

簡易解法による温排水拡散予測

PREDICTION BY SIMPLE ANALYSIS OF WARM WATER DIFFUSION

北 松 治 男*
By Haruo KITAMATSU

1. 序 論

簡易な、一様扇型拡散モデルでも温排水拡散面積は、ほぼ妥当に算定できる¹⁾。しかし、現実の温排水問題では単に拡散面積を求めるだけではなく、水温影響の及ぶ範囲が重要となる。したがってこの解法を拡散予測に用いるためには、扇型とした拡散形状を実情に合うように修正し、恒流すなわち拡散海域に存在する一方向流れによる形状のひずみなども定量化する必要がある。

そこで、2. において、水温分布を求めやすいように解法の展開をはかるとともに、流れの場に対しても拡張した。3. では、具体的な予測への適用をはかり、その結果を実測や数値シミュレーションと比較し、予測法としての位置付けを考えた。

さらに、4. では、簡易解法に立脚して、拡散と放水口構造のかかわりを分析した。

5. では、拡散面積の縮小を意図する場合の施設対策を中心として、放水計画への提言を述べた。

2. 簡易解法の拡張

(1) 水温分布型の導入

恒流が微弱な場合の簡易な拡散モデルとして、点源放出された温排水が、一様な層厚で、一様な拡がり角度で一様に流れる図 1 のモデルを考えた。

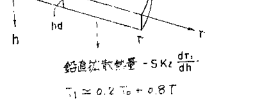


図-1 基本拡散モデル

流れの方向に水平渦動拡散、下層との間に鉛直渦動拡散、大気との間に蒸発等の熱収支を見込むこ

とすると、恒流が微弱な場合の簡易解法の基本式は熱量収支および連続式を解いた式 (1)、鉛直方向の熱量補正の式 (3) などにより示される¹⁾。

$$r = \left(\frac{Q}{\theta h_d a n} \ln \frac{T_0 - \Delta T}{T_0 - \Delta T - T} \right)^{1/n} \dots\dots (1)$$

$$S = r^2 \theta / 2 \dots\dots (2)$$

$$\Delta T = \frac{S}{Q} \left(\frac{K_z}{h_d} + A_1 \right) (0.2 T_0 + 0.8 T) \dots\dots (3)$$

ここに、 r =水温 T となる拡散距離、 Q =放水量、 θ =拡散角、 h_d =温排水層厚、 $K_r = ar^n$ =水平拡散係数で、 a, n はその係数、沿岸域の流速測定例で a と n は次式の関係にある。 $a = 4.7482 \times 0.001613^n$ 、 T_0 =放水温度上昇、 $T=r$ 点の水温上昇、 ΔT =大気と下層への熱量伝達による水温低下、 S =水温上昇 T 以上の拡散面積、 K_z =鉛直拡散係数、 A_1 =大気熱収支係数である。

さらに、実際の放水口諸元から温排水の層厚 h_d を求めることとし、 $A = B/h_0$ 、 B =放水幅、 $h_0 = Q/(u_0 B)$ =放水高、 u_0 =放水速度、 F_{d0} =放水口の内部フルード数、 h_b =放水口前面の水深、 \bar{Q} =流量連行による流量のふくらみ率などと置けば、層厚 h_d は次のようになる¹⁾。

$$\left. \begin{aligned} &F_{d0} > 1 \text{ の場合 } h_d = 0.35 A^{0.23} F_{d0} h_0 \\ &\quad \quad \quad \text{ただし, } 0.35 A^{0.23} \leq 1 \\ &\quad \quad \quad \bar{Q} = F_{d0}^{1/2} \\ &F_{d0} \leq 1 \text{ の場合 } h_d = F_{d0}^{2/3} h_0 \end{aligned} \right\} \dots\dots (4)$$

ただし、いずれの場合も $h_d \leq h_b$ でなければならない。

以上を基本式として、次に解法の拡張をはかると、水温の分布型を、温排水層の横断方向と鉛直方向について、次の正規分布と仮定する。

$$T_2 = T_m \cdot g_1(\xi) \cdot g_2(\eta) \dots\dots (5)$$

$$\text{ただし, } g_1(\xi) = g_1\left(\frac{w}{b}\right) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{w}{b}\right)^2}$$

$$g_2(\eta) = g_2\left(\frac{z}{h/2}\right) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{z}{h/2}\right)^2}$$

