

神戸発電所第3号、第4号海水ポンプピット・取水路の海水取水系統における安定稼働の検証

(株)神戸製鋼所 正会員 ○杵山 功樹 杉本 真隆
(株)熊谷組 正会員 曾田 龍夫 水畑 行博
(株)熊谷組 正会員 大本晋士郎 正会員 古川 敦

1. はじめに

(株)神戸製鋼所神戸発電所は、石炭火力4基(270万kW)の発電設備を有している。発電所の概要を表1に示す。発電所設備のうち、3、4号機(新設機)の海水ポンプピット・取水路(図1、図2)には、大容量の送水能力を有する循環水ポンプを4基設置している。循環水ポンプの取水経路は、隣接する1、2号機(既設機)による敷地制約、および循環水ポンプの稼働状態が複雑に変化することから、水理数値シミュレーションを用いた解析(以下、シミュレーション)により、最適形状や効果的な整流構造物の検討を行った¹⁾²⁾。検討の結果、管路に接続する陸域の経路は、施工手順の省略等による安全性向上、躯体の物量面の最小化から、開水路形式を採用(図1)し、また、流れをより整流化するために、取水庭に三角柱形状の導流壁(図1、図5)を設けた。

本稿では、シミュレーションと同条件時(循環水ポンプ4基100%流量下、および低潮位L.W.L(K.P.±0.0m))に、水位と流速の実測定値が、海水取水系統の安定稼働条件(表2)を満足するか、シミュレーションと比較・検証した結果を報告する。あわせて、取水庭水面の流況の比較結果についても報告する。

表 1. 発電所の概要

	1号機	2号機	3号機	4号機
定格出力	70万kW	70万kW	65万kW	65万kW
発電方式	微粉炭火力 超臨界圧発電(SC)		微粉炭火力 超々臨界圧発電(USC)	
営業運転 開始時期	2002年4月	2004年4月	2022年2月	2023年2月
燃料	石炭			
所在地	兵庫県神戸市(株)神戸製鋼所神戸線条工場内)			

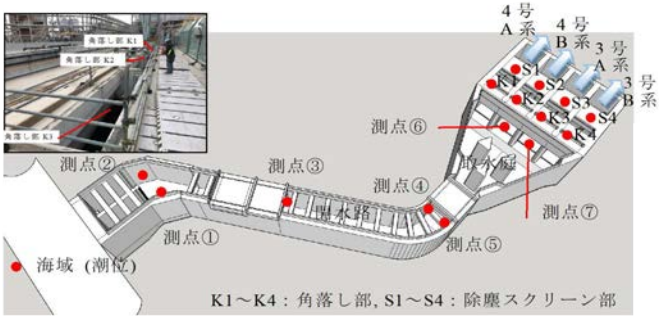


図 1. 海水ポンプピット・取水路全景および各計測点

表 2. 循環水ポンプの安定稼働条件

水位 条件	循環水ポンプ必要水位	K.P.-2.450m
	水位変動	20cm以下
流速 条件	ポンプ室左右流速	30:70程度以内
	スクリーン付近平均流速	0.3~0.4m/s以下

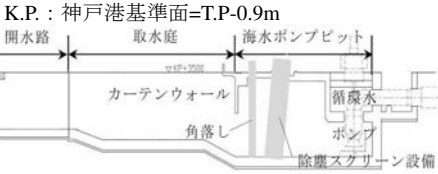


図 2. 縦断面図

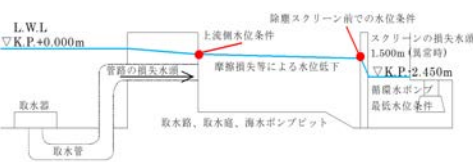


図 3. 海水取水系統の水位条件

2. 実機測定結果(損失水頭, 流速分布)

(1) 水位測定による損失水頭, 水位変動の評価

水路内の流れには、摩擦損失を主とした水位低下が発生する。循環水ポンプの安定稼働に必要な水位は、K.P.-2.450m 以上(表2)であるが、これには、除塵スクリーンにクラゲ等の異物が流入した場合の損失水頭(1.5m)も含まれている(図3)。このため、循環水ポンプの安定稼働に必要な水位の確認を除塵スクリーン前とし、K.P.-0.950m 以上を満足しているか、水位測定を行った。測定結果を表3、図4に示す。

計測時の海水位は、K.P.+0.063m であり、シミュレーションの K.P.±0m と差異があることから、損失水頭の合計値と比較した。海面水位から角落し部までの損失水頭の合計値 0.739m は、規定値 0.950m、シミュレーション 0.876m のいずれの値も下回り、安全側の結果と考える。また、除塵スクリーン通過後の水位については、K.P.+0.712m~K.P.+0.819m であり、水位変動 20cm 以下を満たした。

表 3. 水位測定結果と損失水頭合計

損失水頭合計：海面水位－角落し部平均							各水位 K.P. m
	海面水位	測点①、② 平均水位	測点③	測点④、⑤ 平均水位	測点⑥、⑦ 平均水位	角落し部 通過後 平均水位 K1～K4	スクリーン 通過後 平均水位 S1～S4
実測値	0.063	-0.421	-0.655	-0.690	-0.685	-0.676	-0.776
解析値	0.000	-0.704	-	-0.969	-	-0.876	-0.906
							損失水頭合計(m) 海面水位－ 角落し部平均
							0.739
							0.876

