

本資料のうち、枠囲みの内容は営業秘密又は防護上の観点から公開できません。

平成30年5月15日
日本原子力発電株式会社

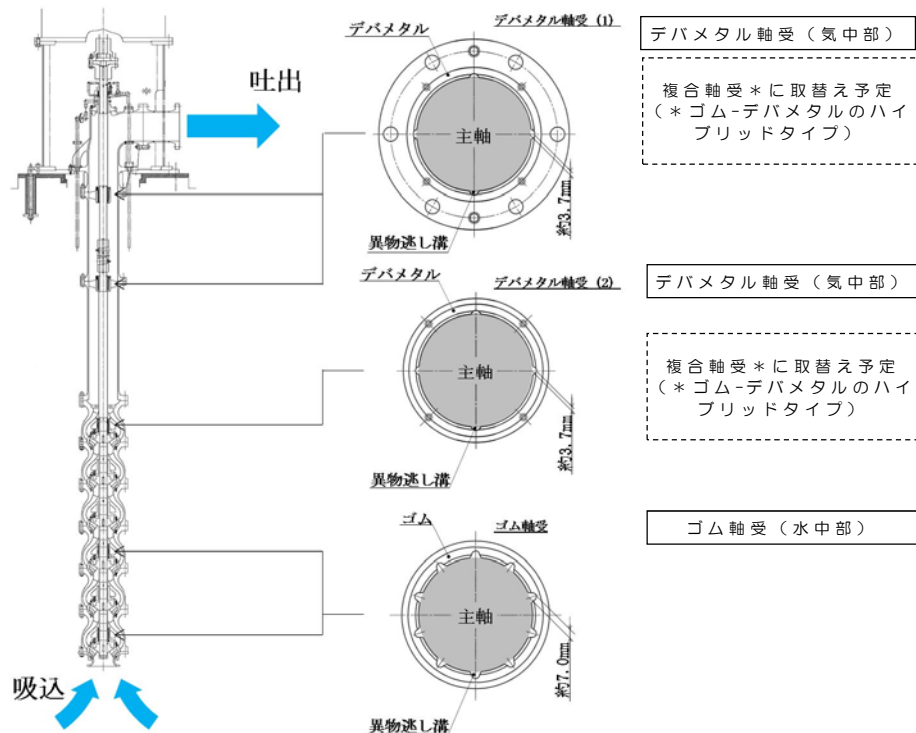
添付資料 1 4

非常用海水ポンプ軸受の浮遊砂耐性について

1. 非常用海水ポンプ軸受の浮遊砂耐性について

東海第二発電所の非常用海水ポンプは、海水取水時に海水中に含まれる浮遊砂を吸い込み、軸受隙間に入り込む可能性を考慮し、砂が混入してもこれを排出することで機能維持可能な設計としている（第1図）。また、これまでの運転実績から、浮遊砂混入によるトラブルは発生していない。

しかしながら、津波発生時は、津波により海底の砂が巻き上げられ、通常よりも浮遊砂環境が厳しくなる可能性があることから、既設のデバメタル軸受については、浮遊砂に対する耐性の高い複合軸受に取り替える計画とし、試験装置を用い、高濃度の浮遊砂濃度を模擬した試験を実施し、非常用海水ポンプ軸受の耐性を評価する。

