

冷却水深層取水工の設計に関する 2, 3 の問題

千 秋 信 一*

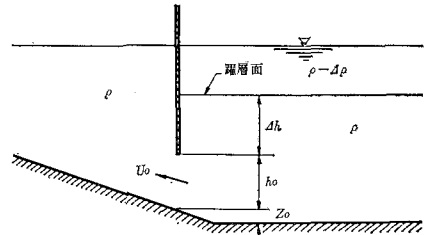
1. 深層取水工の形式

近時、内湾や埋立泊地内に面して建設される火力発電所においては、その復水器冷却水として、湾内への工場廃熱や排水による表層の高温汚染水をさけて、底層の良質な低温水を取水することが、タービンの熱効率を高め燃料運転費を節約するためにも、またコンデンサーチューブの汚染水による腐食を軽減防止するためにも必要な手段となっている。また水路に付着するマガキ、ムラサキイガイなどの海生物の幼生プランクトンやスクリーン閉塞障害をひき起こすミズクラゲの浮遊帯も大部分躍層以上の比較的表層にあるから、深層水の取水は海生物障害を緩和する面からも有効である。

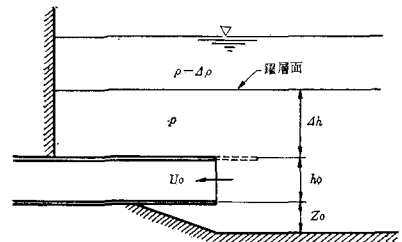
深層取水工は、密度流現象を利用して温度差にもとづく密度成層が形成されている水域において温度躍層面以下の低温の深層水を取水する構造物で、その形式には、(a) カーテンウォール式取水口、(b) 水平取水方式の海底取水管、(c) 鉛直取水方式の海底取水管が考えられる(図-1)。(a) のカーテンウォール式の深層取水設備は、2 次元的な取水特性に関する研究結果¹⁾にもとづいて、関西電力堺港火力発電所²⁾をはじめいくつかの発電所の冷却水取水口に採用せられ、夏期における低温水の取水や年間を通じての良質な海水の確保にその効果を発揮している。この方式の取水工は、取水口設置地点前面の水深が大きくまた取水量が比較的大なる場合に適する。

一方、海底取水管方式の深層取水設備は、従来比較的小容量のものが石油化学工業の工業用冷却海水の取水のために使用されてきたが、近年火力発電所の冷却水取水設備としても用いられ、電源開発磯子火力(管径 2 m×2 本, $Q=10 \text{ m}^3/\text{sec}$)や高砂火力(管径 2.8 m×2 本, $Q=20 \text{ m}^3/\text{sec}$)の例があり、さらに大規模なものも計画されている。この方式の深層取水設備は、取水口設置地点の水深が浅く、あるいは遠浅な地形であって、かつ取水量が比較的小なる場合に適する。これには水平取水方式と鉛直取水方式の 2 通りの形式が考えられ、その優劣は設置地点とそれぞれの取水特性から得られる構造物の規模によって異なる。両者とも海底面から適当な高さだけ上げて設置することによって、取水特性を良好にするばかりでなく、海底面の砂粒や汚染浮泥の流入を防止す

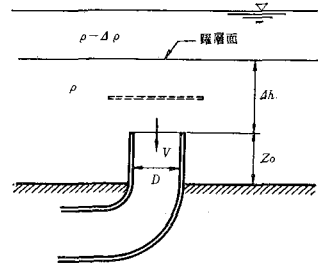
図-1 深層取水工の各種形式



(a) カーテンウォール式取水口



(b) 水平取水方式の海底取水管



(c) 鉛直取水方式の海底取水管

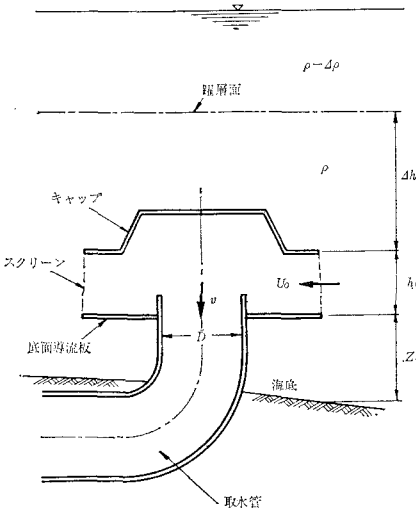
る上で、カーテンウォール方式よりもすぐれた効果を示す。

鉛直取水管の取水特性については、M.I.T. において実施した円形呑口の 3 次元実験による研究結果³⁾がある。この実験では、呑口上方にキャップを置いた場合などについても検討しているが、実施設計に役立つような工学的な資料は特に提示されていない。一方、水平取水方式は、取水管を海底に埋設せずに海底面上に布設する場合、鉛直取水方式よりも呑口先端を水深の小なる箇所に設置することができる利点があり、取水量と地形に応じて検討する価値のある取水方式であるが、従来この方式に関する研究結果がない。加うるに、鉛直取水方式の海

* 正会員 工博 財団法人電力中央研究所

底取水管の呑口も、実施設計上は図-1(c)に示すとき簡単なものではなく、スクリーンや塩素注入装置のとりつけ部、取水特性を良好にしかつ魚類の吸引を防止するためのキャップ、海底底質の掃流吸込みを抑制するための底面導流板等によって構成されるために、図-2に示すような形状をとるのが一般であり、その開口部に着目すればむしろ水平取水方式の呑口の特性をもつものと考えられる。したがって、鉛直取水方式の取水管呑口の水利設計に当っては、實際上、単なる鉛直取水管(図-1(c))の取水特性によるよりも、水平取水管の取水特性にもとづく方が合理的であると判断される。そこで、水平取水管の取水特性を明らかにするために、一連の基礎実験を実施した。

