

埼玉大学	理工学部	正員	○ 嶋 祐三
東京大学	工学部	正員	広沢 佑晴
東京大学	工学部	正員	玉井 信行
中央大学	理工学部	学生員	浅沼 弘司

1 序

近時、火力発電所の冷却水廃水の挙動が注目されているが、この中で現在の問題としては、制約された海域内に形成される温度躍層の特性と、潮汐による防波堤内外の海水の交換に伴う温度躍層の挙動特性及び取水並びに放水に伴う循環流と温度躍層との関連性などが挙げられる。本研究に於ては、潮汐発生並びに制御装置、温水補給装置及び水槽を設置し、制約された海域内に生ずる上記諸特性を実験的に把握しようと試みた。

2 実験装置

実験装置を大別すると、潮汐発生装置、給湯装置、温度測定用機器、水槽である。全体の配置を図-1に記す。各装置の概略を述べると次のようである。

潮汐発生装置：モーターに連結したプランジャーの上下により、水槽内の水面を上下させるものである。実際の水深を差圧計を読み取り、フィードバックさせ、設定した水深変化曲線との差異を自動的に補償させながら運転することが可能である。実際の潮汐による水深の変化は連続的であるが、モーターの回転数を定められた条件の下に連続的に変化させることは不可能であるので、潮汐周期を数小時間に分割し、プランジャー

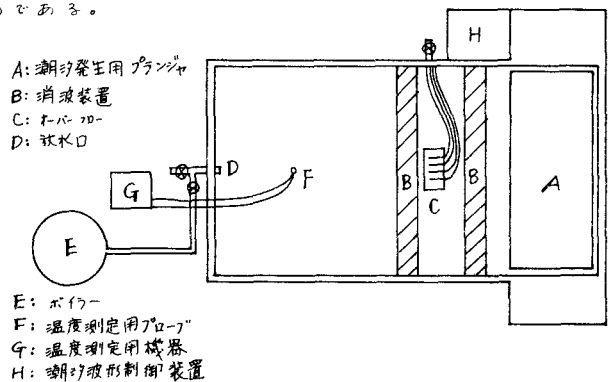


図-1 実験装置配置図

には階段状の運動をさせ、潮汐波形に近似させる。この誤差は設計条件として 0.5% であるが、実際にはこれを余りに小さくすると平均値の修正をすることなく、変動成分のみによって制御系が支配される不安定がある許りでなく、本来の目的から外れるので使用した許容誤差域は約 1.5% であった。

プランジャーの起動、停止時に水の慣性により小さな段波が発生するので、この影響を打消すため、二列の消波装置を設置し平滑な水深変動を得た。この潮汐発生装置による水位変動記録の一例を図-2に示す。

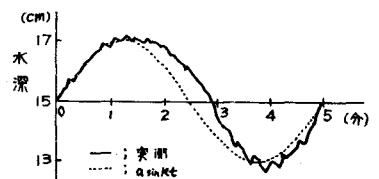


図-2 水位記録

給湯装置：ボイラーから流出する湯は約 60°C であるので所期の放流水温を得るため、出湯管と給水管とを結合し、バルブの調節により開管路の中で混合させた。放流水温の検出は、放水口直前部に設置したサーミスタにより行なった。更に、放水口から連続的に温水を放流すると、一定の水深しか有しない実験水槽では水位

の上昇と共に温水が表層部にのみ集積するので、表層部の水だけを流入量と同一量排水した。内径 10 mm のゴム管を板に取り付けて浮かせておき、排水量をバルブで調節して用いた。

温度測定装置：サーミスタ素子を外径 20 mm のベークライト棒に 10 点埋込んだものと、スチールに 5 点埋込んだもの、とを用いた。これをブリッジ回路に組み入れ、増巾した後記録した。

3 相似則及び実験方法

本実験に於て主要な役割を果すものは、潮汐現象と放流水の温度密度流としての挙動である。

まず、潮汐現象に就いて考えよ、潮汐は長波の一種で重力の影響が卓越しているから、フルード数と原型と模型との間を等しくすれば力学的相似が成立すると考えられる。模型に於る諸量と原型に於る諸量との比を添字 r を付して示せば、重力の加速度の比は 1 に等しいから

$$Fr = V_r / \sqrt{H_r} = 1,$$

となる。こゝに、 $V = L/T$ 、 V : 水平流速、 L : 水平方向の代表長さ、 T : 時間、 H : 鉛直方向の代表長さである。従つて、時間の縮尺としては、

$$Tr = Lr / \sqrt{H_r}$$

となる。

次に、密度流効果に対しては、放流水の密度を $(\rho - \Delta\rho)$ 、静水域流体の密度を ρ とすれば、

$$Er = \Delta\rho_r / \rho_r = 1,$$

が模型と原型の間で成立すればよいと考えられる。かくすれば、安定問題に現われるリチャードソン数も自動的に相似の関係になると思われる。

実験模型の規模は、 $L_r = 1/1000$ 、 $H_r = 1/50$ であり、これから定まる時間、流量の比は夫々 $Tr = 1/141$ 、 $Q_r = 2.82 \times 10^{-6}$ であり、潮汐 1 周期は 5 分である。平均水深は 15 cm とし、潮汐振中は ± 2 cm とした。放水口は径 2 in. のパイプで、中心は水槽底より 5 cm の位置にある。

