

冷却水放出に関する研究

永井 莊七郎*・久保 直**
倉田 克彦***・足立 正裕****

1. 緒 言

近年各地において大型の発電所の建設が企画されているが、冷却水の取水および放水が建設上の大きな問題の一つとしてあげられている。放水時における熱拡散に関しては、すでに多くの研究成果が発表されている。

本論文は放水路が外海に面し、強い波浪の影響を直接うける場合、冷却水の放水が円滑に行なわれるかどうか、また放水に支障が生ずる場合は、その対策について検討するため、放水路内部の圧力変動および放水路上流部の放水槽の水面変動、さらに外海に放出した冷却水の拡散状況を調べるため流向などを測定し、これらが放水

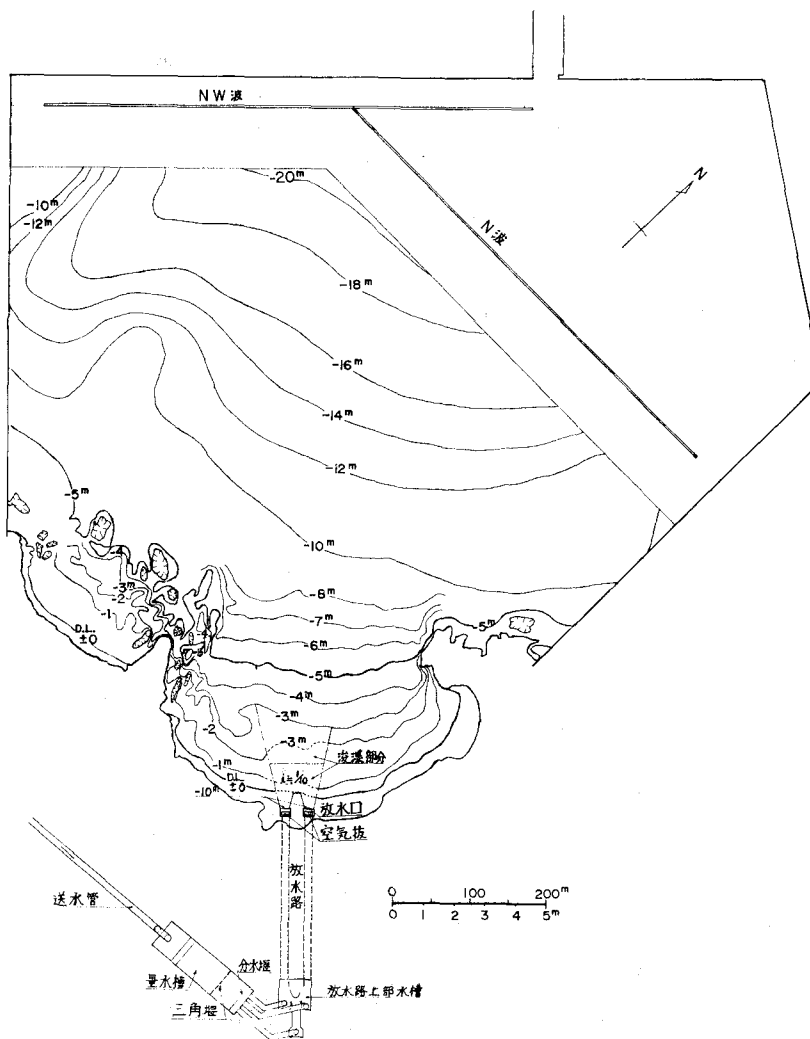


図-1 実験設備平面図

* 正会員 工博 大阪市立大学教授 工学部土木工学科
** 正会員 大阪市立大学講師 同

*** 正会員 工修 大阪市立大学助手 工学部土木工学科
**** 大阪市立大学研究員 同

流量、波浪などによってどのように変化するかを明らかにした。

2. 実験設備と方法

実験は図-1 に示すように A 海岸の縦、横とも 1/40 の縮尺の模型を作製して検討した。海底はすべて固定床とし、波浪は N および NW 波が発生できるように設備した。しかし本文では放水に最も大きな影響をおよぼすと考えられる NW 波のみについて述べる。