図-2 標準型鉛直取水管の呑口部の一般形状



2. 水平取水管の取水特性に関する基礎実験

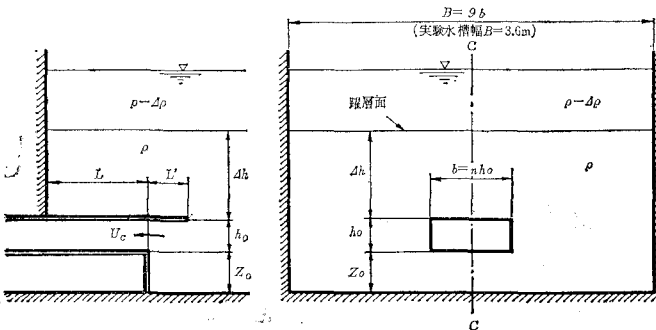
水平取水管の取水特性に関する諸量はつぎのとおりである(図-3 参照)。

b : 取水開口部(長方形)の幅

h_0 : 取水開口部の高さ

Δh : 躍層面から開口部天端までの深さ

図-3 水平取水管記号説明図



z_0 : 海底面から開口部敷までの上り

L : 開口部先端から背面地形(護岸など)までの水平距離

L' : 開口部天端にとりつけるひさしの水平突出長さ

$\rho-\Delta\rho$: 表層温水の密度

ρ : 深層低温水の密度

Q_c : 躍層面以下の深層水を取水する限界の最大取水量

u_0 : 取水限界条件における開口部での平均流速,

$$u_0=Q_c/bh_0$$

側方からの接近流の効果を考慮した長方形呑口の水平取水管の取水限界条件はエネルギー方程式から次式の形に導かれる。

$$F_{i0}=c\left(\frac{\Delta h}{h_0}\right)^{3/2} \dots\dots\dots (1)$$

ただし、

$$F_{i0}=\frac{u_0}{\sqrt{g\frac{\Delta\rho}{\rho}h_0}}, \quad u_0=\frac{Q_c}{bh_0}$$

c は流速分布に関する係数で、 $l=L/h_0$, $m=z/h_0$, $n=b/h_0$, $l'=L'/h_0$ の関数として実験的に定められるべき値である。

3次元基礎実験の結果得られた実験係数 c の値を表-1 ならびに図-4, 5 に示す。

表-1 実験係数 c の値

(A) (図-4 に図示)

		$n=4$			$n=2$	
		$m=0$	$m=1$	$m=2$	$m=1$	$m=2$
$l'=0$	$l=0$	1.17	1.47	1.90	1.47	1.90
	$l=3$	1.44	1.80	2.30	—	—
	$l=6$	1.70	2.15	2.80	2.15	2.75

(B) (図-5 に図示)

$n=4$ $m=1$	ひさしなし	水平ひさし				傾斜ひさし
	$l'=0$	$l'=0.5$	$l'=1$	$l'=1.5$	$l'=1$	$l'=1$
$l=0$	1.47	2.15	2.98	3.95	2.76	2.76
$l=6$	2.15	2.81	3.65	4.63	2.80	2.80

図-4 は限界取水特性におよぼす海底面および背後の地形地物(護岸など)の影響を示したもので、取水管開口部の位置が海底面より高いほど、あるいは呑口背後の水域の余裕が広いほど、同一の Δh および h_0 に対して限界取水量は大となるのがわかる。この図は開口部の形状が幅4:高さ1の長方形($n=4$)に対するものであるが、表-1の(A)に示されているように、幅2:高さ1の長方形開口部($n=2$)に対する係数値は $n=4$ に対する同一条件下の

値と全く等しい結果を示しており、取水特性におよぼす呑口形状（長方形の縦横比）の影響は $n=2\sim4$ の範囲では支配的でない。ただし n がかなり大きくなれば、開口部両側からの3次元的な流入の効果にくらべて2次元的な流入が支配的となり、係数値の小さくなる傾向が推

定される。一方、図-5 は取水口開口部の天端に突出せしめたひさしの限界取水特性におよぼす影響を示しており、水平型ひさしを突出せしめたことによる限界取水量増大の効果が明らかに認められる。反面、傾斜型ひさし

