# 温排水水中水平放流に関する実験的研究

石 野 和 男*・花 村 哲 也**

## 1. まえがき

我が国の火力・原子力発電所から放流される温排水は，そのほとんどが，表面放流方式により放流されてきた．しかし近年，表面放流方式よりも表面の温度低減率が良い水中放流方式が注目されている．

この水中放流方式については，現在までに多くの研究がなされているが，それらはほとんどが，水中部温度分布の解析に力がそそがれており，表面温度分布や表面流速分布を論じた研究はわずかである．

本研究はこの中で MIT の Harleman らの研究[1]に注目し，比較的浅い水深において，種々の放流条件下で，温排水を単一管で表面及び水中水平放流した場合の表面温度分布，表面流速分布，表面流況を実験により測定し，その特性について検討を加えたものである．

## 2. 水中放流方式について

水中放流方式に関する研究は，Priestley-Ball, Morton-Taylor-Turner に始まり主に廃液の放流問題について，対象海域として半無限水域を考慮した理論的研究[2] が進んで来た．

一方温排水の水中放流は，廃液のそれに比べ，その放流量が多く，放流口の規模が大きくなり，あまり深い水域まで放流口を設置するのが不経済になる，また密度差が小さいため，放流内部フルード数が小さい等の特徴を持っている．

よって温排水の水中放流を検討する場合には，水面及び底面の影響を受ける浅海域 (Shallow Water) を考慮に入れる必要がある．

## 3. 表面温度分布に関する既応の研究

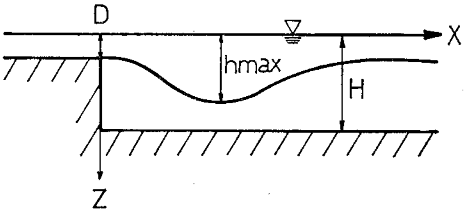
Harleman[1] らは放流内部フルード数 $F_0 \fallingdotseq 14$ において種々の水深; $H$, 及び放流管水深; $Z_s$ における実験を行ない，表面放流において，底面の影響を受ける水深域すなわち，浅海域 (Shallow Water) においては，水中水平放流を行なっても，最終安定上昇温度 (Final Stable Temperature Rise) は変わらないという興味ある報告を述べている．

なお浅海域の条件は，実験により求められており，水深 $H$ と表面放流の噴流最大厚 $h_{max}$ が式 (1) の条件であれば底面の影響を受け，温度低減率が悪化すると報告されている．

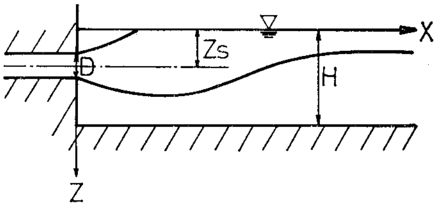
$$h_{max}/H \geq 0.75 \quad \cdots\cdots (1)$$

ここで，$h_{max}$ は表面放流の理論解析[3]により求められ式 (2) で示される．

$$h_{max}=0.333 \cdot F_0 \cdot D \quad \cdots\cdots (2)$$




図—1 表面放流概念図




図—2 水中水平放流概念図

## 4. 実験装置及び方法

実験に使用した水槽は，長さ 10 m, 幅 5 m, 高さ 0.5 m の底面が水平な平面水槽で，放流口は，放流レイノルズ数 $R_0$ を出来る限り高める ($R_0 \geq 6\,000$) ためと，放流内部フルード数が $5 \leq F_0 \leq 30$ の範囲内で $X/D \gtrsim 100 \sim 300$, すなわち最終安定上昇温度が定められるという範囲の測定を可能にするために，直径 $D=2 \sim 5$ cm の円管を用いた．

実験は，水槽内が一様静止密度場であることを確認した後，実際の放流を想定した初期放流温度差 $\Delta T_0=8.5 \sim 10.5$°C の温水を放流した．

