

大容量発電所における温排水拡散実態について

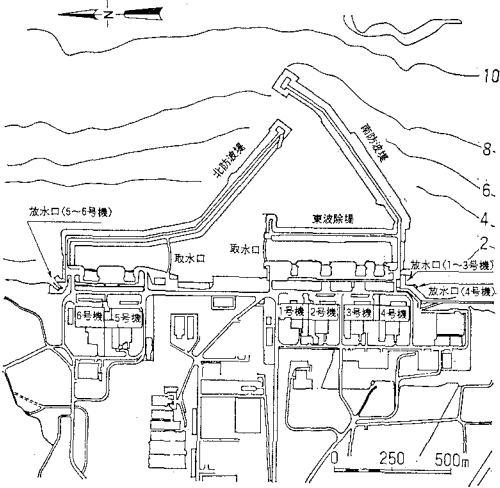
都 築 進* ・ 大久保嘉雄**・ 川 永 充 人***
安 達 欣 也****・ 水 鳥 雅 文*****

1. 結 論

火力・原子力発電所は、ほとんどの場合復水器冷却用水として海水を取水しており、水温が上昇した海水は温排水として放水口から海に放水されている。この温排水の拡散実態については、小規模発電所ではある程度把握されているが、大容量発電所では拡散範囲が広域に及ぶこともあり、その実態を十分に解明した例は少ない。

東京電力㈱福島第一原子力発電所では、1号機の運転開始から21年、6号機の運転から12年を経過し、その間の調査資料が十分蓄積されてあるので、温排水拡散実態を詳細に検討できる状況にある。

本研究は、当発電所を対象として昭和49年から蓄積されている温排水拡散調査データの分析並びに三次元数値モデルによるシミュレーション結果に基づき、大容量発電所における温排水拡散実態並びにその温排水拡散に影響を与える諸要因について考察した結果について述べたものである。



図一1 取放水設備の配置状況

表一 取放水設備の諸元

号機	発電出力 (MW)	冷却水使用量 (m³/s)	復水器設計水温 上昇値 (°C)	運転開始時期	放水口位置
1	460	25.3	9.0	昭和46年 3月	南 側
2	784	43.2	9.2	昭和49年 7月	
3	784	43.2	9.2	昭和51年 3月	
4	784	47.1	8.4	昭和53年10月	
5	784	47.4	8.4	昭和53年 4月	北 側
6	1,100	64.6	8.4	昭和54年10月	

2. 福島第一原子力発電所取放水設備の概要

発電所取放水設備の配置状況及び取放水の諸元は、図一1、表一に示すとおりである。

放水は、1～4号機では南防波堤基部から海岸線に平行な方向（4号機は海岸線に約45度の角度の方向）に、5、6号機では北防波堤基部から海岸線に約45度の角度で北東方向に表層放流している。放水流速は、南北共に約 2m/s で、表層放流方式を採用しているわが国の臨海発電所の中でも比較的高流速で放流されている。

3. 温排水拡散実態の分析

昭和53年から航空機 MSS (DS-1250) による水温分

* 正 員 工修 東京電力(株)原子力建設部土木建築課
** 正 員 東京電力(株)福島第一原子力発電所改良工事事務
所
*** 東電環境エンジニアリング(株)環境技術開発セン
ター
**** (株)三菱総合研究所 システム科学部長
***** 正 員 工博 (財)電力中央研究所我孫子研究所水理部

表二 水温調査の観測数と運転状況一覧

運転発電機台数	調 査 回 数	調 査 頻 度
1 台	0 回	0 %
2 台	0 回	0 %
3 台	26 回	32 %
4 台	27 回	33 %
5 台	23 回	29 %
6 台	5 回	6 %
合 計	81 回	100 %