実験潮位は朔望平均満潮面 (H.W.L.) の D.L.+0.7 m で一定とし、波高および周期はそれぞれ $H_p=2.4$ m ~ 8.4 m, $T_p=13.0$ sec と 15.0 sec, 放水流量は $Q_p=0$, 37.5 m³/sec および 450 m³/sec の場合について検討した。

放水路の上流部の放水槽から放水口までの縦断面図を

示すと図-2 の通りで、放水槽から放水口までは水底を水平とし、放水口の位置は汀線付近とし、放水口の天端高は D.L.±0.0 m とした。

放水流量は放水路上流端に設けた三角堰で測定した。

最大放水流量 $Q_p=450$ m³/sec で最終的にはこの流量を 3 個の円管によって放水槽へ流入させたが、建設途上あるいは完成後においても発電を停止して修理を行なう場合には放水流量はこれより小さいので、このような場合には 1~2 個の円管によって放水槽へ流入させた。このような放水流量の調節は三角堰とその下流に設けた分水堰を用いて行なった。写真-1, 2 および 3 は三角堰、放水槽および放水路を示す。放水路頂部に放水路内部の圧力変動を測定する鉛直管がみられる (写真-3)。

護岸の法線、離岸堤および放水口付近の平面図を示すと図-3 の通りである。



図-2 放水路縦断面図

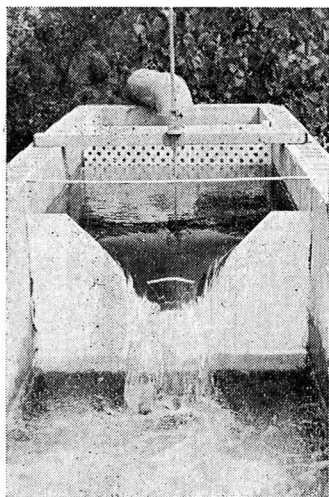


写真-1 三角堰

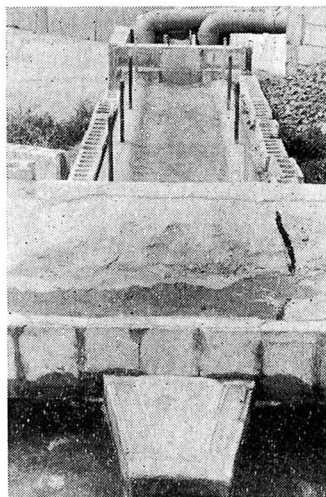


写真-3 放水路



写真-2 放水槽

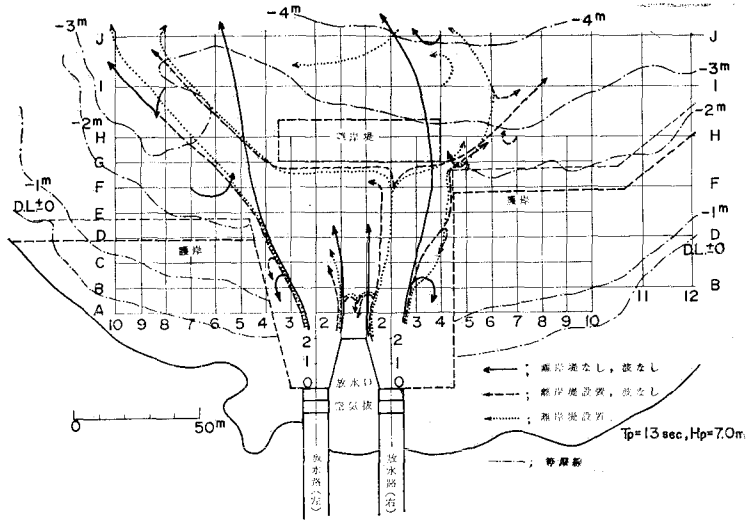


図-3 放水口付近の平面図

3. 実験結果の考察

(1) 放水路の延長線上の波高について

沖波 (水深 D.L. -17.0 m 地点) の波高 $H_p=7.0$ m, 周期 $T_p=13.0$ sec のときの放水路の延長線上の波高を示すと図-4 (a), (b) のようである。図-4 (a) は右側

