

大型石炭火力発電所の取水口設計に関する一考察

中国電力株式会社 正会員 ○河村 美咲, 正会員 梶田 拓志, 正会員 玉井 孝謙,
正会員 山本 健太, 正会員 斉藤 直

1. はじめに

日本の大都市は、大規模河川から豊富な水資源が得られ、海域交通の拠点となる静穏な内湾に面した場所に発展を遂げてきており、大都市へ電力供給する大型火力発電所も都市部に近接した臨海部に建設されてきた。このような海域では、河川からの淡水が塩水域に供給され（密度差）、表層流や波浪等が穏やかな内湾の特性（密度成層の保持）から、密度成層が形成され易く、特に高温期においては強い密度成層が厚く形成される。このような都市部に建設される大型石炭火力発電所の取水口設計に当たっては、表層の温排水を避けて年間を通じて低層の低温水を安定取水し、安定した高い発電効率を得よう計画する必要がある。

本稿では、カーテンウォール型式の取水口を例にとって、取水口設計の在り方について考察する。

2. 大都市部の躍層の特色

三大都市圏の水環境に影響を及ぼす地形的な特色を表-1に示すが、いずれの都市圏も閉鎖性の強い湾域に大型河川が流入している。ここでは一例として、東京湾の北部湾奥中央部にある公共水質測定点¹⁾の夏季の状態を図-1に示す。河川流入のある閉鎖水域では、塩分躍層が通年形成されるが、高温期には深層（DL.-8m）まで高温の低塩分水が入り込む。

表-1 三大都市圏の特色

区分	主な流入河川	閉鎖性
首都圏 (東京湾)	多摩川, 隅田川, 荒川, 江戸川等	三浦半島と房総半島に囲まれた水域
名古屋市圏 (三河湾)	木曽川, 長良川等	渥美半島と鳥羽市・答志島に囲まれた水域
大阪都市圏 (大阪湾)	淀川等	明石海峡, 紀淡海峡内の水域 (瀬戸内海の二重閉鎖)

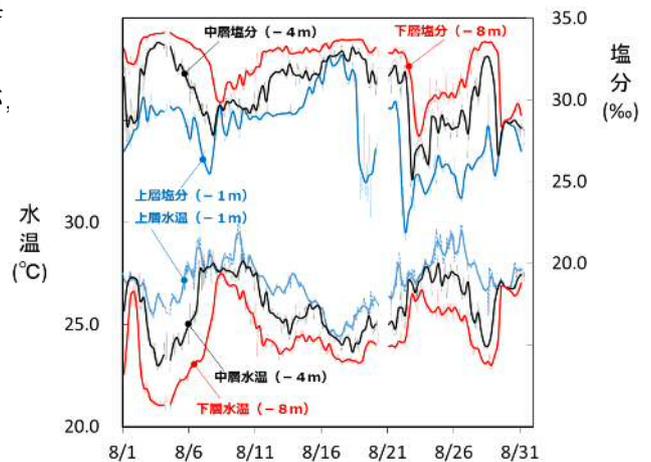


図-1 水温・塩分分布（千葉港波浪観測塔）

3. 取水口の設計

(1) 表層温水層の取水影響の評価式

既往の研究²⁾において、表層温水層を混入取水しない限界水深条件や、表層温水が混入した場合の混入率（水温上昇値）が式(1)および式(2)のとおり示されている。これらの計算式は、温度躍層上の高温水を取水するか否かの境界領域を対象として提案された計算式である。表層温水の混入においては、表層温水を取水しても、温度躍層の上下で温度差が大きくなることでその密度差が大きくなって上層の温水を取水しない傾向となる場合と、表層温水を取水することで取水温が更に上昇していく傾向となる場合がある。

$$\Delta h_c = \frac{U_0}{0.9 \cdot \sqrt{g \cdot \frac{\Delta \rho}{\rho_2}}} \cdot h_o^{1/2} \dots \dots \dots (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \lambda h &= \Delta h_c (1 - \lambda)^{1/2} - \lambda h_o \quad (\lambda c > 0.5) \\ \lambda &= -\left[\frac{hr}{h_o} \right] + \frac{1}{0.9} \cdot C \cdot Fri + 1 \\ &= \left\{ 0.5 \left[\frac{hr}{h_o} \right] - 0.094 \right\} \cdot Fri^{-2/3} \quad (\lambda c \leq 0.5) \\ t_i &= \frac{U_0}{\sqrt{\frac{\Delta \rho}{\rho} \cdot g \cdot h_o}} \end{aligned} \right\} \dots \dots (2)$$

- ここに、
 Δh : 躍層面から開口までの高さ(m)
 Δh_c : 表層温水を取水しない限界水深(m)
 h_o : 取水口の開口高さ(m)
 U_0 : 取水口開口部の平均流速 (m/s)
 g : 重力加速度 (9.8m/s²)
 $\Delta \rho$: 上下層の水の密度差 (= $\rho_2 - \rho_1$)
 ρ_1, ρ_2 : それぞれ上層, 下層の水の密度
 hr : 下層の厚さ (m)
 Fri : 取水内部フルード数

キーワード 石炭火力発電所, カーテンウォール式取水口, 温排水, 再循環, 取水温度
 連絡先 (広島市中区小町 4-33 TEL 082-544-2936 FAX 082-544-2661)

(2) 表層温水層の取水影響を考慮した取水深

石炭火力発電所のように蒸気タービンで発電する型式では、取水温度の上昇は発電効率の低下に直接つながり、使用燃料の増加に起因した発電原価上昇とCO₂排出量増加にもつながる。このため、密度躍層が厚い水域や、特に温排水再循環が懸念されるような場合、下層低温水を確実に取水できる深度で設計することが重要となる。

