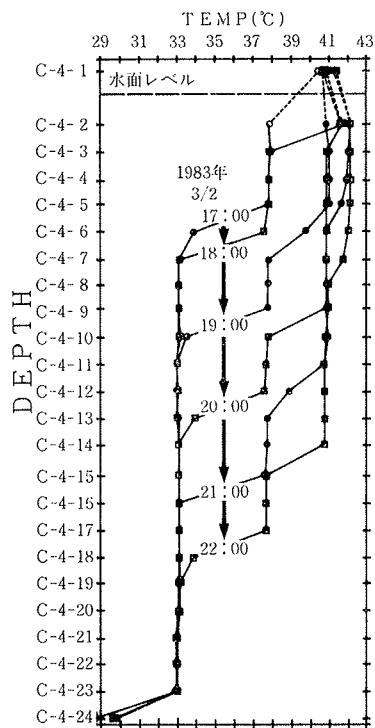


図-7 温水蓄熱槽垂直温度分布 (HP1, HP2同時運転)

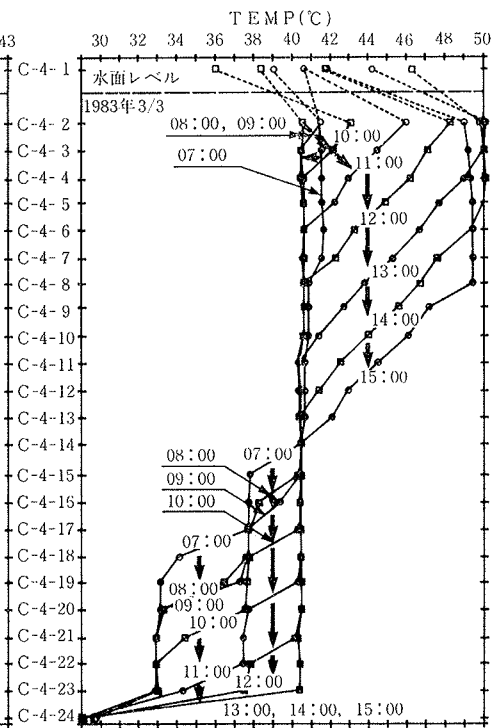


図-8 温水蓄熱槽垂直温度分布 (太陽熱集熱)

化を以下に示す。

$$\theta^* = 1 - (\theta - \theta_0) / (\theta_{in} - \theta_0)$$

(ただし、 $\theta$ : ある時刻での水温 [°C]

$\theta_0$ : 初期水温 [°C],  $\theta_{in}$ : 流入水温 [°C])

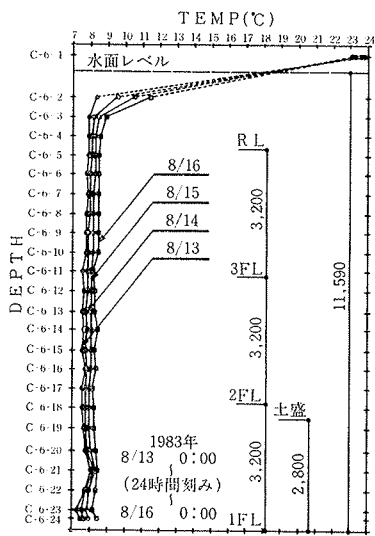


図-9 夏期ヒートロス実測時の垂直温度分布

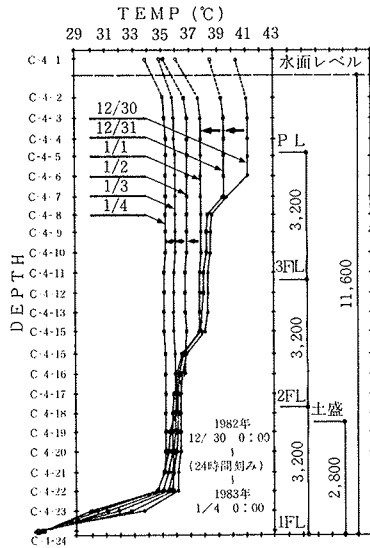


図-10 冬期ヒートロス実測時の垂直温度分布

○無次元時間

$$t^* = \int_0^t Q(t) \cdot dt / V$$

(ただし、t: 時刻0からの経過時間 [min], Q(t): 流入流量 [l/min], V: 槽内水容量 (7.56 × 10<sup>4</sup>))

6.1. 流入水温の立ち上がり特性  
 図-11に流入水温および平均流量の経時変化を示す。流入水温は、15時31分からの4分間(4t\* = 0.0032)でθ\* = 0.15まで降下しており、ほぼステップ入力と判断できる。また図より、運転開始から10分後(15時33分)をt\* = 0と決