ここに、 T_2 =断面の任意点の水温、 T_m =断面の軸芯表

* 正会員 東北電力(株)土木部調査役

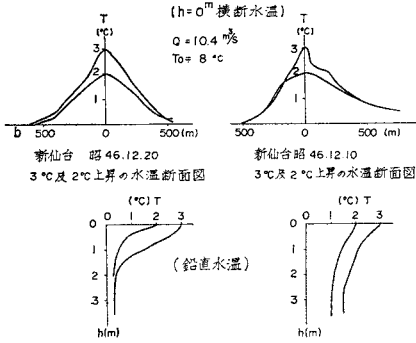


図-2 水温断面の一例

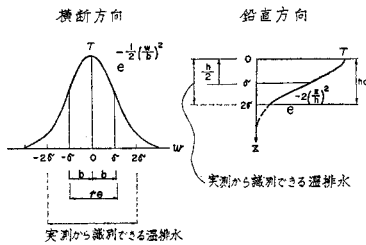


図-3 水温分布形の仮定

層水温、 $\xi=w/b$, $\eta=z/h/2$, w と z =横断および鉛直座標で、軸芯表層を 0 とする。 $g_1(\xi)$ =横断方向の水温分布形で $b=\sigma$ の正規分布、 $g_2(\eta)$ =鉛直方向の水温分布形で $h/2=\sigma$ の正規分布、 b と h =水面半幅と水深に関する代表長さとする。

水温分布形の一例を図-2 に、仮定した分布形を図-3 に示した。両者は類似しているように見える。

この分布形は対称なので、半幅を考える。水温の断面積算値は、式(5)を積分して求めることができる。積分範囲は横断方向については 0 から ∞ までとし、鉛直方向については水面から水底までとすればよいが、鉛直方向は水深が有限で一律に積分範囲を決めたいので、図-3 の点線部を無視し、5% の誤差を許して $\eta=0$ から 2 まで、すなわち、 $Z=0$ から h までとした。

$$\int_0^\infty g_1(\xi) d\xi = \int_0^\infty e^{-\frac{1}{2}\xi^2} d\xi$$

$$= 0.500 \sqrt{2\pi} \sigma = \sqrt{\pi/2} b$$

$$\int_0^2 g_2(\eta) d\eta = \int_0^2 e^{-\frac{1}{2}\eta^2} d\eta$$

$$= 0.4772 \sqrt{2\pi} \sigma$$

$$= 0.4772 \sqrt{2\pi} h/2$$

である。拡散幅 $r\theta=2b$, 表層水深

$h_d=h$ と表わし、この幅と深さと断面平均水温 T の積を分布形のそれと等しくなるようにすれば、

$$T \cdot b \cdot h = T_m \cdot \sqrt{\pi/2} b \cdot 0.4772 \sqrt{2\pi} h/2$$

これより断面の平均水温 T と最大水温 T_m の関係は次のようになる。

$$T=0.75 T_m \text{ あるいは } T_m=1.33 T \dots\dots\dots (6)$$

式(1),(3)の T は、 r 点の断面平均水温であるから、平面図上で温排水の軸芯表層温度を求めるには、式(6)を、式(1)~(3)と連立して解けばよい。

式(1)~(3)をそのまま数値計算することもできるが、式(1)に式(2),(3),(6)を代入すると次のごとく扱いやすくなる。

$$e^{C_1 r^{-n}} = \frac{T_0 - C_2 r^2}{T_0 - C_2 r^2 - 0.75 T_m}$$

ここに、 $C_1 = \frac{Q}{\theta h_{dan}}$

$$C_2 = \frac{\theta}{2Q} \left(\frac{K_z}{h_d} + A_1 \right) (0.2 T_0 + 0.6 T_m)$$

.....(7)

式(7)は、右辺分母が正であるように r の範囲を定め、その範囲で、左辺-右辺=0となる r を逐次近似計算により求めるのがよいようである。

(2) 恒流場への簡易解法の拡張

一方向流れがある海域の温排水は、渦動拡散を受けながら場の流れ(恒流)の影響で移流するので、拡散時間

表-1 水平流速の鉛直分布 (単位: cm/s)

地点名	測点位置	測定期間		上層	下層	摘要
		自	至			
原町	H=10m の場所 @1 H=19m @3 H=23m @3 H=26m @1 それぞれ 海面 -2m, 海底 +3m の2層測定	52. 8.10	9. 6	23	15	左表は流速出現頻度図のピーク値を上層と下層と比較したもの。 52年8月の巻の測定値を汀線平行成分のピークで拾うと 上層 下層 1 km 点 23 15 2.5 km 点 28 14 5.0 km 点 28 12 55年3月の東新潟の測定から、汀線方向12時間移動平均流速頻度のピークを拾うと 上層 下層 Stn 7. +37.5 +27.5 Stn 6. +28.0 +22.5 Stn 5. +37.5 +22.5 平均 34 24
		11.10	12. 6	22	14	
		53. 1.26	2.23	22	12	
		4.23	5.14	23	12	
		全年		22	13	
東新潟	H=20m @4, H=12m @4 H=6m @1	53. 7.30	8.21	23	15	
		53.10.18	11.10	23	19	
		54. 5.10	6.10	28	20	
		54.10.12	11. 4	28	25	
		55. 3. 7	3.25	35	30	
		全年		27	22	
巻	H=10m @1 H=28m @1 H=70m @1 海面 -2m, 海底 +3m の2層測定	51. 9.30	10.17	26	18	
		52. 1.16	2. 8	28	20	
		52. 5.26	6.16	18	12	
		52. 7.22	8.22	22	10	
		全年		28	13	

$$S=0.6 \theta r l \dots\dots\dots (16)$$

とみなせば、最終的に次式を得た。

$$(C_1 r + C_2) r^{-n} = \ln \frac{T_0 - C_2 r^3}{T_0 - C_2 r^3 - C_3 r - 0.75 T_m}$$