図-4 水平取水管の限界取水条件

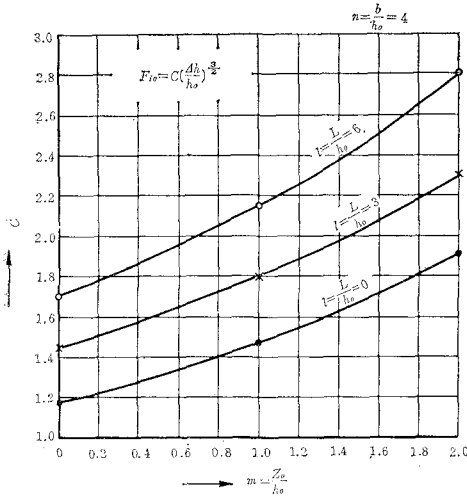


図-5 ひさしつき水平取水管の取水特性

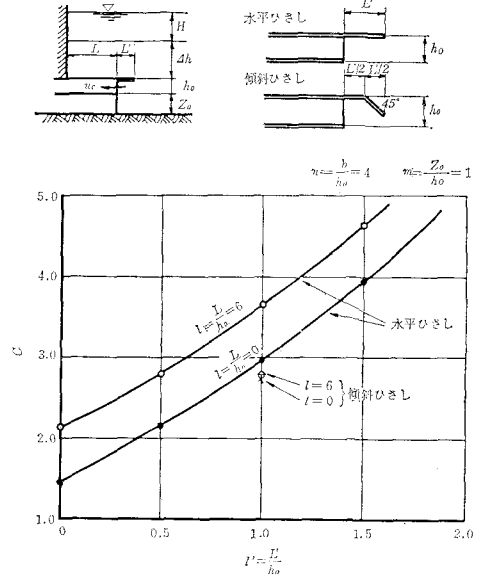
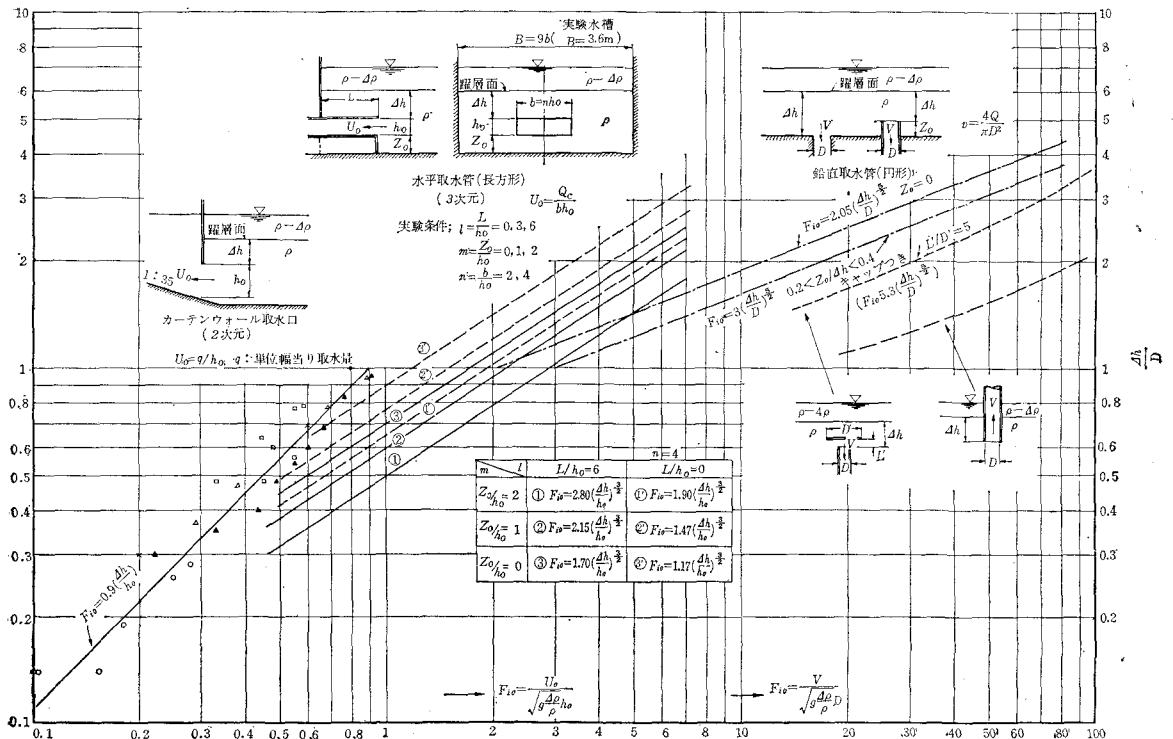


図-6 深層取水工の底層取水限界に関する特性図



は水平型ひさしにくらべてその効果は劣り、かつこの場合には呑口背後の水域の広さはほとんど無関係となる。

ここに得られた3次元的な水平取水管の限界取水特性を、カーテンウォール型取水口(2次元)や鉛直取水管(円形呑口)の限界取水特性(M.I.T.の実験結果)と比較図示したものが図-6である。

3. 深層取水工の水理設計

(1) 限界取水のための必要最小水深を与える経済的開口高計算法

水平取水方式の海底取水管もしくはカーテンウォール型取水口の水理設計において、躍層面から取水開口部天端までの深さ dh が小さいときは取水流速を落して躍層面の低下を抑制するために開口高 h_0 を大きくする必要があり、また反対に、開口高を小さくするときは同じ与えられた取水量に対して取水流速が大となるので躍層面からの深さを大きくする必要がある。このような限界取水の特性から、 dh と h_0 の和が最小となるような条件が存在するはずであって、そのような条件の下に取水口を設計すれば、与えられた最大取水量を二成層水域の下層(冷水層)のみから取水することができる必要最小水深の位置を決定することができ、理論上は最も経済的な設計ということになる。このような考え方にもとづく開口高 h_0 とそれに対応する設置深さ dh とを算定する方法を経済的開口高計算法と名づける。

a) 水平取水管(開口部形状長方形)の場合 所要の取水量に対して $z_0 + h_0 + dh$ (取水開口部設置位置の躍層面から海底までの深さ)を最小ならしめる開口高 h_0 が最も経済的な取水口寸法を与えることになるという考え方から、式(1)にもとづき

$$\partial(z_0 + h_0 + dh)/\partial h_0 = 0$$

より、

$$h_0 = \left\{ \frac{2}{3(1+m)} \right\}^{3/5} \left(\frac{Q}{nc\sqrt{g\frac{d\rho}{\rho}}} \right)^{2/5} \dots\dots(2)$$

