

II-29 発電所冷却水の深層取水効果について

東京電力 正員 杉 正

1. まえがき

火力、原子力発電所は復水器冷却用水に大量の海水を使用するが、とくに火力発電所は内湾の臨海工業地帯に立地することが多く、年間を通じて良質で安定した水温の海水を取水することが、発電所の効率運用にとって望ましい。

一般に内湾海域では夏季、上下層の水温差にもとづく顕著な水温躍層が形成される。また河川水、都市排水や周辺の工場廃水など、淡水系の影響による塩分躍層が存在することがある。深層取水設備はこれら躍層面下から水質の良い冷水を取水する方式であり、冷却水取放水の再循環防止策を含む発電所の高効率運転、ならびに冷却水放水温度の相対的低下による有効な温排水対策として、多くの火力発電所で採用されている。

東京電力では昭和42年運転を開始した姉崎火力発電所以降、全ての火力発電所で深層取水方式を採用している。ここに姉崎火力発電所の深層取水設備の効果について、現地実測を行ない理論解析との対比を試みる。

2. 深層取水について

深層取水方式にはカーテンウォール方式、海底取水管方式があるが、大容量発電所では一般的に前者が採用される。概念図を図-1に示す。深層取水設備の設計については電力中央研究所の千秋・和田氏の研究から、カーテンウォール方式の深層取水工が、水温躍層の上層を取水するか否かの限界条件は、フルード数 Fr との関係において、実験的に次式で表わされる。

$$Fr = 0.9 (\Delta h / h_0) \quad \text{----- (1)}$$

$$\text{ただし、} Fr = U_0 / \sqrt{g \Delta \rho / \rho \cdot h_0}, \quad U_0 = Q / B \cdot h_0$$

(1)、式から

$$\Delta h = (U_0 / 0.9 \sqrt{g \Delta \rho / \rho}) h_0^{1/2} \quad \text{----- (2)}$$

Q : 取水量 (m³/s) H : 躍層の厚さ (m)

B : 取水口幅 (m) Δh : 躍層面から底部天端までの必要深さ (m)

h_0 : 取水口部の高さ (m) ρ : 深層低温水の密度

U_0 : 取水口部の平均流速 (m/s) $\Delta \rho$: 上下層の密度差

なお、密度と海水温 T (°C)、塩素量 C (‰)の関係は次式で求められる。

$$\rho = \{-(T-398)^2(T+283) / 503.57(T+67.26) + (G_0 + 0.1324) \{1 - A + B(G_0 - 0.3124)\}\} \times 10^{-3} + 1.0 \quad \text{----- (3)}$$

$$\text{ただし、} G_0 = -0.069 + 1.471C - 1.570C^2 \times 10^{-3} + 39.80C^3 \times 10^{-6}$$

$$A = T(4.7867 - 98.185T \times 10^{-3} + 1.0243T^2 \times 10^{-3}) \times 10^{-3}, \quad B = T(18.03 - 0.8164T + 6.67T^2 \times 10^{-3}) \times 10^{-6}$$

深層取水のカーテンウォールの深さ D を $H + \Delta h$ 以上にすれば上層を取水しないが、実際は躍層面や密度差が変動するので上層水の混入する場合が生ずる。混入率を λ とすると、

$$\Delta h = \Delta h_c (1 - \lambda)^{1/2} - \lambda \cdot h_0 \quad \text{----- (4)}$$

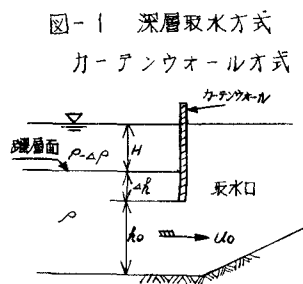
ただし、 Δh_c は混入率に關し、(2)式で求められた躍層面からの深さである。

(4)式を λ に關する2次式で表わすと

$$\lambda^2 + \lambda \{(\Delta h_c / h_0)^2 + 2(\Delta h / h_0)\} - \{(\Delta h_c / h_0)^2 - (\Delta h / h_0)^2\} = 0 \quad \text{----- (5)}$$

となる。なおこの式で $\lambda > 0$ の条件下では常に $\Delta h_c > \Delta h$ である。

混入率 λ に対するカーテンウォール内側での平均取水温度 θ は、上層水の水温を T_1 、下層水の水温を T_2 、



水温差 $\Delta T = T_1 - T_2$ とすると (6) 式で表わされる。

$$T_0 = \lambda \cdot T_1 + (1 - \lambda) T_2 = T_2 + \lambda \cdot \Delta T$$

----- (6)