または

$$e^{(C_1 r + C_2) r^{-n}} = \frac{T_0 - C_2 r^3}{T_0 - C_2 r^3 - C_3 r - 0.75 T_m} \dots\dots\dots (17)$$

ここに

$$C_1 = \frac{Q}{\theta h_a a n}, C_3 = \frac{0.75 \theta h_a v T_m}{Q}, C_4 = \frac{v}{a n}$$

$$C_2 = \frac{0.3 \theta^2 h_a v}{Q_2} \left(\frac{K_2}{h_a} + A_1 \right) (0.2 T_0 + 0.6 T_m)$$

式 (17) も式 (7) と同様の逐次近似により解くことができる。

式 (17) を解いて r を決めたのち、式 (13)~(15) で軌跡と各点の勾配を計算できる。

(3) 温度の分布の決定

種々の v に対して、 r と l を算定したのち、各点を結べば、水温上昇 T_m の包絡線を求めることができる。

任意のケースの水平面の水温分布は、軸芯の水温 T_m に対し、放水軸に直交する方向に座標 w をとるとき、水温 T となる値を次により決めることができる。

$$T/T_m = e^{-\frac{w^2}{2(0.5r\theta)^2}} = e^{-\frac{w^2}{(r\theta)^2}} \text{ より}$$

$$w = \sqrt{\frac{1}{2} \ln \frac{T_m}{T}} \cdot r \theta \dots\dots\dots (18)$$

同様にして、鉛直面で T となる深さ z は、

$$T/T_m = e^{-\frac{z^2}{h_a^2}} \text{ より}$$

$$z = \sqrt{\frac{1}{2} \ln \frac{T_m}{T}} \cdot h_a \dots\dots\dots (19)$$

式 (18), (19) の関係を用いて温排水層の任意の点の水温を決定するものとした。

(4) 拡がり角度

この解法を適用する場合、拡がり角 θ のとり方によって、拡散形状に著しい差を生じる。 $\theta=0.5, 1, 2$ とした計算例を図-5 に示した。 $\theta=1$ については恒流シフトを生じたケースも追加してあるが、他のケースは恒流のないケースのみ示した。この図から適正な θ を定めることが必要と考えられたので、数個の実測例の流芯の $T_m=2^\circ\text{C}$ となる距離 r と、横断面で $T=1^\circ\text{C}$ となる幅 $2w$ の比を求め、図-6、表-2

を得た。

式 (18) からこの比の値は

$$w = \sqrt{\frac{1}{2} \ln \frac{T_m}{T}} \cdot r \theta = \sqrt{\frac{1}{2} \ln \frac{2}{1}} r \theta = 0.588 7 r \theta$$