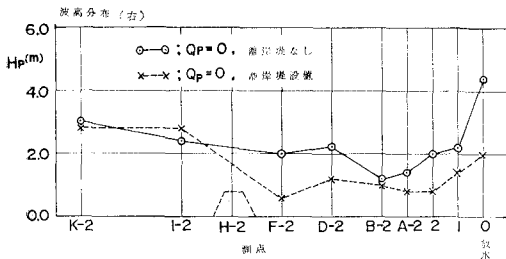


図-4 (a)

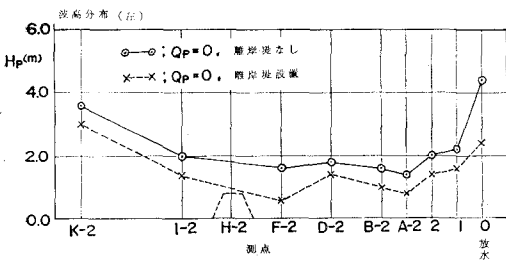


図-4 (b)

の放水路, 図-4 (b) は左側の放水路の延長線上の波高を示すもので, それぞれ放水口の測点 0 から沖側へ 160 m の測点 K-2 (水深 $h=D.L.-4.5$ m) の場所までの波高分布である。この場合は水深 $h=D.L.-5.0$ m ~ -6.0 m 付近で砕波するため K-2 ではすでに磯波帯となり, 波形は段波の状態で行進するので, 波高は比較的

小さく, $H_p=2.0\sim3.0$ m である。特に I-2~D-2 の区間は波高は $H_p=2.0$ m でほぼ一定である。これは測点 I-2~D-2 の区間は水深が $h=D.L.-3.0$ m でほぼ一定であるからである。

なおこれより汀線側の測点 0 までは海底を浅瀬し, 約 1/10 の勾配で放水口の下端 (D.L.-10.0 m) に取付けられるが, 波は放水口上部の鉛直壁に衝突して反射するので測点 0, 1 および 2 の波高は増大する。

図-5 (a), (b) は放水量 $Q_p=450$ m³/sec の場合に

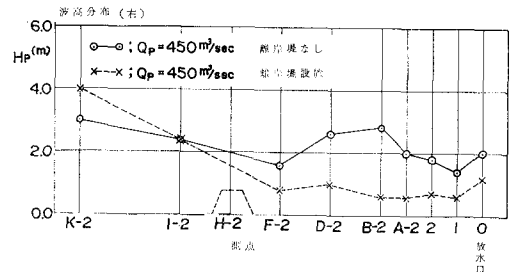


図-5 (a)

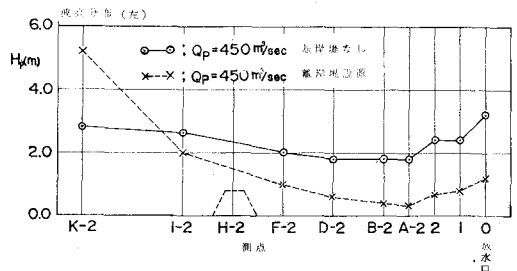


図-5 (b)

における放水路延長線上の波高分布を示す。この場合は流れのエネルギーのため, 放水口の前面で波高は増大せず, $Q_p=0$ の場合と比較すると前面の波高は 50 %程度

小さい。しかしながら、いずれの場合も放水口の前面の波高は $H_p=2.0\text{m}\sim 4.0\text{m}$ を示すので、この波高を減少させるために離岸堤を設置した。離岸堤は波浪を阻止するとともに放水が円滑に行なわれるように透過性構造とした。図-4 および 5 における点線は離岸堤を設置した場合の波高分布を示す。これらによると、離岸堤を設置すると波高は 50~70% 減少する。写真-4、5 および 6