これに対応する設置深さは

$$dh = \left(\frac{Q}{nc\sqrt{g\frac{d\rho}{\rho}}} \right)^{2/3} \frac{1}{h_0^{2/3}} \dots\dots(3)$$

b) カーテンウォール型取水口の場合 カーテンウォール型取水口の2次元実験の結果にもとづく取水限界の条件式 $F_{i0} = 0.9(dh/h_0)$ より、 $h_0 + dh$ を最小ならしめる経済的開口高 h_0 は、

$$h_0 = \left(\frac{q}{2 \times 0.9\sqrt{g\frac{d\rho}{\rho}}} \right)^{2/3} \dots\dots(4)$$

これに対応する設置深さは、

$$dh = \frac{q}{0.9\sqrt{g\frac{d\rho}{\rho}}} \frac{1}{h_0^{1/2}} \dots\dots(5)$$

ここに、 q : 単位幅当りの取水量

この経済的開口高計算法によって設計した水平取水管の数例を表-2に示す。設計条件は、最大取水量 $Q = 11 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、躍層厚さ $H = 4 \text{ m}$ 、上下2層間の相対密度差 $d\rho/\rho = 0.0017$ (温度差 $\Delta T = 5^\circ\text{C}$ に相当)である。

表-2 経済的開口高計算法による水平取水管の設計例 ($n=4$)

No.	条 件	dh (m)	h_0 (m)	z_0 (m)	所要水深 (m)	u_0 (m/s)
1	$l=6, m=0, l'=0$	3.23	2.16	0	9.39	0.590
2	$l=6, m=1, l'=0$	3.88	1.30	1.30	10.48	1.627
3	$l=6, m=1.5, l'=0$	4.04	1.08	1.62	10.74	2.360
4	$l=6, m=0.5, l'=1$	2.88	1.28	0.64	8.80	1.678

(2) 限界取水時の躍層面の安定を保つような取水流速を規定する設計計算法

経済的開口高を求める設計法は、開口部設置地点を水深のできるだけ浅い箇所に選び、かつ開口部寸法を必要最小にするという経済的な観点に立った設計法であるが、その結果から導かれる平均取水流速はともすれば大きくなりがちである。それが設計理論上は許容される流速値ではあっても、大きな平均取水流速は躍層面での乱れ混合を助長し、上層温水の混入を帰結するから、実施設計の面からはさけるべきである。そこで、取水開口部における平均流速を躍層面に不安定な動揺を与えないような値に規定して、この条件下で限界取水特性を満たすような諸量を求めるのが実際の設計法であると考え

a) 水平取水管の場合 ($b=nh_0$ の長方形呑口)

$$h_0 = \sqrt{\frac{Q}{nu_0}} \dots\dots(6)$$

$$dh = \left(\frac{u_0}{c\sqrt{g\frac{d\rho}{\rho}}} \right)^{2/3} h_0^{2/3} \dots\dots(7)$$

開口部における平均取水流速 u_0 を規定すると、与えられた最大取水量 Q に対して式(6)より h_0 が求まり、ついで式(7)により dh が求まる。

b) カーテンウォール型取水口の場合

$$h_0 = \frac{q}{u_0} \dots\dots(8)$$

$$dh = \left(\frac{u_0}{0.9\sqrt{g\frac{d\rho}{\rho}}} \right) h_0^{1/2} \dots\dots(9)$$

ここに、 q : 単位幅当りの取水量、 u_0 : 規定取水流速
規定取水流速 u_0 の値としては、二成層境界面の安定条件式から、 $u_0 = 0.10 \sim 0.20 \text{ m/sec}$ にとるのが適当である。

この設計計算法による2, 3の設計例を表-3に示す。設計条件は、3.(1)の設計例と同一である。

(3) 標準形鉛直取水管の設計法

鉛直取水方式の海底取水管の呑口は1.で述べたような種々の目的のために実施設計上は図-2に示すような

表—3 平均取水流速を規定する設計法による設計例

No.	条 件		Δh (m)	h_0 (m)	z_0 (m)	所要水深 (m)	b (m)	規定取水流速 u_0 (m/ece)
1	$n=4$ の水平取水管	$l=0, m=0, l'=0$	2.88	3.70	0	10.58	14.8	0.20
2		$l=0, m=0, l'=0$	3.30	3.00	0	10.30	12.0	0.30
3		$l=6, m=1, l'=0$	1.92	3.70	3.70	13.32	14.8	0.20
4		$l=6, m=0.3, l'=0.4$	1.82	3.70	1.11	10.63	14.8	0.20
5	2次元カーテンウォール ($l=0, m=0, l'=0$ に相当)		3.32	3.72	0	11.04	14.8	0.20

形状をとるのが一般である。このような標準形の鉛直取水管はその開口部に着目すれば、水平取水方式の呑口の取水特性をもつものと考えられる。そこで、その設計計算においては、標準形鉛直取水管の呑口が、円周上に配置された長方形水平取水口の合成であると考えて、水平取水管の限界取水特性を適用するものとする。