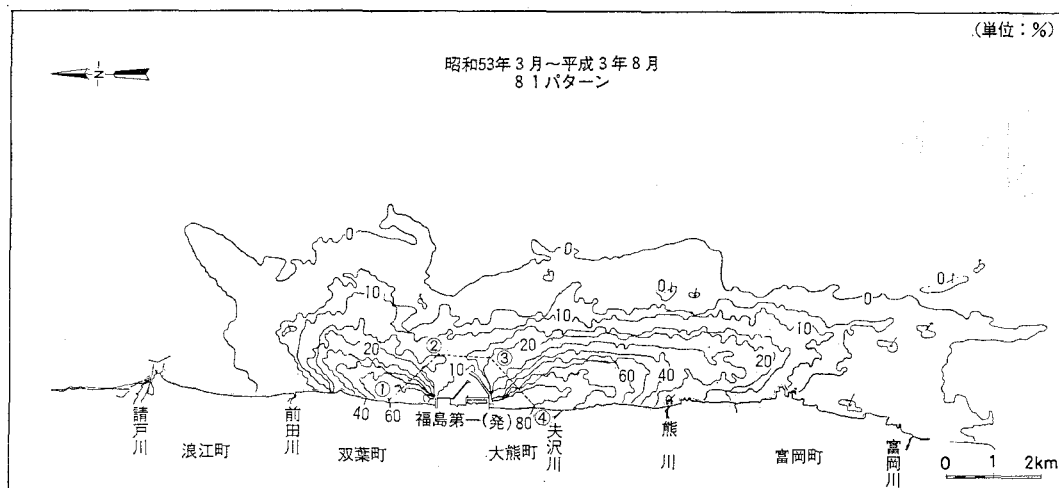


図-2 航空機による水温出現頻度分布 (1°C 上昇域)

布調査(海面)を実施している。表-2に航空機MSSによる水温調査の観測数とその時の発電所運転状況一覧を示す。これらのデータをもとに温排水拡散実態を分析した。

水温出現頻度水平分布(1°C 上昇域)を図-2に示す。

この図は、全調査パターン水温上昇範囲をもとにして、温排水による水温上昇がどの範囲にどのような頻度で及ぶかを明らかにするため、解析対象範囲を100mメッシュで分割し、上昇温度1°Cの各メッシュにおける出現頻度を算出したものである。

この図から以下のような分布特性が認められた。

(1) 20%の出現頻度分布をみると、南北各放水口から放流される温排水の拡散は、南北それぞれに分離し、かつ放水方向に比較的細長い拡散形状をしている。

(2) 北側放水口からの放水量は、南側からの約0.7倍であるにもかかわらず、北側沿岸方向への温排水の到達距離が南側に比べかなり短い。

(3) 発電所北側に位置する前田川河口部付近において、等頻度分布線が比較的込み合っていると同時に、これより以北への出現頻度が非常に小さい。

4. 温排水拡散に対する影響要因

前述の分析結果から得られた分布特性の成因について以下に考察する。

(1) 拡散形状について

図-3に観測毎の温排水拡散パターンの一例を示す。放水口近傍域では、各パターンとも噴流的な拡散形状をしていることが確認されたため、比較的高い頻度でこうした噴流形状を呈するものと考えられる。

図-4は、昭和49年から昭和54年まで調査船に機装した曳航式水温計を用いた水温分布調査(海面下0.3m, 1m, 2m, 3m, 4m, 5mの計6層)結果に基づき作成した、前出の図-2中に示す断面(①~④)での鉛直出現頻度(1°C 上昇域)である。放水口近傍で比較的深い層までは拡散域が広がっており、放水口近傍での鉛