* 正会員 工修 大成建設（株）技術研究所
** 正会員 工修 大成建設（株）技術開発部

流量はフローターメーターにより測定した．

表面温度はサーミスターにより放流直後より約 20 分間連続測定し，疑似的な準定常状態[4]に達したと考えられる．3 分後～10 分後の値を平均して求めた．

実験で求められる表面流速は，低流速のため，プロペラ流速計等の使用がむずかしく，温噴流に染料を加え，モータードライブカメラで追跡撮影し，表面流速を求める方法を用いた．

また，表面流況は，水槽全面に多数の小紙片を浮かせシャッタースピード 1 秒～5 秒でカメラにより撮影し求めた．

## 5．実験結果及び考察

### 5.1 表面放流における底面境界の影響

（1） 軸上表面温度分布

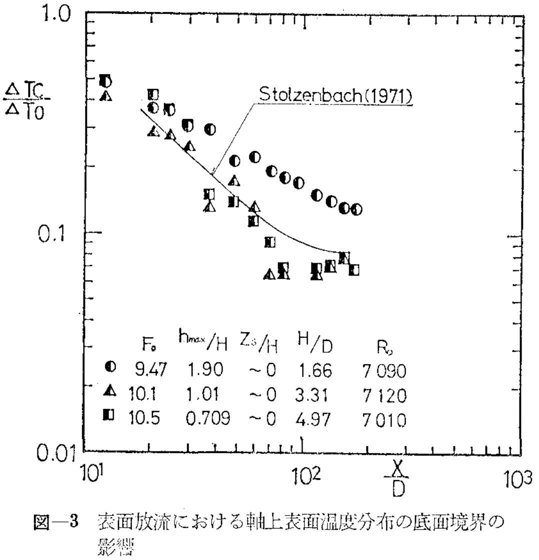
図—3 に，$F_0 \fallingdotseq 10$ において水深を $h_{max}/H \fallingdotseq 0.7, 1.0, 1.9$ と変化させた時の，表面温噴流の軸上表面温度分布を示す．図中の実線は，底面の境界を考慮に入れない Stolzenbach の理論値[3]である．

図—3 から $h_{max}/H \leqq 1.0$（以下深海域を示す.）では表面温度低減率がほぼ同一の傾向で減衰し，Stolzenbach の理論値と一致することがわかる．

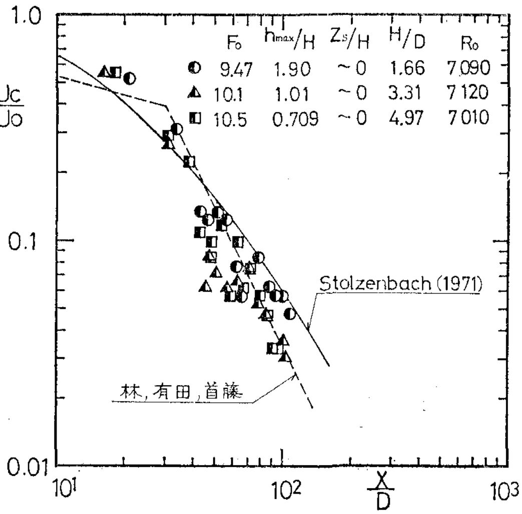
また $h_{max}/H > 1.0$（以下浅海域を示す.）においては，表面温度低減率の減少が少ないことが判明した．

この原因としては，表面温噴流の下面からの周囲水連行加入現象が底面境界により押えられ，連行量が少くなり，稀釈が弱まり表面温度低減率の減衰が少なくなるものと考えられる．

以上，本研究では，式(1)と多少異なった傾向，すなわち式(1)においては深海域と浅海域の境界値が $h_{max}/H = 0.75$ であるが，本実験では $h_{max}/H = 1.0$ と示された．




図—3　表面放流における軸上表面温度分布の底面境界の影響




図—4　表面放流における軸上表面流速分布の底面境界の影響

（2） 軸上表面流速分布

図—4 に，$F_0 \fallingdotseq 10$ において水深を $h_{max}/H \fallingdotseq 0.7, 1.0, 1.9$ と変化させた時の表面温噴流の軸上表面流速分布を示す．