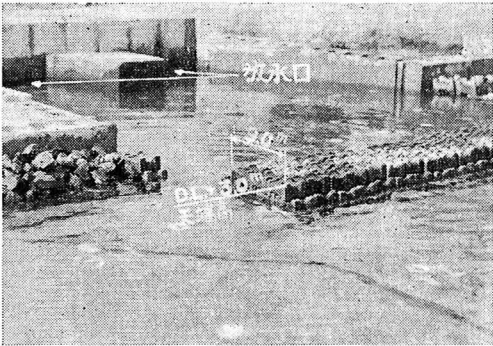


写真-4 離岸堤の設置状況

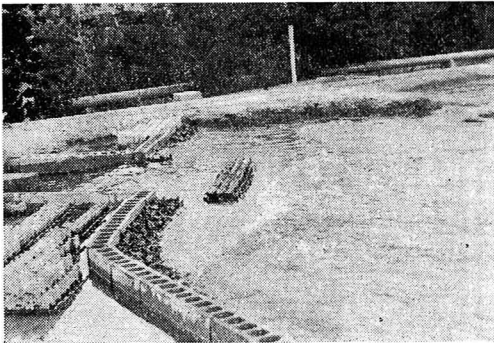


写真-5 離岸堤を設置した時の状況

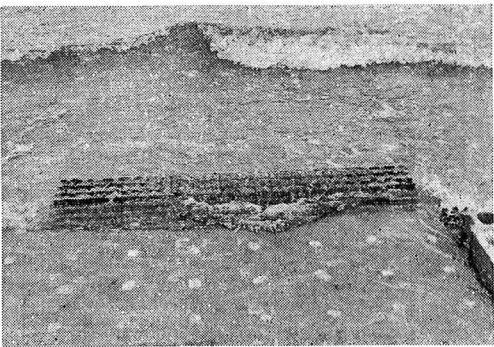


写真-6 離岸堤の天端から越波する状況

は離岸堤およびその 付近の波の状況を示す。図-6 (a) および (b) は離岸堤を設置して放水流量 $Q_p=0, 37.5\text{ m}^3/\text{sec}$ および $450\text{ m}^3/\text{sec}$ の場合における放水路の左右の延長線上の波高分布を示す。これによると $Q_p=0$ の場合と $Q_p=37.5\text{ m}^3/\text{sec}$ の場合の波高は離岸堤内ではほとんど同じ値を示している。これは、この程度の流量では波のエネルギーを減殺できないためである。 $Q_p=$

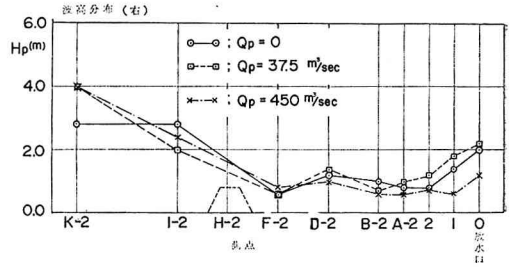


図-6 (a)

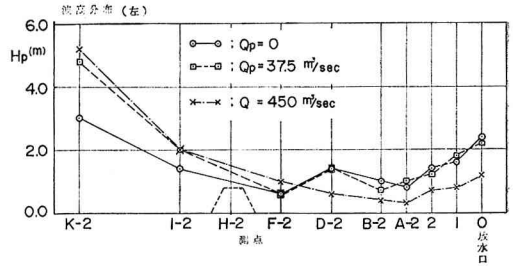


図-6 (b)

$450\text{ m}^3/\text{sec}$ では、 $Q_p=0$ および $Q_p=37.5\text{ m}^3/\text{sec}$ の時に比して離岸堤内の波高は小さい。しかし離岸堤を設けると堤外の測点 K-2 付近においては離岸堤がない場合より波高が大きくなる。これは離岸堤からの反射波が侵入波と衝突して、K-2 付近で砕波するからである。