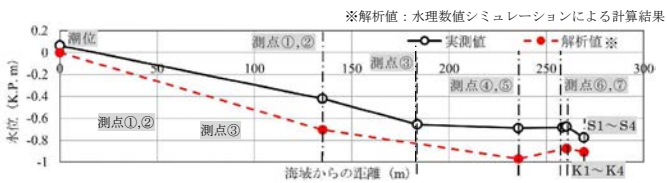


図 4. 水位測定結果と解析値との比較

(2) 流速測定による流速分布の評価

流速測定には、河川の流量測定等で実用化されている短時間で面的分布の流速測定が可能な、超音波ドップラー式流向流速プロファイラー流速計（以下、ADCP 流速計）を使用した。同流速計を図 9、諸元を表 4 に示す。

なお、実機での流速測定は、構造上、角落し部での測定のみとなるが、角落し部の方が、除塵スクリーンより 3m 程度上流にあり、除塵スクリーンを通過した水流は、整流化されることから、角落し部にて、循環水ポンプの安定稼働条件を満足していれば、安全側の評価が可能と考えた。角落し部における実測値とシミュレーションの流速分布のコンター図、流速比率、各流速を図 5 に示す。

実測値の流速分布のコンター図は、局所的に流速が速い箇所も見られるが、シミュレーション結果と類似しており、流れが均等に分散していることが確認できた。流速比率（断面左右）は、実測値で、30:70~47:53、シミュレーションで、37:63~44:56 となり、流速比率 30:70 以内を満足している。一方で、条件は満たすものの、流速比率の左右の割合が、実測値とシミュレーションで反転している。これは、シミュレーションにおける除塵スクリーンの解析モデルと除塵スクリーン実機との形状の差異（図 6）により、角落し部-除塵スクリーン間での流れが局所的に複雑になっているためと考える（図 7）。平均流速は、実測値で、0.25~0.29m/s、シミュレーションで、0.25~0.30m/s となり、平均流速 0.3~0.4m/s 以下を満たしている。

以上、(1)・(2)より海水ポンプピット・取水路は、循環水ポンプの安定稼働条件を満足することを確認した。

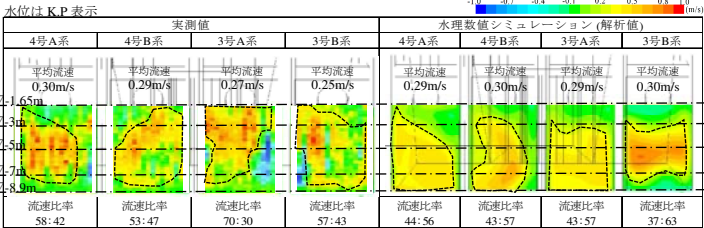


図 5. 流速分布のコンター図、流速比率、平均流速

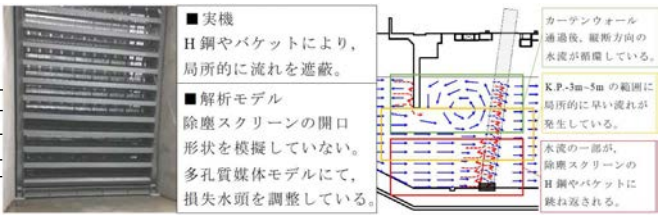


図 6. 除塵スクリーン

図 7. 縦断方向の水流イメージ

3. 取水庭水面の流況の確認と水理解析との比較

取水庭水面の流況を、ドローンにより空撮し、確認すると共に、シミュレーションの流速ベクトル図との比較を行った（図 8）。取水庭水面の流況は、開水路のカーブ外側沿いに流速が速くなっており、カーブに沿って進んだ後、1 列目の導流壁に接触する。1 列目の導流壁接触後、流れは左右に振り分けられ、2 列目の導流壁に接触し、更に分散される。一方、導流壁に接触しなかった流れは、角落し手前にあるカーテンウォールに接触し、跳ね返されながら、左回りに渦を巻き、整流化されていく。撮影した流況と流速ベクトル図は、類似しており、実構造物における流況は、シミュレーション通りの傾向を有していると考えた。

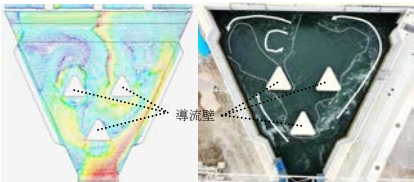


表 4. ADCP 流速計の諸元

使用機器	ワークホースADCPセンテネル1,200kHz		
寸法、重量	Φ228mm×H405.5mm、13.0kg	測定レンジ	±5m/s (最大±20m/s)
計測層厚	0.25m (最大レンジ11m)	ビーム	主流方向20°
測定精度	±0.3% or 0.3cm/s	音波発信回数	10回/1計測
分解能	0.1cm/s	1計測	約2秒

図 8. 取水庭の流速ベクトル図と流況 図 9. ADCP 流速計

参考文献

- 1) 杵山功樹・杉本真隆・曾田龍夫・大本晋士郎：神戸発電所第 3 号、第 4 号海水ポンプピット・取水路建設工事における水理設計(1), 土木学会第 75 回年次学術講演会
- 2) 勝又啓成・曾田龍夫・大本晋士郎・杵山功樹・杉本真隆：神戸発電所第 3 号、第 4 号海水ポンプピット・取水路建設工事における水理設計(2), 土木学会第 75 回年次学術講演会