図中の実線は Stolzenbach の理論値[3]，破線は林・有田・首藤[5]が彼等の実験値にフィットさせたものである．

図—4 から，表面流速低減率はほぼどの水深域においても同一の傾向の低減を示すが，浅海域における表面温噴流の方が，深海域のそれに比べ，減衰が若干遅い傾向が見られた．

この原因は，温度分布と同様に連行量が少くなることにより，流速の減衰が弱まるためと考えられる．

### 5.2 水中水平放流における底面及び水面境界の影響

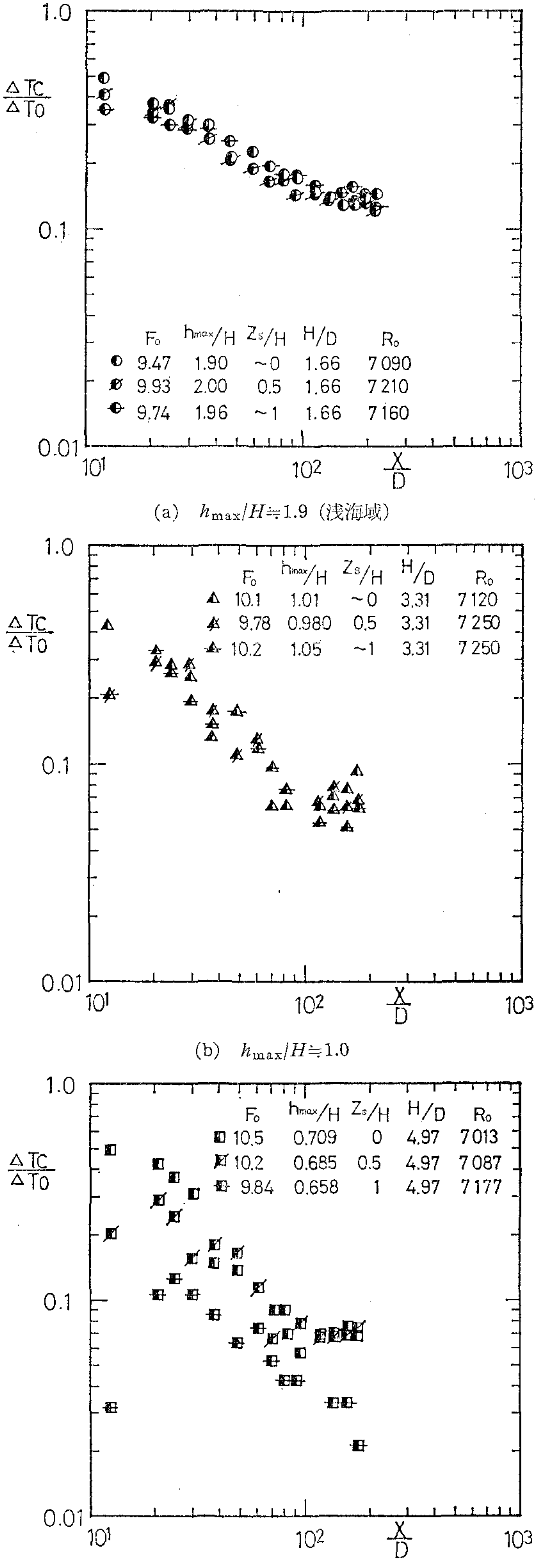
（1） 軸上表面温度分布

図—5 に，$F_0 \fallingdotseq 10$ において水深を $h_{max}/H \fallingdotseq 0.7, 1.0, 1.9$ と変化させた時の表面温噴流と，水中水平温噴流の軸上表面温度分布の比較を示す．

図—5 から浅海域では，水中水平放流を行なっても最終安定上昇温度は，表面放流のそれとほぼ変わらないことが示された．この要因としては，表面放流では底面境界の影響を受け，また水中水平放流では底面及び水面境界の影響を受け，連行加入現象が押えられ，鉛直方向に温度が一様化する状態（Full Mixing）[6]によるものと考えられる．

また深海域（$h_{max}/H \fallingdotseq 0.7$）において底面に沿って放流された水中水平温噴流の表面温度低減率は，表面温噴流のそれよりもかなり減衰が良いことが判明した．