3. 現地実測と試算値の対比

深層取水工の実態については、すでに千秋・和田氏により多数の実例が発表されているが、実測の結果水温躍層と同時に、とくに塩分成層の認められぬ姉崎火力発電所の例について対比を行なう。

姉崎火力発電所の深層取水設備は図-2のとおりであり、昭和46年8～9月にかけて行なったカーテンウォール前後の水温、塩素量および取水流速の鉛直分布の実測結果のうち代表的なものを図-3に示す。

図-2 カーテンウォール断面図

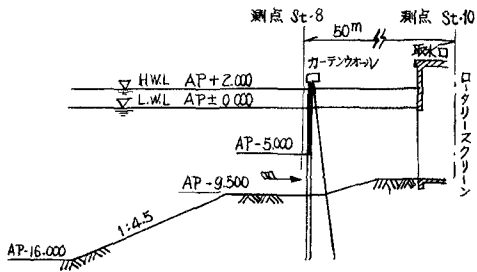


図-3 実測結果

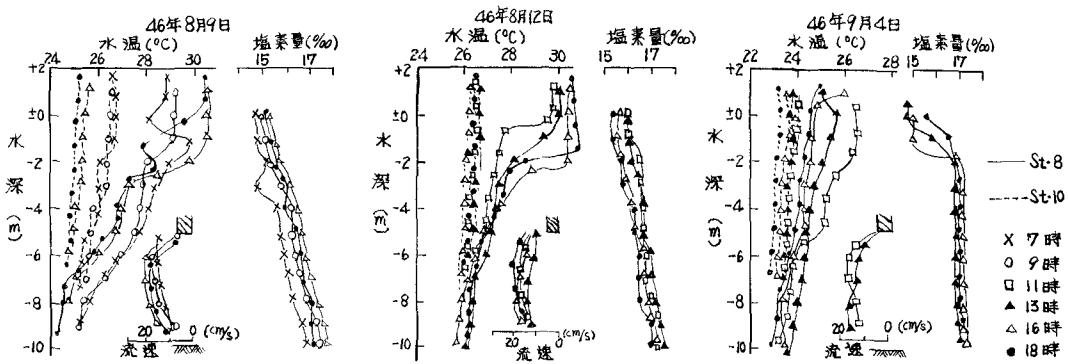


図-3から、海域には上下層の温度差3～5℃、躍層の厚さ2～4mの典型的な水温躍層が形成されている。また、この海域は淡水系の影響を受けて塩分成層が同時に存在し、より安定した躍層が形成されているものと考えられる。またSt-8とSt-10の鉛直分布を比較すると、カーテンウォールが深層の冷水を取水する効果が明らかになることがわかった。

表-1 実測値および計算値

	上層水		下層水		躍層厚 H (m)	取水速度 U ₀ (m/s)	密度 ρ/ρ ₀	混入率 λ	平均取水温度(℃)	
	水温 (℃)	塩素量 (‰)	水温 (℃)	塩素量 (‰)					計算値	実測値
S-46-8-9	30	15.5	25	17.5	4	0.16	$\frac{4.293 \times 10^{-3}}{1.0208}$	0.157	25.8	25.5
S-46-8-12	30	16.0	26	17.0	3	0.16	$\frac{2.639 \times 10^{-3}}{1.0198}$	0.129	26.5	26.5
S-46-9-4	26	16.17	23.9	16.95	2	0.16	$\frac{1.682 \times 10^{-3}}{1.02039}$	0	23.9	23.8

4. あとがき

従来、深層取水設備は主として水温躍層に着目してその効果が論ぜられてきたが、姉崎火力発電所のように淡水系の影響と思われる塩分成層が同時に形成される地点においては、両者を併せた評価が必要といえよう。

(参考文献)

- 1) 千秋信一・和田明「火力発電所冷却水深層取水に関する研究」電中研・技術研究報告書、土木64005、1964年8月。
- 2) 千秋信一「火力発電所冷却水の深層取水」発電水力協会・オ8回発電水力講習会テキスト、1966年2月。
- 3) 千秋信一「臨海発電所の海岸施設の水利設計」発電水力協会・オ12回発電水力講習会テキスト、1970年2月。