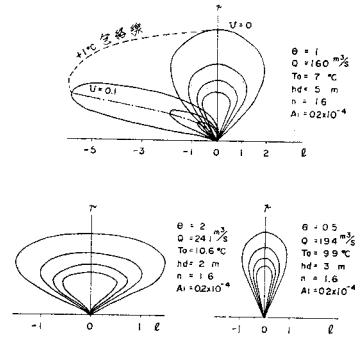


図-5 拡散形の拡散角 θ による変化

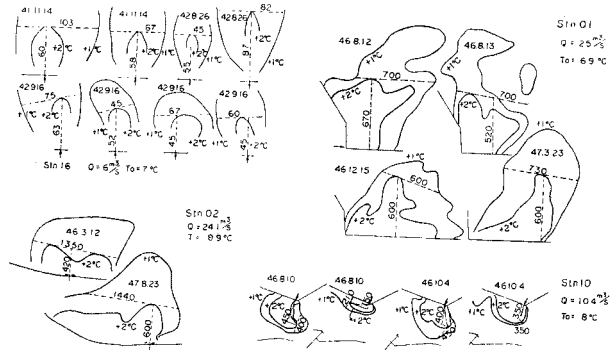


図-6 拡散形の実測例

表-2 拡散幅に関する $2w/r$ の実測値

地点	年月日	$2w$	r	$2w/r$	摘 要
Stn. 16	41. 11. 4	103	60	1.717	満 潮 $Q=6 \text{ m}^3/\text{s}$ $T_0=7^\circ\text{C}$
	"	67	58	1.155	干 潮
	42. 8. 26	45	55	0.819	1 m 層の流芯 2°C 点の r
	"	82	87	0.943	と 1°C 拡散幅 $2w$ を求め
	42. 9. 16	75	63	1.190	満潮後
	"	45	52	0.865	満による影響がみられる。
	"	67	45	1.489	干潮前
Stn. 01	46. 8. 12	700	670	1.045	干潮後
	46. 8. 13	700	520	1.346	満潮前
	46. 12. 15	600	600	1.000	形状のひずみが岸沿いにみられる。比較的前面に拡散して $2w, r$ を見分けやすいケースを表層で求めた。
	47. 3. 23	730	620	1.177	
	平均値	—	—	1.142	
Stn. 02	46. 3. 12	1 350	420	3.214	$Q=25 \text{ m}^3/\text{s}$, $T_0=6.9^\circ\text{C}$ 恒流による
	47. 8. 23	1 440	600	2.400	形状のひずみが岸沿いにみられる。比較的前面に拡散して $2w, r$ を見分けやすいケースを表層で求めた。
	平均値	—	—	2.807	
Stn. 10	46. 8. 10	450	400	1.125	$Q=10.4 \text{ m}^3/\text{s}$, $T_0=8^\circ\text{C}$
	"	210	150	1.400	満潮時
	46. 10. 4	450	400	1.125	干潮時
	"	300	300	1.000	満潮時 (1 m 層)
	46. 12. 10	420	310	1.355	満潮時
	46. 12. 20	480	540	0.888	干潮時
平均値	—	—	1.221	満潮時	

$$2w/r = 1.177 \cdot \theta$$

となる。表-2 から、汀線から2方向に放水している特殊なケースを除いて、通常の場合では $2w/r = 1.142, 1.185, 1.221$ などの値が得られたので、 $\theta = 1$ とみるのが適切と判断した。

3. 簡易解法による拡散予測

(1) 小流量の場合

温排水の拡散面積は、外的条件によって 4~5 倍程度変動することが知られているが、予測にあたっては最も拡がりの大きい場合を求めれば十分であるから、拡散係数が小さく、風速の小さい穏やかな気象を対象として、諸入力を決定すればよいが、手始めに、 $Q \leq 60 \text{ m}^3/\text{s}$ の小流量で実測値をもつ地点の予測を行い、適合度を調べることにした。したがって、各地点の拡散係数は実測時に対応して決定した¹⁾。

鉛直熱収支係数は $(K_z/h_d + A_1) = 2 \times 10^{-5} \text{ t} \cdot \text{cal}/\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{C}$ の一定値とした。この値は、水温 20°C 、平均風速 2 m/s 、表層厚 3 m 程度に相当する。放水口構造に合わせて、式 (4) により表層厚を入力した。

各地点の 1°C 拡散予測を 図-7~図-9 に示した。図には実測の包絡線も記入してある。

a) 恒流のある場合

Stn. 01, 02, 07 とも実測は予測区域内に含まれている。実測の多くは恒流シフト量が予測より小さく、恒流 $v=0$ の拡散距離 $r(v=0)$ の半円型としてもよい場合が多い。この理由は次のように考えられる。温排水を測定すると多様な拡散区域となり、10 回に 1 回くらいの割

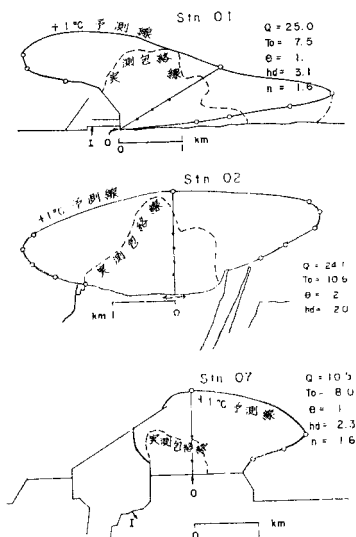


図-7 恒流のある地点

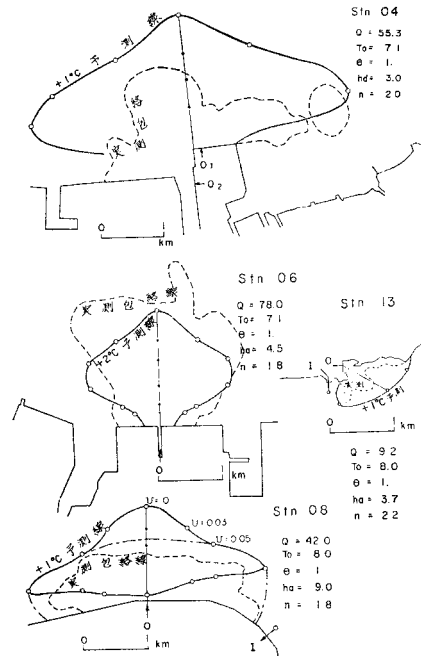


図-8 潮流のある地点

合で広い拡散を示すことがある。多くは、一方向流が長期継続するような海象と関係があり、恒流シフト量が大きい。したがって、第 1 の原因は実測ケースが少ないことにあると考えられる。第 2 に、流量が小さい場合、拡散範囲も比較的小さいので、海岸地形や防波堤のような遮蔽物の影響が大きく、半無限海域的に計算された恒流シフト量が過大となったと考えられる。

b) 潮流のある場合

恒流シフト l は、半日週潮のある場合には 6 時間分の水粒子の平均移動距離を超えないと考え平均潮流流速 v において、 $l \leq 6 \times 3600 \times v$ とした。