よって，効果的な水中水平放流を行なうためには，$h_{max}/H \leqq 0.7$ の条件が必要と考えられる．

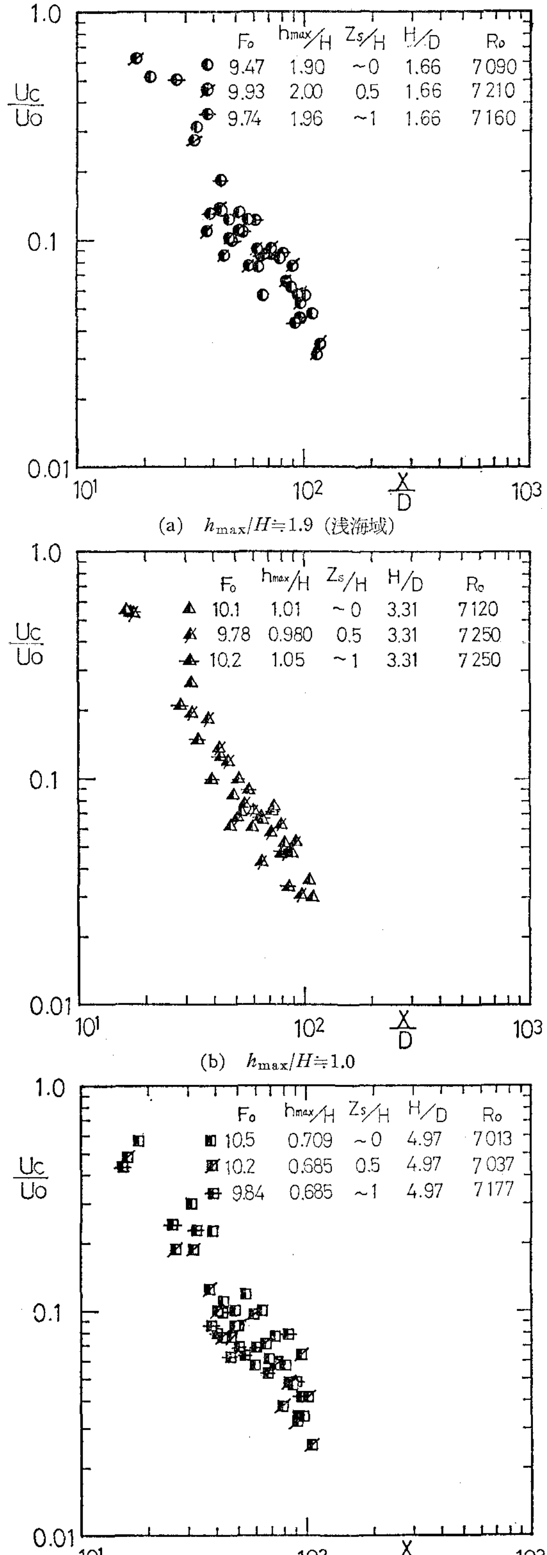



(a) $h_{max}/H \fallingdotseq 1.9$ (浅海域)

(b) $h_{max}/H \fallingdotseq 1.0$

(c) $h_{max}/H \fallingdotseq 0.7$ (深海域)

図—5 水中水平放流における軸上表面温度分布の底面及び水面境界の影響

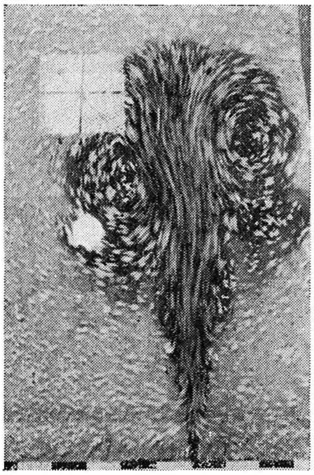



(a) $h_{max}/H \fallingdotseq 1.9$ (浅海域)