項目	冬期ヒートロス実測(5日間) (1982.12/30~1983.1/3)	夏期ヒートロス実測(3日間) (1983.8/13~1983.8/16)
平均外気温	3.4℃	26.1℃
槽内平均水温の変化 (同 変化量)	37.8℃→34.7℃ (3.1℃/5days)	7.8℃→8.7℃ (0.9℃/3days)
平均槽内温	36.3℃	8.3℃
平均外気温と平均槽内温との差	32.9℃	17.8℃
総合損失熱量	227,300 kcal/5days	65,000 kcal/3days
1時間当り損失熱量	1,890 kcal/h	900 kcal/h
単位水量当り損失熱量	25.9 kcal/m <sup>3</sup> ·h	12.3 kcal/m <sup>3</sup> ·h
単位表面積当り損失熱量(内法基準)	14.0 kcal/m <sup>2</sup> ·h	6.9 kcal/m <sup>2</sup> ·h
〃 (壁中心基準)	10.2 kcal/m <sup>2</sup> ·h	5.0 kcal/m <sup>2</sup> ·h
総合熱貫流率(Kexp) (内法基準)	0.43 kcal/m <sup>2</sup> ·h·℃	0.39 kcal/m <sup>2</sup> ·h·℃
〃 (〃) (壁中心基準)	0.31 kcal/m <sup>2</sup> ·h·℃	0.28 kcal/m <sup>2</sup> ·h·℃
理論上の熱貫流率 (Ktheo)	0.30 kcal/m <sup>2</sup> ·h·℃	0.30 kcal/m <sup>2</sup> ·h·℃

表-2 蓄熱からのヒートロス実測結果

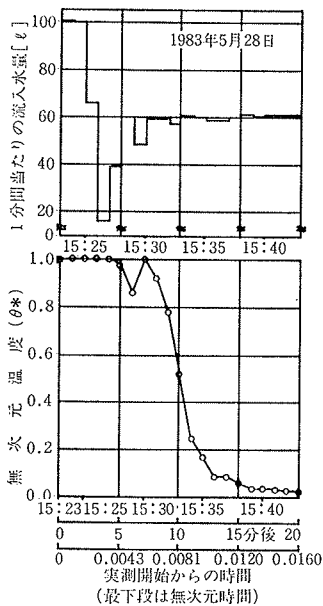


図-11 単位応答実測開始時の流入水温の立ち上がり特性

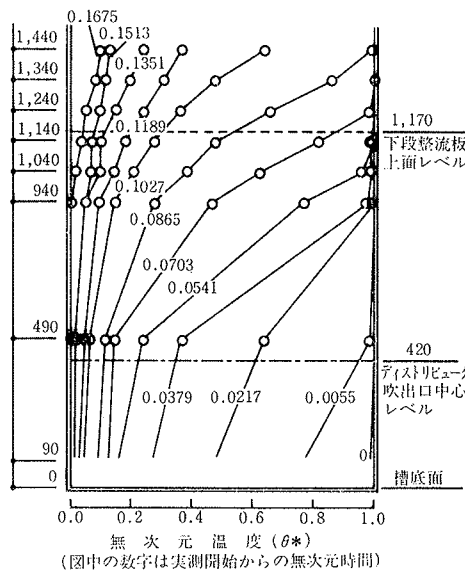


図-12 下段整流板付近詳細垂直温度分布

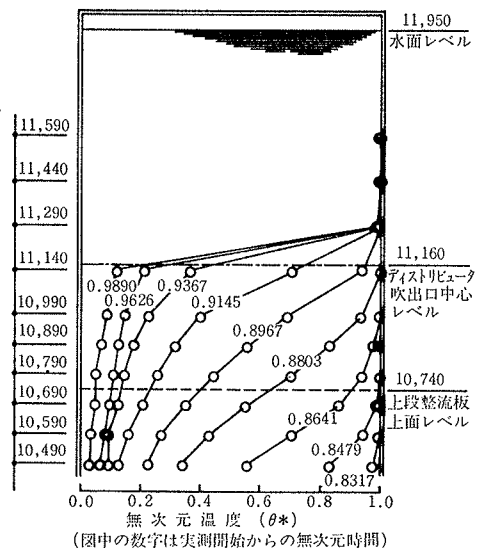


図-13 上段整流板付近詳細垂直温度分布

める。

### 6.2. 整流板付近の温度分布

図-12に下段整流板付近の垂直温度分布を示す。流入流量が約 60 l/min (分岐管内平均断面流速は 4 cm/s 程度)と比較的少流量 (最大流量は 130 l/min 程度)にもかかわらず、温度躍層の厚みは 1 m 前後あり、図-4の場合より多い。これは、冷水流入直後に生じた吹出口レベルより下の領域での強制混合が原因と考える。また、図より整流板の上下で温度分布に差異は見られず、今回の流量条件では整流板の効果は認められない。