(2) 放水路上部水槽の水位について

すでに述べたように、放水口前面付近の波高は離岸堤を設置することでかなり減少することが明らかになった。しかし、離岸堤を設けると、流れを堰上げるので、流速、流向の変化および放水路上部の放水槽の水位上昇を生じ、放水能力を減少させることが考えられたのでこれらの影響を明らかにするため放水槽の水位を測定した。表-1 は放水流量 $Q_p=0$ および $450\text{ m}^3/\text{sec}$ における放水槽の水位上昇高を示すものである。この水位上昇高は放水流量 $Q_p=0$ における静止水面 (D.L.+0.7m) を 0 とした値である。

表-1 放水槽の水位上昇高

放水流量 $Q\text{ (m}^3/\text{sec)}$	波高 $H\text{ (m)}$	周期 $T\text{ (sec)}$	放水槽の水位上昇高 (m)	
			離岸堤なし	離岸堤設置
0	7.0	13.0	0.80	0.40
450	"	"	1.40	2.40
450	—	—	0.40	1.20

表-1 で明らかなように、放水流量 $Q_p=0$ では離岸堤が大きな効果を示し、水位の上昇高は小さくなるが、 $Q_p=450\text{ m}^3/\text{sec}$ では離岸堤を設けると、流れが堰上げられ水位の上昇高は大きくなる。この上昇高 Δh は放水槽と放水路 (直径 D の円管) の出口 (それぞれ添字 i および 0 を付す) との間にベルヌーイの式を適用すると求

まる。計算は1本の放水管について求めた。

$$\frac{v_i^2}{2g} + \frac{p_i}{w_0} + z_i = \frac{v_0^2}{2g} + \frac{p_0}{w_0} + z_0 + h_r \dots (1)$$

ここで、

$v_i = Q/b_i h_i$, b_i : 放水管入口での水槽幅, h_r : 損失水頭, w_0 : 水の単位体積重量, $p/w_0 + z = h$: 水深であるから

$$\frac{v_i^2}{2g} + h_i = \frac{v_0^2}{2g} + h_0 + h_r \dots (2)$$

となる。損失として摩擦損失のみを考慮すれば

$$\Delta h = h_i - h_0 = \frac{v_0^2}{2g} \left(1 + f \frac{l}{D} \right) - \frac{v_i^2}{2g} \dots (3)$$

となる。ここで、 f : 摩擦損失係数, D : 放水管の直径, l : 放水管の長さ, $v_0 = Q/(\pi D^2/4)$: 放水管内の平均流速式(3)より Δh を計算する場合、 $v_i = 0$ の場合の Δh を第1次近似値 Δh_1 とおき、この Δh_1 を用いて $h_{i1} = h_0 + \Delta h_1$, $v_{i1} = Q/b_i \cdot h_{i1}$ を求めて Δh の第2近似値 Δh_2 を計算する。以下同様の手順を繰り返して計算を行なった結果、 $\Delta h_m = 1.03$ cm となる。なお、この計算に用いた値は次のとおりである。 $Q = 22.25$ l/sec ($Q_p = 225$ m³/sec), $D = 25$ cm ($D_p = 10$ m), $v_0 = 45.4$ cm/sec, $b_i = 25$ cm, $f = 124.6 n^2/D^{1/3}$, $n = 0.011 \sim 0.012 \div 0.0115$, $l = 5.75$ m ($l_p = 230$ m), $h_0 = 26.8$ cm ($h_{0p} = 10.7$ m)

実験によれば、 $\Delta h_m = 1.0$ cm ($\Delta h_p = 0.4$ m) で計算値と一致した。

(3) 放水管内の圧力について

放水口前面は波浪によって水面の変動が生ずるが、この水面変動は放水管内部へ圧力変動となって伝達される。この圧力変動は放水管頂部に鉛直に立てた透明管内(写真-3)の水面変動を測定して求めた。