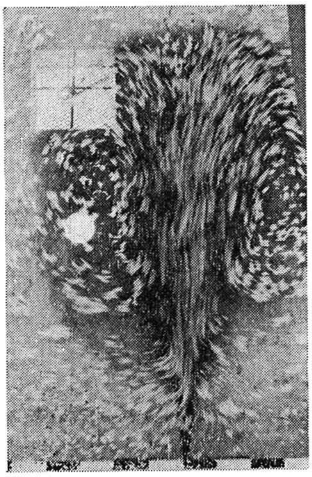
(b) $h_{max}/H \fallingdotseq 1.0$

(c) $h_{max}/H \fallingdotseq 0.7$ (深海域)

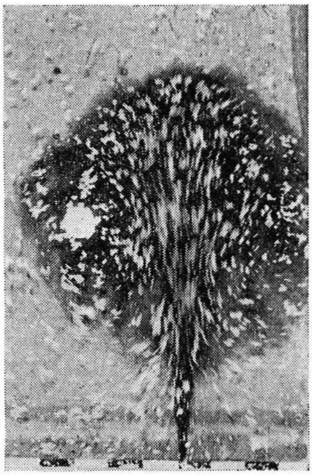
図—6 水中水平放流における軸上表面流速分布の底面及び水面境界の影響



(a) $F_0=7.80$, $h_{max}/H=1.56$, $z_s/H\sim1$, $H/D=1.66$, $R_0=8\,020$（浅海域）



(b) $F_0=7.69$, $h_{max}/H=0.771$, $z_s/H\sim1$, $H/D=3.31$, $R_0=8\,050$



(c) $F_0=7.80$, $h_{max}/H=0.514$, $z_s/H\sim1$, $H/D=4.97$, $R_0=8\,050$（深海域）

**写真―1** 水中水平温噴流の表面流況

（2） 軸上表面流速分布

**図―6** に，$F_0 \fallingdotseq 10$ において水深を $h_{max}/H \fallingdotseq 0.7, 1.0, 1.9$ と変化させた時の表面温噴流と，水中水平温噴流の軸上表面流速分布を示す.

**図―6** から，$h_{max}/H \gtrsim 0.7$ の水深域では，水中水平放流を行なっても，軸上表面流速分布は，表面放流のそれとほぼ一致することが示された.

（3） 表 面 流 況

**写真―1** に，$F_0 \fallingdotseq 8$ において水深を $h_{max}/H \fallingdotseq 0.5, 0.8, 1.6$ と変化させた時に，底面に沿って水中水平放流を行なった場合の流況を示す.

**写真―1** より浅海域になるに従い平面渦の中心が放流口から離れ，また左右の平面渦の間隔が狭まり，温噴流の幅が狭まることが観測された.

## 6. 結　　び

温排水の効果的な放流方式の1つである水中水平放流方式について表面放流方式と対比させ，その表面温度分布，表面流速分布について実験的検討を行なった.

また水中水平温噴流の表面流況について若干の実験的検討を行なった.

今後は，これらを基礎として，より効果的な温排水の放流方式を開発して行きたいと考えている.

## 参 考 文 献


1) Jirka, G. H., G. Abraham and D. R. F. Harleman: An assessment of techniques for hydrothermal prediction, MIT Ralph M. Parsons Lab. Rep. No. 203, July 1975.
2) 水理委員会密度流研究小委員会: 成層密度流の界面現象 (2), 土木学会論文報告集, 第 243 号, 1975.
3) Stolzenbach, K. and D. R. F. Harleman: An analytical and experimental investigation of surface discharges of heated water, MIT Ralph M. Parsons Lab. Rep. No. 135, Feb. 1971.
4) 林 泰造・首藤 啓・後藤幸司: 水表面放出温噴流の基礎的実験, 第 23 回水講論文集, pp. 405-414, 1979.
5) 林 泰造・有田正光・首藤 啓: 噴流型三次元温度密度流の拡がりに関する実験的研究, 第 33 回年講概要集, 第 2 部, pp. 407-408, 1978.
6) 片野尚明・河村博美・和田 明: 水中放流方式による温排水の水温低減化に関する研究, 第 24 回海講論文集, pp. 476-480, 1977.