ここでは、千葉灯浮標（公共）の夏季水温分布³⁾をモデルとして、適切な取水深度について検討した。図-2に、7~8月の水温鉛直分布（平均）を指数分布によりモデル化した結果を示す。指数分布系の表層温水層厚はHw=11m（二層系換算：Ho=6.6m）と厚い分布を示している。

この温水分布を基に、取水深さを変化させ、再循環による表層温度の上昇を与えた場合に、取水温度が上昇しない上限の取水口深度を求めた。計算条件を図-3に、計算結果を表-2および図-4に示す。限界水深 Δhc がWL-7.85m（ケース(1)、(2)の間）であるため、ケース(1)では表層温水の影響を受けず、ケース(2)~(6)では表層温水の影響を受けた取水温（初期上昇値）となる。初期上昇値の水温上昇が上層温水の温度に更に加わった条件（温排水再循環が生じる条件）で再計算した取水温（再循環上昇値）を求めた。ケース(2)~(4)では、表層温水を取水するが再循環上昇値が初期上昇値を上回らず再循環は生じない。この結果は、式(1)、(2)の適用条件のうち、上下層の密度差が大きくなり、上層温水を取り込みにくくなる挙動によって、再循環上昇値が初期上昇値を下回る値となったものである。更に取水高さを浅くしたケース(5)、(6)では、表層温水を過度に取り込むため、再循環上昇値が初期上昇値を上回り、温排水の再循環を繰返すことによって、取水温が更に上昇（終局上昇値：3.077℃）していく危険性を含む結果となった。

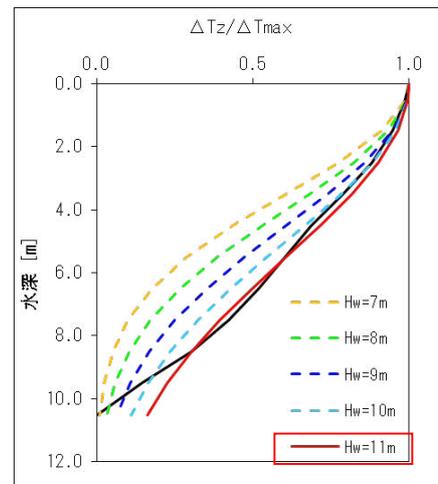


図-2 夏季水温鉛直分布

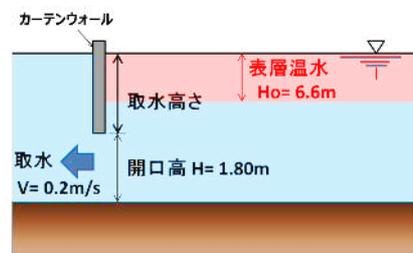


図-3 計算条件模式図

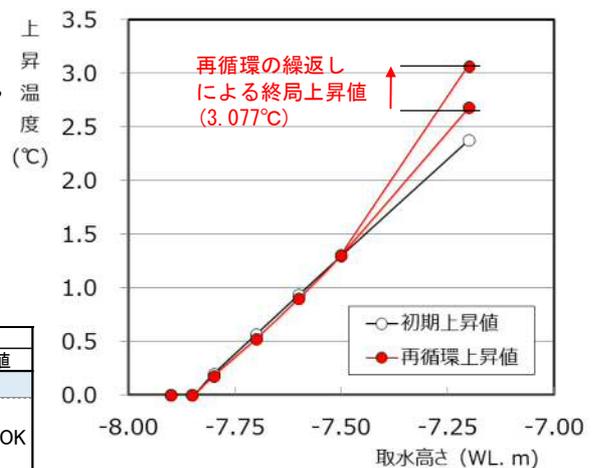


図-4 取水高さと取水温上昇の関係

表-2 計算結果総括表

ケース	取水高さ (WL-m)	表層温水取込判定		混入率算定		取水温度上昇値(°C)		
		$\Delta h(m)$	$\Delta hc(m)$	λ_c	λ	初期上昇値	再循環上昇値	
(1)	7.9	1.30	>1.25 OK	—	—	—	—	
(2)	7.8	1.20		0.688	0.022	0.196	> 0.178	
(3)	7.7	1.10		0.695	0.063	0.564	> 0.523	OK
(4)	7.6	1.00	<1.25 NG	0.702	0.104	0.932	> 0.899	
(5)	7.5	0.90		0.710	0.144	1.296	< 1.303	
(6)	7.2	0.60		0.733	0.264	2.377	< 2.678	NG

3. まとめ

発電効率に大きな影響がない範囲で、表層温水の混入を許容した設計を行わざるを得ない場合においても、ケース(5)、(6)のような再循環による取水温の再上昇が生じるような、浅い取水深さに取水口を設計してはならない。

蒸気タービンで発電する石炭火力発電所等を大都市圏の臨海部に開発する場合、建設原価の低減を求めるだけでなく、表層温水を可能な限り連行取水しない計画・設計が重要である。今後は、発電効率や環境面への影響を考慮した最適な取水口の計画・設計が求められ、取水深さは最重要の検討事項であると考えている。

【参考文献】 1) HP 公開資料：東京湾水質連続観測データ（2017年観測資料）

2) 電力中央研究所報告 U92020：温排水の再循環予測手法の改良，平成4年8月

3) HP 公開資料：千葉灯浮標観測データ（2017観測資料），千葉海上保安部