Stn. 04 は、2 か所放水であるので、拡散角を $\theta = 1$ よりやや大きくとるべきであったかもしれない。また、潮流反転の時間が短いため、 $v \approx 0$ ケースは予測値が著しく大きくなるので、補正すべきと考えられる。Stn. 06 は、他の工業排水との区分ができず $T = 1^\circ\text{C}$ 区域が不明瞭なので、 2°C 上昇を求めた。Stn. 08 は湾口に位置し、著しく早い潮流の場であり、微流速の場は続かないから、 $v = 0, 0.03$ などの予測ケースは除外して差し支えないと思う。Stn. 13 では西方へ拡がりにくい地形要因がある。これらの地点では、恒流シフトを算入する方が、 $r(v=0)$ の半円形とみるより妥当なように見受けられる。

c) 閉鎖性海域の地点

Stn. 03 は、ゆるい湾形内に $v = 0$ の拡散区域が収まる。湾内にゆるい循環流が生じることは予想できるが、

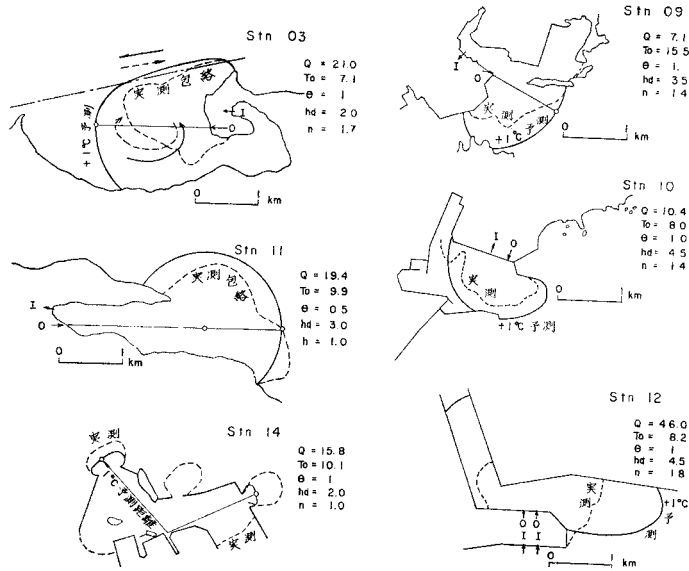


図-9 閉鎖海域の地点

外洋側へ著しい恒流を発生することは考えられないのでやや形状が揺らぐ程度と考え図示の予測線とした。

Stn. 11 は、狭い湾内に拡がるので拡散角 $\theta=0.5$ とした。Stn. 14 は、複雑形状の湾内に拡がるので実態と異なるかもしれないが $\theta=1, v=0$ の拡散距離で円弧を描き予測線とした。Stn. 09, 10 とともに、 $r(v=0)$ からの変形は小さく、地形に合わせた半円形とみてよいようである。

Stn. 12 は、やや過大な予測となったが、その原因は表層厚 $h_d=4.5$ m を、やや小さくとりすぎたことや、潮流影響を考えなかったことによると思われる。

(2) 大流量の場合

大量放水の場合は、実測例が少なく、Stn. 01 に 160 m³/s の例が入手できたのみであった。そこで、やむを得ずその他のケースについては、電力中央研究所の予測値と比較することとした。電中研の予測法は、水理実験および平面二次元数値シミュレーション定常解析である。

予測諸定数は、平均的な値として、 $n=1.6, K_2/h_d + A_1=2 \times 10^{-5}, \theta=1$ とした。 h_d は放水条件から個々に

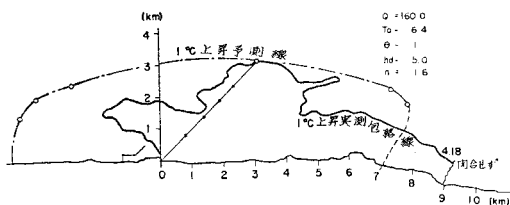


図-10 Stn. 01 の拡散予測

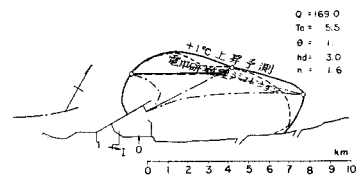


図-11 東新潟地点の拡散予測

求めた。

a) Stn. 01²⁾ ($Q=160$ m³/s, $T_0=6.4$ °C)