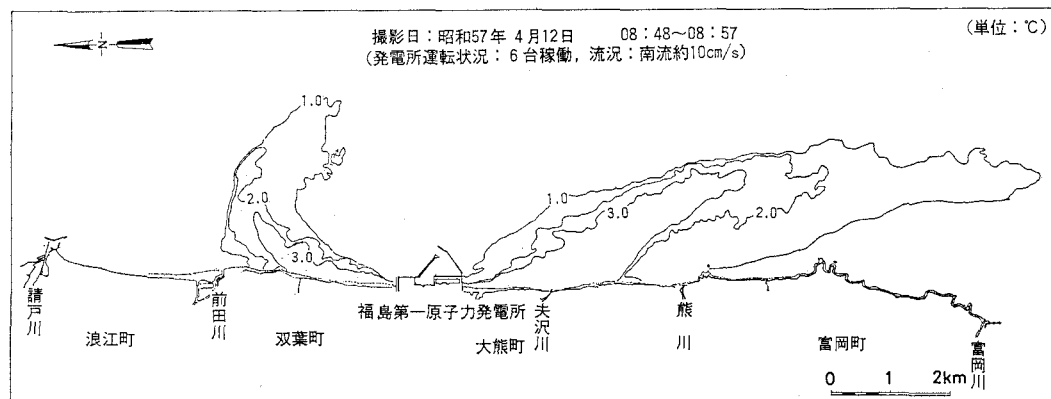


図-3 温排水拡散水平分布

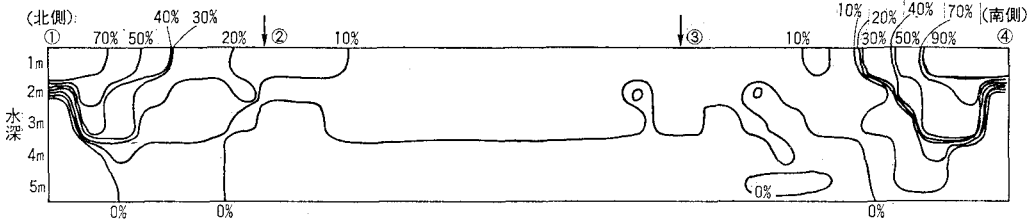


図-4 水温鉛直出現頻度 (1°C 上昇域)

直混合の大きいことがうかがえる。

これらの結果から判断すると、こうした噴流的な拡散形状の形成は、初期放水流速が 2 m/s と表層放流としては非常に速く、放出内部フルード数 ($F_{r0}=10\sim11$) も大きいため、放水口近傍においては、放水流自身によって発生する乱れが温排水拡散に対する主たる要因であると考えられる。

(2) 沿岸方向到達距離の相違について

当該発電所に隣接する福島第二原子力発電所前面で観測された流動連続観測記録の時系列変動 (24時間移動平均データ) の一例を図-5 に示す。同図に示すように、

表-3 平均流速及び平均継続時間

観測時期		昭和59年	昭和60年	昭和61年
恒流	平均流速 (cm/s)	11.2	11.9	11.9
	平均継続時間 (hrs)	85.3	81.6	82.4
南流	平均流速 (cm/s)	8.0	8.8	8.8
	平均継続時間 (hrs)	50.6	54.8	49.3

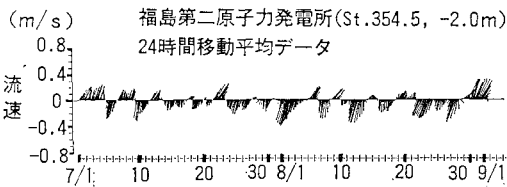


図-5 流動ベクトル

当海域の流動特性は南流が卓越しているが、時折北流の出現が見られ、南流と北流が転流を繰り返すパターンを示している。平均的には、表-3 に示すように南流の 4 日程度、北流は 2 日程度の継続時間と評価され、北流の継続時間が南流と比較して短いことがわかる。