上面キャップ円板および底面導流板の直径を等しいものとして D' とし、この上下板の間隔 h_0 を開口高とし、板の円周長 $\pi D'$ を展開して α 分割し、 $b=\pi D'/\alpha$ と h_0 との比が n であるような長方形部分に、それぞれ水平取水管の限界取水条件式を適用する。取水開口部としては円周長を α 分割したうちの β 個とし、 $(\alpha-\beta)$ 個の部分は取水に有効に寄与しないものとする。それは、四周のひらけた海底に呑口が設置される場合は全円周長を有効開口長と考えてよいが、付近の海底地形の影響や護岸の存在などのためにその前面の水域が狭隘であるような部分については、限界取水の特性があてはまらないものとして、その部分は取水にあずからないと考えるのが安全側な設計といえるし、また実施設計上からもそのような部分を開口部とせずむしろ閉塞した方が、前面の狭隘な水域ないしは護岸線付近に通常形成される比較的底層まで進入した温水塊を吸引しない点で効果的である。

a) 取水流速を規定する設計法

$$\frac{b}{h_0} = \frac{\pi D'/\alpha}{h_0} = n$$

より

$$h_0 = \frac{\pi D'}{n \alpha} \dots\dots\dots(10)$$

一方、

$$u_0 = \frac{Q}{\pi D' \frac{\beta}{\alpha} h_0} \dots\dots\dots(11)$$

であるから、式 (10)、(11) 両式より D' を消去して、

$$h_0 = \sqrt{\frac{Q}{n \beta u_0}} \dots\dots\dots(12)$$

したがって、取水量 Q を与え、平均取水流速 u_0 を規定すれば、式 (12) から h_0 が求まり、ついで式 (7) から Δh を算定することができる。

b) 呑口設置点の水深を最小ならしめる経済的設計法

$z_0+h_0+\Delta h$ を最小ならしめる D' が最も経済的な呑口寸法を与えるものとして、 $\partial(z_0+h_0+\Delta h)/\partial D'=0$ より、

り、

$$D' = \left(\frac{2n\alpha}{3\pi(1+m)} \right)^{3/5} \left(\frac{Q}{c\pi\frac{\beta}{\alpha}\sqrt{g\frac{\Delta\rho}{\rho}}} \right)^{2/5} \dots\dots\dots(13)$$

経済的設計法の手順としては、与えられた取水量 Q に対して式 (13) より D' を求め、式 (10) より h_0 、式 (11) より u_0 を求め、式 (7) から Δh を算出する。

なお、水平取水管の取水特性を標準形鉛直取水管の設計に適用する場合には $l=0$ として限界取水条件式中の係数値を定めるのが妥当であると考えられる。

標準形鉛直取水管の設計例

設計条件は前と同じく、

$$Q=11 \text{ m}^3/\text{sec}, H=4 \text{ m}, \Delta\rho/\rho=0.0017,$$

〔例 1〕 $n=4, \alpha=4, \beta=3$ とする (全円周の 3/4 の部分に開口部を設ける)。 $u_0=0.20 \text{ m/sec}$ と規定すると、

$$h_0 = \sqrt{\frac{Q}{n\beta u_0}} = \sqrt{\frac{11}{4 \times 3 \times 0.20}} = 2.140 \text{ m}$$

$$D' = \frac{n\alpha h_0}{\pi} = \frac{4 \times 4 \times 2.140}{3.14} = 10.90 \text{ m}$$

開口部全長は $b=n h_0 \beta=4 \times 2.14 \times 3=25.68 \text{ m}$ 、

$l=0, m=0.5$ 、ひさし $l'=0.4$ とする。

図—4 より $l=0, m=0.5$ に対して $c=1.31$ 、よって図—5 より $l'=0.4$ に対して $c=1.85$ 、

$$\begin{aligned} \therefore \Delta h &= \left(\frac{u_0 h_0}{c \sqrt{g \frac{\Delta\rho}{\rho}}} \right)^{2/3} \\ &= \left(\frac{0.20 \times 2.140}{1.85 \times \sqrt{9.8 \times 0.0017}} \right)^{2/3} = 1.476 \text{ m} \end{aligned}$$