この地点は、港をはさみ南北から汀線両方向に放水している複雑なケースなので、簡易解法の適用は無理であるので、南放水口から放水し南流によりシフトしているケースを、放水と恒流方向が一致している実態に合わせて恒流シフトをベクトル合成し、図-10 を得た。

b) 東新潟³⁾ ($Q=169$ m³/s, $T_0=5.5$ °C)

東新潟港内に放水し、港口から流出する温排水に対し、港内の水面蒸発による水温低下を見込み、港口の計算始点の水温を 5.5°C とし、計算モデル原点に点源放水しているものとした。すなわち、計算方法は同一であ

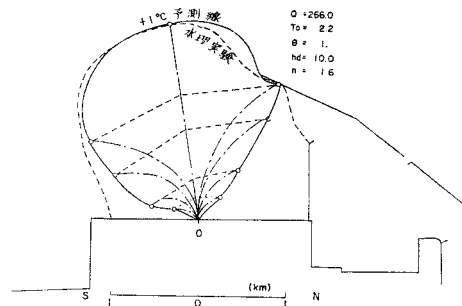


図-12 能代地点の拡散予測

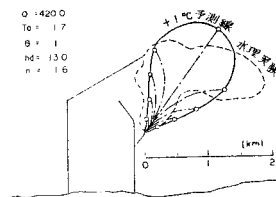


図-13 原町地点の拡散予測

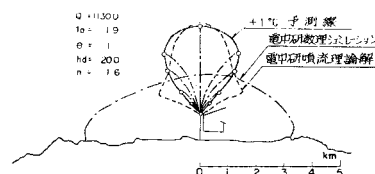


図-14 巻地点拡散予測

る。 $T=1^{\circ}\text{C}$ の予測結果は 図-11 のようになった。

c) 能代⁴⁾ ($Q=266\text{ m}^3/\text{s}$, $T_0=2.2^{\circ}\text{C}$)

外洋護岸から沖向きに噴流型の放水口を設ける計画である。実際の放水は $90\text{ m}^3/\text{s}\times 7^{\circ}\text{C}$ であるが、連行量を見込み上記の入力条件とした。この仮定の放水条件をモデルの原点に与えて、同一の方法で計算した。結果は 図-12 となった。

d) 原町⁵⁾ ($Q=420\text{ m}^3/\text{s}$, $T_0=1.7^{\circ}\text{C}$)

防波堤わきから水中放水する計画で、実放水は $100\text{ m}^3/\text{s}\times 7^{\circ}\text{C}$ である。予測結果は 図-13 となった。

e) 巻⁶⁾ ($Q=1130\text{ m}^3/\text{s}$, $T_0=1.9^{\circ}\text{C}$)

防波堤曲部から沖向きに水中放水する計画で、実放水は $300\text{ m}^3/\text{s}\times 7^{\circ}\text{C}$ である。 $T=1^{\circ}\text{C}$ の予測は、 図-14 となった。

巻地点のみ電中研予測と異なる結果となったが、他の4地点については、おおむね適合する拡散区域を得た。

(3) 簡易解法の考察

a) 小流量の場合

放水量の少ない場合で、一方向に恒流があると、簡易解法により求めたシフト量 l は、実測値を十分包含しているが、一般に拡散時間が短いので、恒流シフト l に限界があり、ことに、地形上の閉鎖域に拡散する場合などでは、 $r(v=0)$ を半径とする円型を予測線とみてもよい程度の形状ひずみより生じないケースがほとんどである。

b) 大流量の場合

通常の放水上昇温 $T_0=7^{\circ}\text{C}$ 程度で放水すると恒流シフト l が大きくなり、拡散型が半径 $r(v=0)$ の円型では収まらなくなる。特に汀線沿いの放水では拡散型のひずみが大きいように思われる。これらのケースにおいても、実測や数値シミュレーションと比べて、簡易解法でも大差のない結果が得られることがわかった。

水中放水等の低温大流量放水にあつては、拡散時間が短縮され恒流シフトは少ないが、簡易解法により矛盾のない予測を行うことができる。

c) 簡易解法の適用上の留意点

簡易解法には、地形の要素が入らないため、拡散区域を決定する段階で拡散型を支配する場の流れの傾向を考え、織り込めればさらによい。この意味から、あまり複雑な地形の地点や、放水口が数か所に分散しているケースの予測は詳細な数値シミュレーション等によるべきと思う。多くの実測分析から留意すべき事柄を列記すれば、

① 海域が急に拡がるバウンダリーの下では、温排水が限界づけられやすい。たとえば、狭い港内から広い港外へ温排水が出て行くとき、湧昇流を生じるなどで水温が急速に低下した例がある⁷⁾。