以上のような海域の流動出現特性が、北側と南側との温排水到達距離の相違となって現れているものと考えられる。

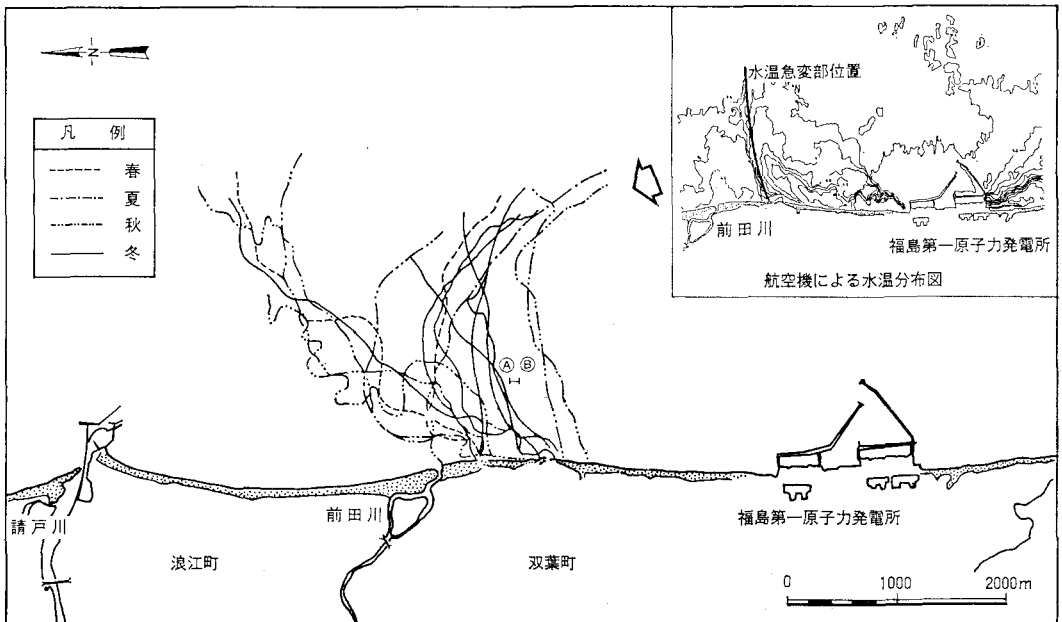


図-6 水温急変部の位置

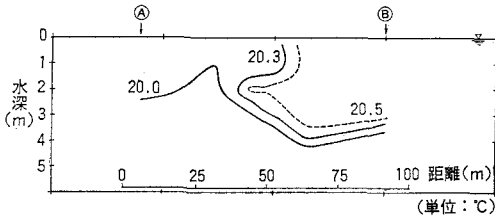


図-7 水温鉛直断面分布

(3) 前田川河口部での拡散特性について

水鳥ら(1988)は, 温排水の拡散に対して海域に広がる河川水が影響を及ぼすことを指摘している。ここでは, 発電所北側に位置する前田川や請戸川等からの河川水による温排水拡散への影響について検討する。

前述の航空機 MSS による水温データから各海面水温分布パターンを分析した結果, 前田川河口付近に水温の急変部がみられることが比較的多いことが明らかとなった。図-6 に観測された水温急変部の位置を示す。

図-7 は, 前出の 図-6 中 (A)~(B) に示す前田川河口部付近における水温鉛直断面分布の一例を示す。河口部において明瞭な水温フロントが形成されている。

当海域における河川水の拡散状況等については, かならずしも十分把握されていないものの, 以上の結果は, 前田川河口部での温排水拡散に対し, 河川水が何らかの影響を及ぼしている可能性がうかがえる。

5. 温排水拡散予測シミュレーション

前述の現地調査結果の検討結果から, 当該発電所の温排水拡散に対する影響要因として, (1) 放水口での高放水流速, (2) 海域の流動出現特性, (3) 河川水の流出を指摘した。ここでは, こうした要因を考慮した数値シミュレーションを実施し, その妥当性を検討する。

(1) 基礎方程式

本計算では, 静水圧近似に基づく準三次元数値モデルを採用した。

基礎方程式は, 水平方向の運動量保存式, 連続式, 熱量および塩分保存式, および状態方程式である。ただし, コリオリ力は考慮していない。

(2) 計算条件の設定

a) 拡散係数と粘性係数の設定

当該発電所では, 前述のとおり放水口近傍での温排水の拡散は噴流形状を呈している。

二次元噴流内における渦動拡散係数 K は, 噴流内の流速分布を用い, 以下のように設定した。

$$K = \beta U_{\max} b_{1/2} \dots \dots \dots (1)$$

ここに, β は定数 0.037 (流体力学, 日野幹雄 (1974)), $U_{\max}$ は各断面での最大流速, $b_{1/2}$ は半値半幅である。

噴流外部における拡散係数の設定は, Richardson の

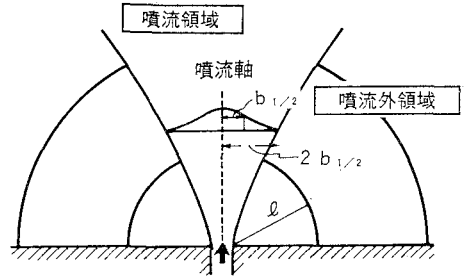


図-8 水平方向拡散係数模式図

4/3 乗則を用いた。

$$K = \alpha \ell^{4/3} \quad (\text{上限値 } 10^5 \text{ cm}^2/\text{s} \text{ と設定}) \dots \dots (2)$$

ここに, α は定数 0.01 (流体力学, 日野幹雄 (1974)), ℓ は放水口からの距離である。

以上の水平方向拡散係数の設定の模式図を, 図-8 に示す。

鉛直方向の拡散係数の設定方法としては, 当該海域での鉛直方向の流速測定結果を用いて評価した。平成元年 8 月に三次元電磁流向流速計を用いて実施した鉛直流動に関する現地調査によれば, 鉛直拡散係数は, $K_z = 1 \text{ cm}^2/\text{s}$ であった。本計算では, これを場に一律に設定した。