いま放水口から上流への距離を x とし、その点での水面変動を a とする。次に沖波の波長を L_0 、放水口前面の鉛直壁での水面変動を a_0 とし、 a/a_0 と x/L_0 の関係を示すと図-7 のようになる。

これによると $T_p = 13.0$ sec, $T_p = 15.0$ sec ではほぼ直線となる。なお放水管上部の放水槽における水面の変

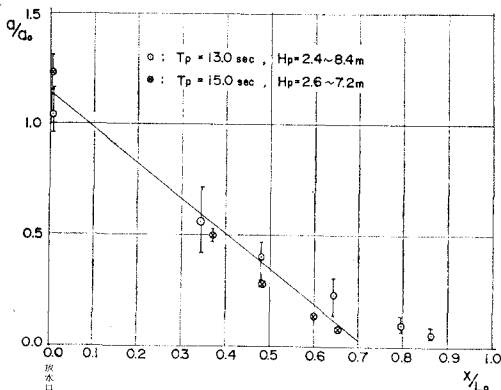


図-7 $a/a_0 \sim x/L_0$ の関係

動は、沖波波長 L_0 および放水口前面の水面変動 a_0 にほとんど関係なくほぼ 25 cm であった。また放水槽に近い放水管内の水面変動についても L_0 および a_0 によつては、ほとんど変化しなかった。放水管内部の圧力変動は、離岸堤の有無および放水流量の大小による影響は非常に小さい。なお放水管終端に設けた空気抜きの有無についてもあまり影響はないが、空気抜きがある場合がその圧力変動はわずかに大きいようである。

(4) 離岸堤の位置、長さおよび天端高について

離岸距離を大きくすると、放流水の堰上げが小さくなるが、侵入波浪が大きくなり、しかも離岸堤は強い波力を受ける。また離岸距離を小さくすると、侵入波浪および波力は小さくなるが、放流水の堰上げが大きくなる。

離岸堤を水深 $h = D.L. - 4.0 \sim -2.5$ m の場所に設置して検討した結果によると、図-3 に示す位置に長さ $l = 66$ m の離岸堤を設置すると、離岸堤の両側から流出する放流水の流速は大きくなり、この流れによって侵入波を阻止し、堤内波が小さくなる。また放流水の堰上げも小さい。なおこの位置において離岸堤長さをこれより大きくとっても、堤内波高に対する効果はない。離岸堤の天端高は D.L. + 3.0 m でよい。

(5) 放水口外側の波の状況および流向について

図-1 から明らかなように、放水口外側の等深線が放水口の右側(東側)において左側(西側)よりやや深くなっているため、NW波は一般に右側の波高が大きい。そのため砕波の後の波は右側から左側に流れる。このため離岸堤の有無に関係なく、放水口からの流出水は左側に向って流れる。図-3 の位置に離岸堤を設置すると、この傾向はさらに著しくなる(図-3 参照)。

4. 結 語

発電所の放水口を外海に直面した場所に建設すると、波浪が直接放水口に衝突し、放水口およびその付近を破壊するおそれがあるとともに、波浪の侵入により、放水能力が低下することが考えられる。特に放水口が海面以下に造られる場合には波の影響が大きい。

本文における放水口の底面は D.L. - 10.0 m であるが、放水口下流端から海底の部分は 1/10 勾配で D.L. - 3.0 m の海底まで掘削されている。このような形に放水口の外海側を造ると、大きな波浪は D.L. - 3.0 m 付近より沖側で砕波するので放水口が強い波力を受けることはない。したがって波浪によって、放水能力が著しく低下することもない。しかし放水路上流の放水槽の水位を安定させるため、および漂砂が放水口付近に堆積することを防ぐために離岸堤を設置する必要がある。

離岸堤は図-3 に示すような配置にすると波浪の侵入を防ぎしかも放水能力を低下させることはない。