② 突出地形があるとそこまで温排水がたまり込みやすく、それをこえると消滅しやすい。

③ 陸岸と温排水帯の間が狭くなると、波輸送の関係もあり、水温上昇が岸まで及ぶ傾向がある。

④ 地形的循環流を生じやすいケースでは、これにより拡散方向にくせが出ることとなる。

⑤ 温排水帯のまわりに十分な水域があれば、簡易解法の計算どおりの拡散で収まる。

⑥ 防波堤外側とか岸側の地点では湧昇を生じやすく、温排水が急速な水温低減をみせることが多い。などの定性所見を地形影響として配慮すべきであろう。

4. 拡散区域の変動要因

簡易解法の実用性が前章で裏付けられたので、これに基づき、放水諸元と拡散範囲の関連を検討した。結果は温排水の定性的知識を無理なく裏付けるものとなっている。

(1) 温水域厚 h_d と拡散区域

図-15 は、110 万 kW 数基の原子力発電所からの放水を対象として簡易解法により作成した計算図表である。図から h_d を 3 m から 5, 10, 15, 20 m と変えていくと、拡散区域が著しく減少することがいえる。

(2) 放水口形状と温水域厚 h_d

$h_d=0.35(B/h_0)^{0.23} F_{d0} h_0$ …式(4)としたので、放水速度 u_0 と放水上昇温 T_0 が一定の場合 $F_{d0}=C h_0^{-1.2}$ となるから結局式(4)は

$$h_d=C(B\cdot h_0)^{0.23}\cdot h_0^{0.04}\cong C(Bh_0)^{0.23}\dots\dots\dots(20)$$

となる。したがって、放水口面積が同一のとき、 $B\cdot h_0$ の最大値は $B=h_0$ の場合であるから、幅広の放水口よりも正方形に近い形状が温水域厚を大きくできて有利である。

一方、 h_0 , B を一定とすると、 $h_d=Cu_0$ となり、放水速度を上げることは効果が大きい。しかし、通常放水口前面水深 h_b は有限であるため、放水速度を上げる効果には限界があると考えられる。この条件を、 $h_d\leq h_b$ とおいて整理すると、

$$u_0\leq 0.41 h_d (B^{0.23}\cdot h_0^{0.27})\dots\dots\dots(21)$$

となる。これ以上の u_0 となると、 h_d は増えなくても水温の鉛直分布形が層全体に平均化し、深部まで水温が上がっていく傾向を生じるが、層厚の増加効果は多くを期待できないと思われる。

(3) 高温小流量放水と希釈放水

放出熱量が一定の場合、高温放水と低温放水のいずれ

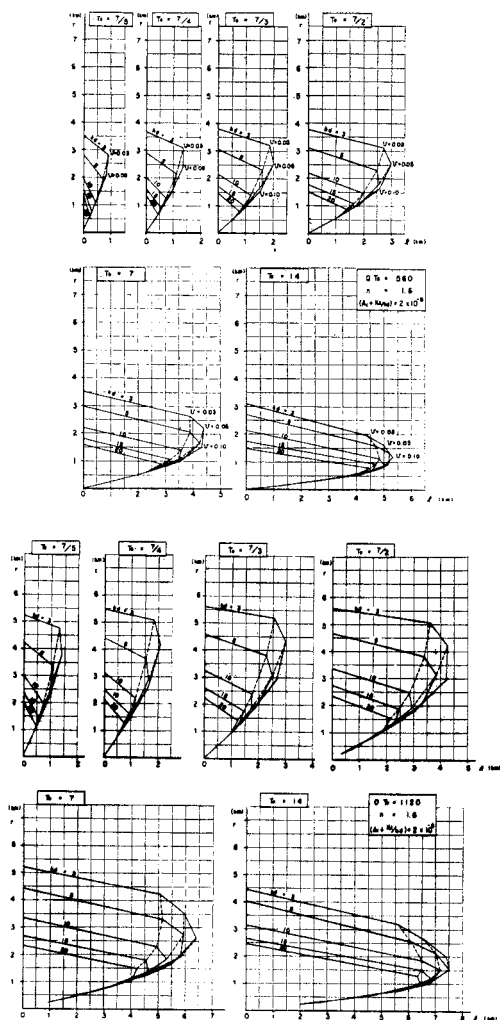


図-15 拡散計算図表

が勝るかについて論の分かれるところである。これを、簡易解法に基づき、図-15 から解釈してみた。

$r-l$ 平面に描かれた図形は、包絡拡散面積を示しているので次のことがいえる。

- ① 沖合拡散距離は高温放水でも低温放水でも大差がない。
- ② 恒流シフト量は高温放水で大きく、低温放水で小さい。
- ③ 拡散面積は高温放水で大きく、低温放水で小さい。ただし、恒流シフトの小さい海況では、その差は小さい。
- ④ 低温放水の手段としての噴流型放水を行う場合は、温層厚 h_d が増大することから、拡散面積の縮小効果が倍増する。
- ⑤ 高温放水では、温排水の形状の揺らぎが大きい。低温放水では安定してくる。