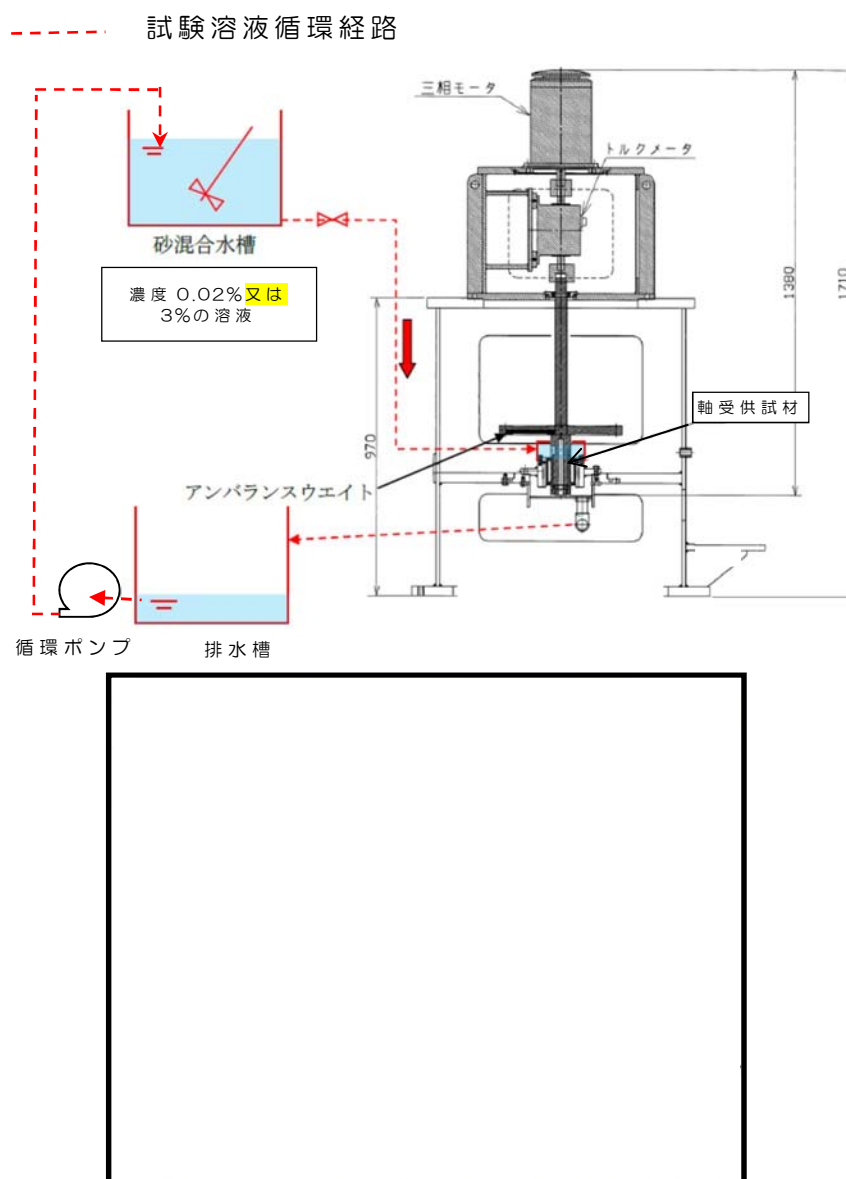


第1図 非常用海水ポンプ断面図，軸受図

2. 軸受摩耗試験

試験装置に、軸受供試材を取り付けて一定時間運転し、運転前後の供試材寸法測定により摩耗量を求めた。試験溶液の砂濃度は、通常運転時模擬濃度0.02[wt%]及び高濃度3[wt%]を設定し、試験時間を通して、連続的にこの濃度の溶液が軸受に供給される試験系統とした。

試験装置の概略構成図を第2図に示す。



第2図 試験装置概略図

軸受供試材は、既設のゴム軸受（水中部）と、複合軸受（デバメタル軸受（気中部）から取替を計画している軸受^{*}）の供試材を用いた。第1表に、軸受摩耗試験条件を示す。

※以下のとおり東海第二発電所と類似環境で運用される同型式の海水ポンプに採用実績がある。また、良好な運転実績（軸受に起因する不具合なし）がある。

A原子力発電所 a 号炉

A原子力発電所 b 号炉

B原子力発電所 a 号炉

B原子力発電所 b 号炉

B原子力発電所 c 号炉

B原子力発電所 d 号炉

C原子力発電所 a 号炉

第1表 軸受摩耗試験条件

項目	試験条件
回転数 [m/s]	試験装置：5(実機：9.4 ^{*1})
面圧 [kPa]	3.7 ^{*2}
砂粒径 [mm]	0.15
軸受供試材材料	ゴム，複合型
試験時間[hr]	5

*1：試験時摩耗量に9.4/5を乗じて実機周速に補正

*2：回転体アンバランスによる実機の振れ回りを再現した荷重

軸受摩耗試験結果から、寿命評価式（①式）を用いて比摩耗量 K_1 を算出した結果を以下に示す。

$$T_1 = \frac{\sigma}{PVK_1} \dots \textcircled{1} \quad (\text{機械工学便覧参照})$$

- K_1 : 比摩耗量 [mm^2 / kgf]
 σ : 摩耗量 [mm]
 P : 軸受面圧 [kgf / mm^2]
 V : 周速 [mm / s]
 T_1 : 摩耗量 σ に至るまでの時間 [s]