実験を行なったのは以下に示す海面形状に就いてであり、堤防はブロックを連ねたものである。放水流量は、小流量 $m = 155 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ($55 \text{ m}^3/\text{sec}$ 相当) と大流量 $M = 198 \text{ cm}^3/\text{sec}$ ($70 \text{ m}^3/\text{sec}$ 相当) を中心とし、その周辺の値を行なった。

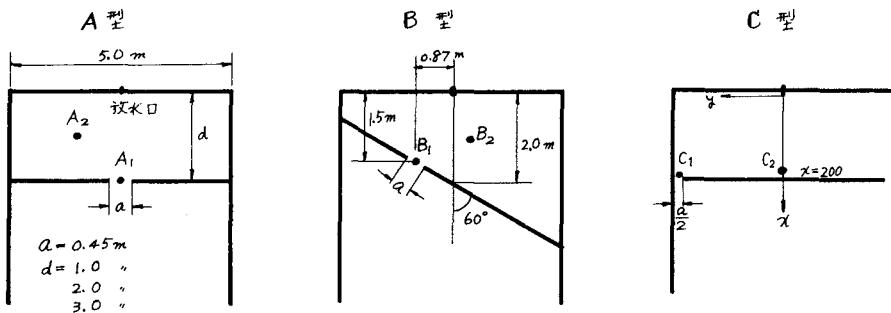


図-3 海域形状の図 (図中の黒丸は、潮汐変動を加えた場合の水温度測定点を示す)

4 実験結果及び考察

まず、定常状態に於る等温線図の例を図-4、図-5に掲げる。示した結果は、A型の $d = 2.0$ m の場合である。放流水の中心線に沿う断面であるが、流量が浮上する噴流域の大きさに大きな影響を与えて

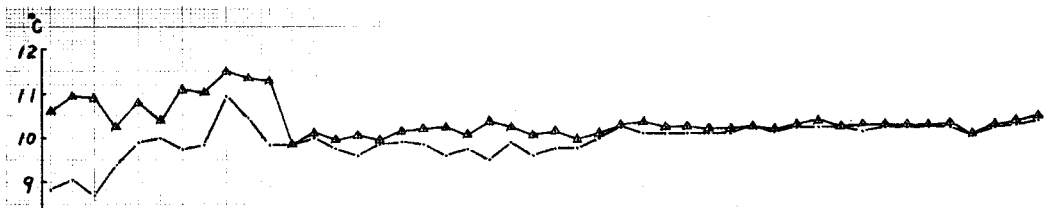


図-9 水温の時間的变化 測点 B₂

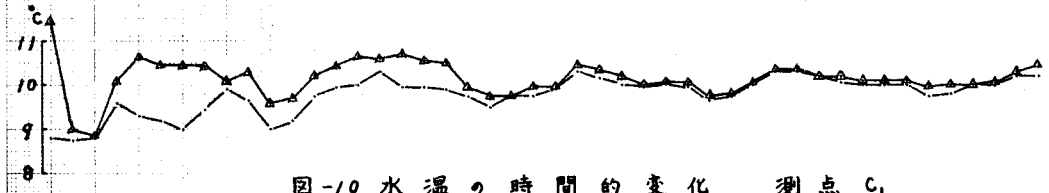


図-10 水温の時間的变化 測点 C₁



図-11 水温の時間的变化 測点 C₂

いることが判る。他の測定断面とも合わせて温度躍層面は、図-4の場合で $z=9\text{cm}$ 、図-5の場合で $z=7\text{cm}$ (z は水槽底より上向きにとる)付近にあると思われる。放流水脈の核は、通常の噴流に於て言われる如く距離に対して直線的であった。温度躍層の厚さは、堤防までの距離により変化するが、一度壁面まで到達した流れが循環してくる影響が大きいことが言える。

潮汐変動を与えた場合に就ては、図-6～図-11までに結果を示す。これは温水放流約1時間後、上層と下層とに約 2°C の水温差が生じた時期に水位変動を開始した場合の記録である。測点は図-3に示した $A_1 \sim C_2$ までの6地点であり、水深方向は温度躍層面の上下の代表点を考え、 $z=2\text{cm}$ 、 $z=10\text{cm}$ の2点での温度変化を示してある。

開口部を制約された海域に与える潮汐による乱れは非常に強く、開鎖域の水温は水深方向にはほぼ一様になる。攪乱力が強く、また熱が空中その他へ逃げないとすれば、放出された熱量はすべて海域内の流体に与えられる。この場合、水深は平均的に一定であり、体積は変化しないから熱のみが与えられ、初期水温 10°C 、放流水温 20°C 、 $155\text{cm}^3/\text{s}$ と仮定すれば1時間後には 17°C 以上に達する。然しながら、堤防開口部では水位変動と連対して水温変化が微小ながら見え、添字2を付した海域内での水温上昇も遅いものではない。これは放流された熱が、水位変動に伴う流れに依り、開鎖域外にまで可成り放散されていることを示している。また流速を C_2 の点で測定した結果は図-12の如くである(10秒間の平均値)。水深方向での変化は殆んど見られないう平均値を掲げる。低流速を与えるべきa、c付近で最大流速が生ずるのは、水面の微小な波が制御系を不安定にレギュレーを激しく上下させるため、装置の改良にも多くの問題点がある。

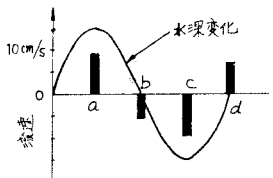


図-12 流速変化