5. 放水計画に関する提言

現行の原子力・火力発電所の設計例では、拡散区域に制限のない場合は表層放水とし、区域を縮小したい場合は水中噴流放水とするケースが多い。これは、設備対策として水中放水のみが実証技術とされているからであろう。通常の場合、表層放水では表層厚を $h_d=3\text{m}$ とみて一律に予測が行われていて、噴流効果は見込んでいない。このため、表層放水で水温上昇区域が広範囲に拡がる予測を得た場合は、放水型式を変えない限り、調整の余地がないものと一般に認識されている。

しかし、表層放水の実績を慎重に分析すると、表層放水においても設計に応じた噴流効果があること、およびその場合に表層厚が放水施設の設計によって変わり、拡散区域に影響を与えることが示唆された。

これを予測に反映すれば、表層放水の場合にも高温領域を小さくでき、条件が整えば 1°C 上昇区域をも小さくすることが可能であるので、従来の緩速表層放水と高速水中放水の中間的なもので、設備に応じたそれなりの効果をもつ多様な放水口を計画し、経済性を含めて、自由に選択できるような設計法の拡大が可能となるものと期待される。本論文はその一法を提案したものである。

具体的に、地点の放水計画にあたって拡散効果を高める必要のある場合の提言を以下にまとめると、

- ① 地点選定および配置計画に際して、放水海域はなるべく開放海域に選定する。
- ② 放水海域の水深の大きい場所を選定する。水深は放水口の少し前面の水深としてよい。
- ③ 放水口はなるべく噴流型式とする。
- ④ 放水幅は小さい方が、水理的にも経済的にも有利である。
- ⑤ 放水口の設計は、前面海域の水深を活用してなるべく層厚の大きくなる流速を与えるのがよい。しかし、前面水深が小さい場合、流速はそれほど大きくする必要はない。
- ⑥ 放水深は表層でも水中でもよいが、 1°C 区域を小さくしたい場合は、 2°C 以下となる噴流効果をもたせるのが望ましい。
- ⑦ 噴流効果のみで水温低下が不十分な場合は、噴流による放水口付近の連行を加味した流量と上昇温を仮想的に原点 $r=0$ に与え、渦動拡散理論、たとえば本論文の簡易解法等により解析する手法が考えられる。微流速の場では、連行をみてもみなくても 1°C 拡散距離については差が少ないが、恒流シフト量については差がある。また高温領域については、すべての場合に差が大きい。

⑧ 現行の温排水温度上昇 7°C を 14°C くらいに高温小流量化した場合、経済性は高まるが、噴流効果をもたせないと恒流シフト量が大きくなる点に留意する必要がある。

6. 結 論

温排水の拡散実態を分析すると、主現象は渦動拡散と考えられるが、放水口付近の噴流連行が特に高温拡散領域に支配的な効果をもつ場合が多いこと、および温排水の放水量や上昇温とともに潮流や風による吹送のような条件が拡散に大きく影響すること等が認識される。

このことから、連行を温排水層厚に、風の効果の一部を鉛直渦動拡散に反映し、恒流による移流と大気熱収支を含む簡易解法を展開したが、吹送や地形影響については直接的に含めるに至らなかった。

簡易解法の成果を実測値や詳細法による予測値と比較したところ、簡易な方法であるにもかかわらず好精度な予測ができると考えられる。複雑な条件下の予測や、最終的な精度の高い予測は、数理シミュレーションが適切

であるが、通常の予備設計で拡散区域の目安をつけるとか、放水構造の優劣検討を行うにあたり、使用に 대응できるものと確信している。

参 考 文 献

- 1) 北松治男：温排水拡散の簡易解法の研究，土木学会論文投稿中（II-605）。
- 2) 福島県温排水調査管理委員会：昭和53年度温排水調査報告書，pp. 47～71，1980年5月。
- 3) 加藤正進・和田 明：東新潟火力発電所3号機増設時の温排水拡散予測，電力中央研究所報告依頼報告 380583，p. 83，1981年3月。
- 4) 荒木 洋・和田 明：能代火力地点の温排水拡散予測，電力中央研究所報告依頼報告 380510，p. 93，1980年7月。
- 5) 曾我雅海・荒木 洋：原町火力発電所冷却水の水中放流方式による温排水拡散に関する検討，電力中央研究所報告依頼報告 379508，p. 35，1979年6月。
- 6) 片野尚明・河村博美・和田 明：巻原火力地点の温排水拡散予測，電力中央研究所報告依頼報告 379535，p. 106，116，1979年11月。
- 7) 新仙台火力発電所冷却水分布調査委員会：仙台新港周辺海域の海況，並びに新仙台火力発電所から排出される冷却水の拡散分布に関する調査報告書，p. 228，1972年9月。

(1983.4.14・受付)