$$z_0 = m h_0 = 0.5 \times 2.14 = 1.07 \text{ m}$$

所要水深は

$$H + \Delta h + h_0 + z_0 = 4 + 1.48 + 2.14 + 1.07 = 8.69 \text{ m}]$$

ひさし突出長

$$L' = l' h_0 = 0.4 \times 2.14 = 0.856 \text{ m}$$

〔例 2〕 開口高と開口長との比率 n を変えた場合について検討する。

$$n=2, \alpha=4, \beta=3$$

$$l=0, m=0.3, l'=0.4$$

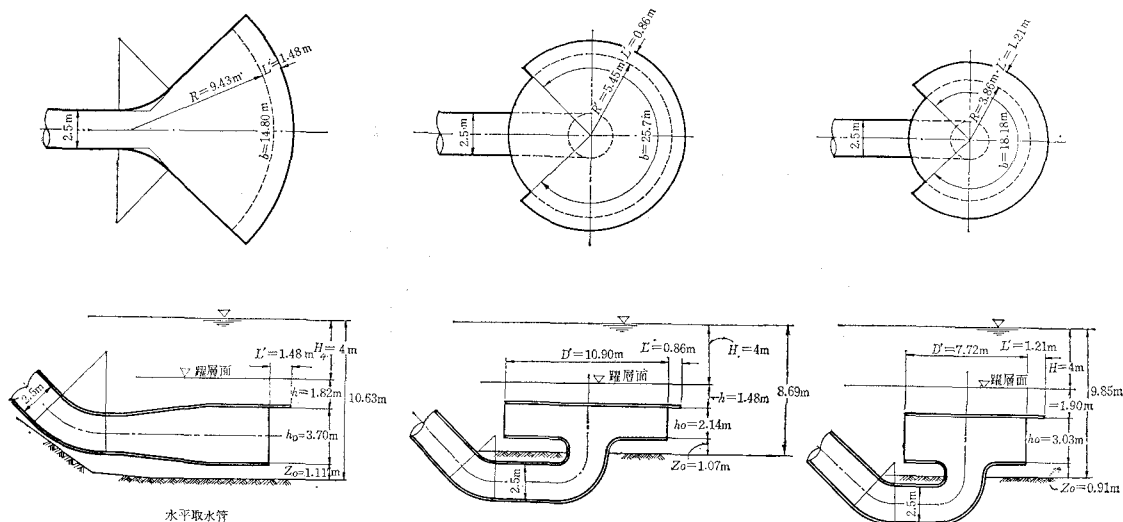
図—4, 5 より、 $c=1.80$ 、

$$h_0 = 3.030 \text{ m}, D' = 7.72 \text{ m}, b = 18.18 \text{ m}$$

$$\Delta h = 1.896 \text{ m}, z_0 = 0.903 \text{ m}, L' = 1.212 \text{ m}$$

所要水深は

図-7 海底取水方式の深層取水設備の設計例



$$H + \Delta h + h_0 + z_0 = 4 + 1.90 + 3.03 + 0.91 = 9.85 \text{ m}$$

表-3 No. 4 の水平取水管 ($n=4$) およびここに示した標準形鉛直取水管 ($n=4, n=2$) の計算結果にもとづく設計図例を図-7 に示す。いずれも開口部における平均取水流速を $u_0=0.20 \text{ m/sec}$ に規定した設計法によるものである。取水管を海底面上に設置する場合には水平取水方式の方が浅い水深で足りるが、取水管先端部を海底面下に埋設して設置する場合には鉛直取水方式の方が設置箇所の水深は小さくてすむ。一方、標準形鉛直取水管においては開口部の比率に関して $n=4$ よりも $n=2$ とした方が所要水深は僅かに大きくなるが吞口構造物の容積は $2/3$ となって、全体として $n=2$ とした方が経済的な設計といえることができる。

(4) 限界取水条件をこえて上層水の混入を許容する設計計算法

前節までに述べた設計法は限界取水の場合であって、躍層面が取水開口部の天端以下に下らず、上層温水を混入取水しないような条件についての設計である。深層取水工の設計に当ってはこのような混入率を 0 とする限界取水の条件について行なうことを原則とするのがのぞましいが、ある程度混入率を許容すること（たとえば海面水位が干潮位の時にのみ混入率を許す、など）によって、施工、材料の面で著しく経済的となるような場合には、限界取水条件を緩和した設計を行なうことも必要である。以下に、混入率を考慮した深層取水工の計算法を述べる。この計算法を用いれば、逆に既設の取水口について混入率が何程であるかを知ることでもある。

全取水量に対する上層温水の混入量を混入率と定めて λ であらわせば、混入率 λ を許容する場合の躍層面から開口部天端までの所要深さ Δh は、規定した取水流速 u_0 に対する開口高 h_0 を与えるとき、次式によって算定す

ることができる。

$$\Delta h = \Delta h_c (1 - \lambda)^{2/3} - \lambda h_0 \quad \dots\dots\dots (14)$$

ここに Δh_c は混入率 0 に対する限界取水時の躍層面から開口部天端までの深さで、式 (7) で算定される。なお、混入率 λ に対する平均取水温度 T_0 は、上層水の水温を T_1 、下層水の水温を T_2 、水温差を $\Delta T = T_1 - T_2$ とするとき、

$$T_0 = \lambda T_1 + (1 - \lambda) T_2 = T_2 + \lambda \Delta T \quad \dots\dots\dots (15)$$

となる。

前節の標準形鉛直取水管の〔設計例 2〕について、混入率 20% を許容した場合の Δh を計算すると、

$$\Delta h_c = 1.896 \text{ m}, h_0 = 3.030 \text{ m}, \lambda = 0.20$$

であるから、式 (14) により、

$$\Delta h = 1.896(1 - 0.2)^{2/3} - 0.2 \times 3.030 = 1.026 \text{ m}$$

となる。

4. 実測による深層取水設備の効果

関西電力・堺港火力発電所の冷却水取水工はカーテンウォール式深層取水設備として設計され²⁾、その前期計画 (4 基、計 100 万 kW、設計最大取水量 $50 \text{ m}^3/\text{sec}$) に対する取水口は 1964 年 (昭和 39 年) 6 月に完成した。その設計条件および取水口寸法はつぎのとおりである。

設計条件;

海面標高: L.W.L. O.P. ± 0

躍層面標高: O.P. -4 m

設計取水量: $100 \text{ m}^3/\text{sec}$ (最終計画における冷却水最大使用水量)

取水カーテンウォールの正面幅 130 m として単位幅当り取水量 $q = 0.768 \text{ m}^3/\text{sec/m}$

上下両層の相対密度差: $\Delta \rho / \rho = 0.0017$ (5°C の温度差に相当)