次に、上段整流板付近の垂直温度分布を図-13に示す。吹出口レベルより上の領域での温度降下が見られず、死水域が存在している様子が見られる。

### 6.3. 槽内温度応答

図-14に垂直温度分布を、図-15に槽内5点での単位応答を示す。図-15より、各応答曲線は同様な形状を示し、温度勾配が一定に保たれたまま界面が上昇していることが分かる。

### 6.4. 出入口水温と蓄熱効率

図-16に出入口水温の時間変化を示す。図には、上段吸込口より上の領域を死水域として P 値 (0.934) を示してある。この値は、熱損失を考慮すれば妥当である。

次に、一次側限界出口水温を 8℃として単位システム効率<sup>1)</sup>を求めると、94.6%となる (図-16)。これは蓄冷片サイクルでの値で、槽からの熱損失も含む。さらに、垂直温度分布 (図-14) から蓄熱槽効率<sup>1)</sup>を求めると 95.6%となる。実際のサイクル効率は、放熱運転時に下段吸込口より下に死水域が生じるため、上記の値より若干数値は低くなるであろう。

図-14と図-4とを比較すると、流量の少ない前者の方が成層性が悪いことが分かる。前者は、片サイクルの単位応答で、前述した槽下部での混合が終始影響するためである。一方、実際の運転条件では、図-13に示すように、界面が吸込口に達して暫くすれば温度勾配が矯正され、流れが反転しても混合が吹出口近くに限られることより、良好な温度分布が得られるものと考えられる。

## 7. 結論

- (1) 水温制御は良好で、蓄熱槽内の温度成層性は年間を通して高レベルである。
- (2) 温度躍層は流れが逆転しても変化しない。
- (3) 槽からの単位表面当りの熱損失 (壁中心基準)は、熱量流率の理論値と槽内外平均温度差より求まる。
- (4) 整流板の効果は、今回の単位応答実測からは認められなかった。また、吸込側で、死水域が存在すること

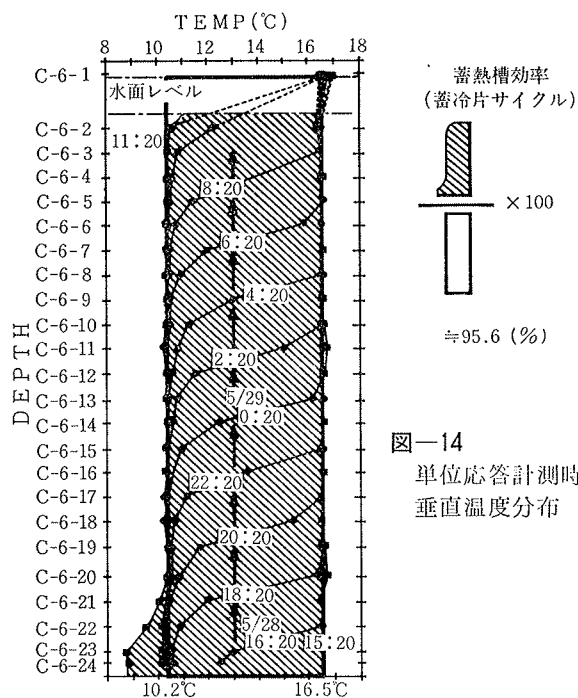


図-14 単位応答計測時 垂直温度分布

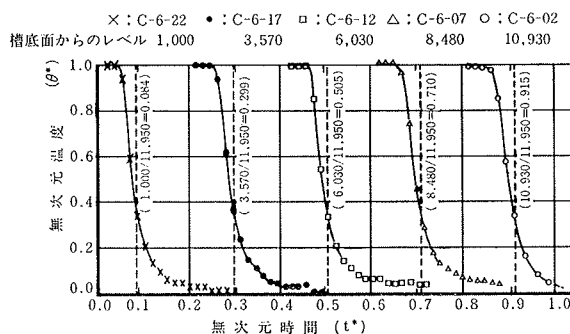


図-15 槽内5点での単位応答

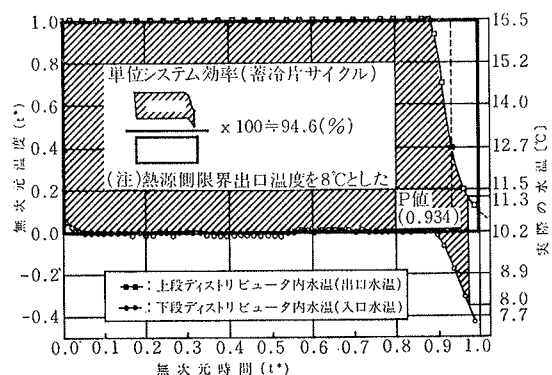


図-16 出入口での水温応答

が判明した。

- (5) 蓄熱効率は概して95%程度は期待できる。

### 参考文献

- 1) 中原信生: 蓄熱槽の性能評価について, 日本建築学会東海支部学術論文集, (昭和58.2), pp. 253~256