また, 粘性係数については拡散係数と同値とした。

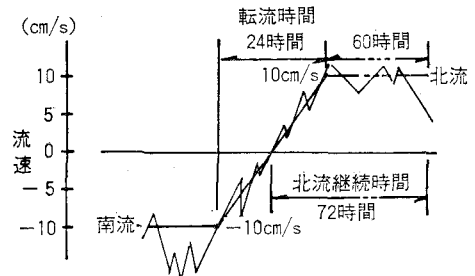


図-9 海域流動のモデル化

表-4 計算条件

放水流量	北側	112.0 (m³/s)
	南側	158.8 (m³/s)
時間スケール	24時間	
渦動拡散係数	噴流領域	$0.037 \times U_{\max} \times b_{1/2}$
	噴流領域外	$0.01 \ell^{4/3} (< 10^5 \text{ cm}^2/\text{s})$
渦動粘性係数	渦動拡散係数と同じ	
恒流	流速	南側10 (cm/s) から北流10 (cm/s)
	転流時間	24時間
河川流量および塩分	請戸川	12.0 (m³/s), 塩分31
	前田川	0.5 (m³/s), 塩分31
環境水温	8 (°C)	
環境塩分	34	

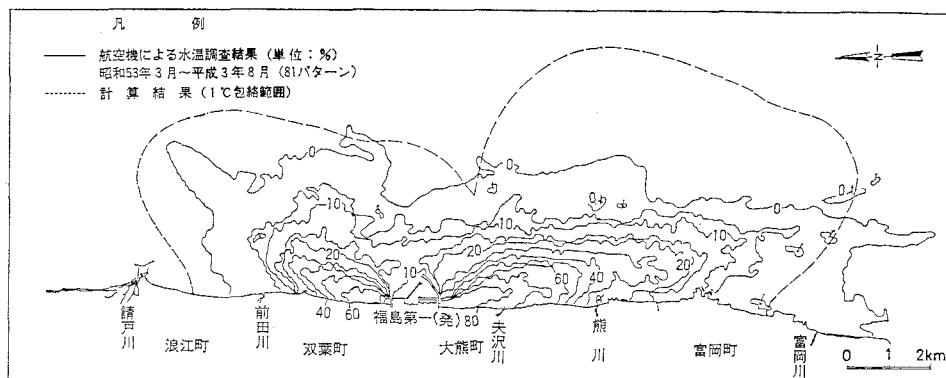


図-10 水温上昇出現頻度分布と計算結果との比較 (1°C 上昇域)

b) 恒流条件の設定

発電所前面海域は、南流と北流が転流を繰返し、かつ北流の継続時間は南流と比較して短い。

図-9 に、計算に用いた海域流動パターンを示す。海域の流動は、南流 10 cm/s で定常計算を実施した後24時間かけて北流 10 cm/s に転流させ、北流を72時間継続させた。

c) 河川条件の設定

前出の前田川およびさらに北側に位置する請戸川からの河川水の流出を計算上考慮した。河川水の塩分濃度としては現地調査結果をもとに海域の塩分濃度より3小さい塩分濃度を用いることとした。

詳細な計算条件を表-4 に示す。

(3) 計算結果

海域における 1°C 水温上昇域について計算結果と、前出の図-2 に示した 1°C 水温上昇出現頻度分布との比較を図-10 に示す。

放水口近傍での噴流状の拡散形状、沿岸方向での到達距離の相違、および前田川河口付近での拡散形態など計算結果は比較的良好に実測結果を再現している。

本結果は、前章での温排水拡散に対する影響要因の考

察がほぼ妥当なものであることを裏付けるものと考えられる。

6. おわりに

福島第一発電所においてこれまでの詳細に観測されてきた温排水の拡散分布調査結果をもとに、温排水拡散の実態とそれに影響を与える要因について検討を行った。抽出された要因を数値モデルに取入れ温排水拡散シミュレーションを実施した結果、計算結果は実測結果をほぼ再現することができた。

今後は、さらに現況調査データの蓄積、整理を行うことにより、大容量発電所における温排水拡散現象をより精度よく予測・評価するための方法について検討していく予定である。

参考文献

- 日野幹雄 (1979): 流体力学, 朝倉書店, pp. 183-187, pp. 243-246.
- 福島県温排水調査管理委員会 (1986): 温排水調査総合報告書, 福島県保健環境部環境保全課原子力対策室, pp. 14-117.
- 水島雅文・片野尚明 (1988): 密度成層場における温排水の拡散過程, 第32回水理講演会論文集, pp. 239-244.