図-8 堺港火力発電所深層取水口カーテンウォール
外側水温分布実測結果

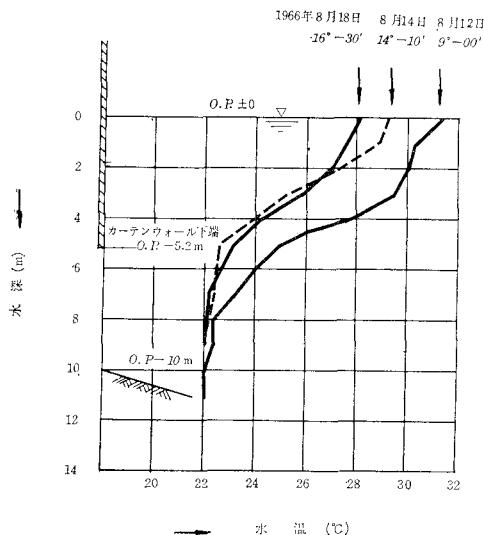
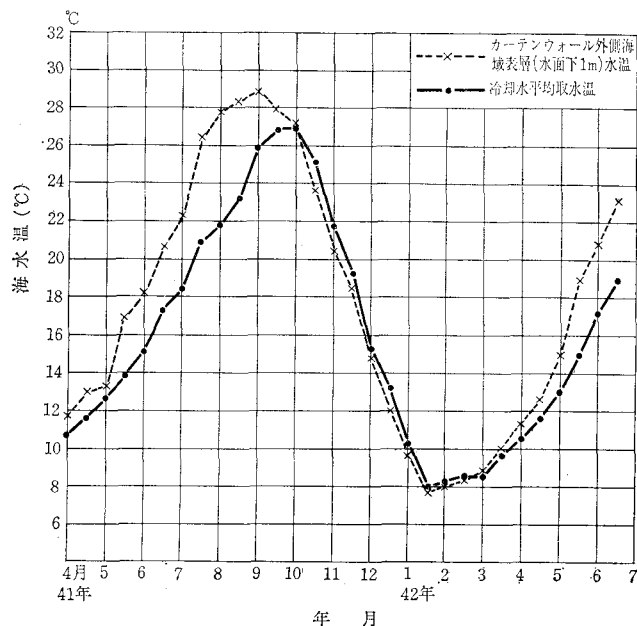


図-9 堺港火力発電所取水口における水温実測値
(前期計画カーテンウォール型深層取水口について、
設計最大取水量 50 m³/sec)



混入率: L.W.L. 時に 20% の表層温水の混入を許容

取水口に関する諸量

カーテンウォールの設置位置の海底標高

O.P. -10 m

カーテンウォール下端標高 O.P. -5.2 m

取水口開口高 $h_0 = 4.8$ m

平均取水流速 $u_0 = 0.16$ m/sec

このカーテンウォール式深層取水設備の完成直後の盛夏期に、1号機の冷却水量 12.5 m³/sec の取水について、カーテンウォール内外の水温、水質の実測を行なった結果はさきに報告したが¹⁾、その後 4号機まで完成し、前期計画の設計取水量 50 m³/sec の取水を開始した 41 年 4 月以降の水温実測結果を図-8 および図-9 に示す。図-8 によれば、8 月盛夏期において、カーテンウォール前面海域に厚さ約 5 m の水温躍層の形成が認められる。図-9 によれば、4 月より 9 月末までの間、冷却水平均取水温は取水口前面の表層水温より低く、特に 7 ~ 8 月において最大 6°C 内外低く、カーテンウォール式深層取水設備の効果を立証している。10 月ないし 3 月の間は水温鉛直分布が一樣で明白な躍層を形成せず、時には表層が逆に低温となる場合もあるので、平均取水温は海域表層水温とほぼ等しいか、あるいはこれより多少高くなる傾向を示す。

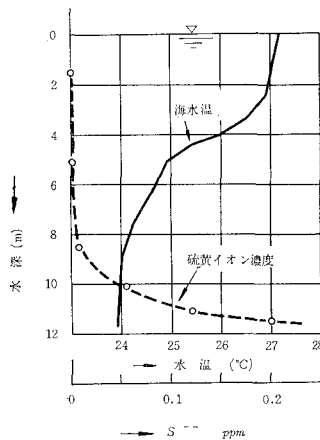
カーテンウォール式深層取水設備が低温良質の冷却水の取水に効果を発揮していることは、上記堺港火力発電所をはじめ当所で設計した他の 2, 3 の発電所においても認められているが、この形式の取水工において注意すべき事項として取水口前面底質の汚染浮泥の掃流吸込みによるコンデンサーチューブの異常腐蝕がある。すなわち、埋立泊地内などの海水の滞留しがちな水域では水中の溶存酸素が欠乏するとともに、周辺河川から流入する都市下水や沿岸工場から排出される工業廃水等によって海底底質に有機汚濁物質が堆積し、硫酸塩還元菌の活動をうながす嫌気性状態が醸成される。このような下地のもとに、還元菌の繁殖に好適な海水条件(水温 25~30°C, pH 6.5 ~ 7.5 といわれる)がととのうと、バクテリアの増殖活動が活発となり、硫化水素、アンモニアなどの分解生成物を多量に発生し、これが取水とともに復水器内に吸い込まれてコンデンサーチューブの突発的な腐蝕を惹起する。

Q 発電所における実測によると、異常汚染発生時のカーテンウォール前面海底の硫黄イオンの濃度分布は、図-10 のようであって、海底面から 2~3 m の範囲において急増し、海底面における最高濃度は 0.2 ないし 0.6 ppm を記録している。

このような異常汚染による被害を最小限にとどめるためには、カーテンウォール型深層取水口にあつては、取水水域底質における有機物堆積の防除、底質物質ならびに周辺海水の分析・監視、取水カーテンウォール前後の海底浮泥の沈着などの予防措置につとめ、いったん異常汚

染発生の徴候が感知されたときは塩素等の薬品注入を行ない、状況によっては出力制限(冷却水使用水量の制限)を行なうことも考慮しなくてはならない。この点、鉛直型海底取水管を用いれば、取水先端を海底面から高めて設置することができるから、汚領域の海水や底染質浮泥の吸い込みの防止は効果的に行なわれる。

図-10 異常汚染時の硫酸イオン濃度分布



て来襲と被害が目立ち、泊地内や防波堤背後の発電所における被害は僅少ないし皆無である。相隣る2つの発電所でも、潮汐流に対する取水口ないし取水泊地の開口方向が相異なるために、一方に大きな被害を生じたときでも他方における被害が皆無であるような事例もある。

(4) 事故の内容と対策: 共通的な事故の形態としては、つぎつぎと押し寄せるくらげによって取水口スクリーンが閉塞し、スクリーンの損失落差が大となって、まず最初にロータリースクリーンのシャープピンが切損し、スクリーンの除塵操作が止まり、スクリーンの破損、冷却水循環ポンプの一部停止、出力制限へと波及する。その対策としては、現在のところ一般に取水口前面にくらげ防止網を配置することが行なわれているが、パースクリーンを改造してトラッシュレイキスクリーン(つめつきくまで式かき上げ装置)を用いることにより、くらげの除去作業にかなりの能率を上げ、被害を僅少にとどめている報告例がある。

以上、現在までの調査結果から判定して、くらげによる事故に対する水理学的な対策の第一として、冷却水取水口の配置を周囲の環境条件に対し適切に選定することが必要であると考え。また取水口の形式としては、くらげの浮遊帯から考えて通常の表層取水よりも深層取水形式の方が、くらげの流入軽減に十分な効果を期待することができるであろう。しかし湾の最奥部に設けたカーテンウォール式深層取水工において、潮にのって押し込まれたくらげの大群が行き場を失いカーテンウォール下端から取水口へ流入し、大きな被害を出した事例があるから、カーテンウォールを設ける位置を潮の行き止まりになるような箇所に配置せず、流れをそらすような位置、方向に設けるか、あるいは海底取水管方式として取水口の上層にそってくらげを行き過ごさせるようにすれば一そう効果的であると考え。この問題については水理学的な立場からなおひきつづき調査検討を進めている。

参考文献

- 1) S. Senshu & A. Wada: Study on bottom water intake for condenser cooling system of power station sited on a bay, Proceedings of 10th Conference of Coastal Engineering (Tokyo) 1966, Sept.
千秋信一: 火力発電所冷却水の深層取水, 第8回発電水力講習会テキスト, 1966年2月。
- 2) 千秋信一・和田 明: 堺港火力発電所冷却水深層取水に関する水理学的検討, 電力中央研究所技術研究所報告, 土木64008 (1964年9月),
- 3) Harleman, D.F., Morgan, R.L. and Purple, R.A.: Selective withdrawal from a vertically stratified fluid, Proceedings of 8th Congress of I.A.H.R. (Montreal) 1959, Aug.
- 4) 佐藤修一: くらげ排除対策に関する調査研究, その1, 東京電力技術研究所, 1967年2月, その他の調査結果は電力各社の部内資料を参照した。

5. くらげによるスクリーン閉塞障害に対する深層取水工の効果

近年全国各地の火力発電所が夏期ミズクラゲの大群の来襲を受けてスクリーン閉塞障害を惹起するような事故が相次いでいる。近海におけるくらげの発生, 来襲は最近に限らず往時からあったことであるが, 火力発電所の立地が近年比較的外海に面して選定されることと, ユニットの大容量化にともなう冷却水使用水量の増大が, くらげ来襲にともなう事故の規模を顕著なものにしているものと思われる。くらげによる冷却水取水口の被害の実態については, 近時電力各社において組織的な調査が始められるようになり, その結果を逐次総合して適切な対策を立てることができるものと考えているが, 現在までに行なわれた3ヶ地点における調査結果⁹⁾にもとづき共通的な事項を述べてみるとつぎのようである。

(1) ミズクラゲの性状: ミズクラゲの個体は傘の平均径 15~35 cm, 個体重量 400~600 g で, 比重は海水に非常に近く, 海水の比重の変化に対して数時間で適応する。水平分布範囲は 50~400 m の円状群集をなし, 鉛直分布は 0~7 m の水深にわたり, 特に 2~6 m の範囲に多い。密度は 1 m³ 中に最大5匹の観測例がある。その群集の移動には潮流および風向が関与しているものと思われる。

(2) 来襲時期: 4~9月, 最盛期は5~7月で, 来襲と年間気象との関係を調べると, 年間を通じて海水水温および気温が高く, 雨量が少なく, 風速が小さい年に来襲の多いことが認められる。来襲日直前の気象, 海象との関係は未だ十分関連づけられていない。

(3) 来襲を受ける発電所の立地, 外周環境: 一般的にいて, 取水口が海に面して開いている発電所におい