【ゴム軸受】

0.02[wt%]濃度時の比摩耗量 K_1 (ω_0)	$2.74 \times 10^{-7} [\text{mm}^2 / \text{kgf}]$
3[wt%]濃度時の比摩耗量 K_1 (ω)	$4.65 \times 10^{-6} [\text{mm}^2 / \text{kgf}]$

【複合軸受】

0.02[wt%]濃度時の比摩耗量 K_1 (ω_0)	$9.41 \times 10^{-7} [\text{mm}^2 / \text{kgf}]$
3[wt%]濃度時の比摩耗量 K_1 (ω)	$5.76 \times 10^{-6} [\text{mm}^2 / \text{kgf}]$

$K_1 \omega_0$: 0.02[wt%]における比摩耗量

$K_1 \omega$: 3 [wt%]における比摩耗量

3. 軸受寿命評価 (0.02[wt%], 3[wt%])

試験時、基準津波時の浮遊砂濃度（評価点）が未知であったことから、通常時を模擬した浮遊砂濃度0.02[wt%]と、基準津波時に予想される高濃度を包絡すると予想される濃度3[wt%]で摩耗量を実測し、比摩耗量の評価及び軸受寿命を算出した。

第2表 比摩耗量と軸受寿命(0.02[wt%], 3[wt%])

0.02wt%試験実測値							
軸受/濃度	摩耗量(平均)	面圧[kgf/mm ²]	周速[mm/s]	比摩耗量	許容隙間	軸受寿命(sec)	軸受寿命(hr)
ゴム軸受/ 0.02%	0.0171	0.00037	9400	2.73145E-07	1.012	1065263.158	295.9064327
複合軸受/ 0.02%	0.0589	0.00037	9400	9.40834E-07	1.012	309269.9491	85.90831919
3wt%試験実測値							
軸受/濃度	摩耗量(平均)	面圧[kgf/mm ²]	周速[mm/s]	比摩耗量	許容隙間	軸受寿命(sec)	軸受寿命(hr)
ゴム軸受/ 3%	0.5814	0.00037	9400	4.64347E-06	1.012	62662.5387	17.40626075
複合軸受/ 3%	0.7201	0.00037	9400	5.75123E-06	1.012	50592.9732	14.05360367

摩耗量（平均）：軸受試験前と試験後の寸法差の平均
 面圧：実機を模擬した面圧
 周速：実機周速
 比摩耗量：①式にて算出
 許容隙間：設計許容隙間
 軸受寿命：初期隙間が許容隙間に至るまでの時間

4. 軸受寿命評価(0.48[wt%])

基準津波時の砂移動解析結果から、非常用海水ポンプ室近傍の浮遊砂濃度は、0.18[vol%]との結果が得られたことから、砂の密度2.72[g/cm³]を乗じて重量濃度0.48[wt%]に換算した上で、比摩耗量の式(②)を参考に、0.02[wt%]と3[wt%]の試験結果から、浮遊砂濃度0.48[wt%]における比摩耗量を算出した。

なお、比摩耗量の式(②)は公開文献「立軸ポンプセラミックス軸受に関する研究」*から引用している。この公開文献では、200～3000ppmのスラリー濃度の軸受摩耗量を測定しており、比摩耗量とスラリー濃度との間には相関関係があると結論づけられており、この知見を参考とした。

$$\frac{\omega}{\omega_0} = \left[\frac{C_\omega}{C_0} \right]^{0.9} \dots \textcircled{2}$$

*出典：立軸ポンプセラミックス軸受に関する研究，湧川ほか（日本機械学会論文集（B編）53巻491号（昭62-7）、pp.2094~2098

②式を参考とし、0.02[wt%]の比摩耗量と3[wt%]の比摩耗量の2点間が線形近似できると評価し、以下の式にて0.48[wt%]におけるゴム軸受と複合軸受の比摩耗量を算出した。

【ゴム軸受】



比摩耗量 $k = 1.64748 \times 10^{-6} [\text{mm}^2 / \text{kgf}] \dots \textcircled{3}$

【複合軸受】



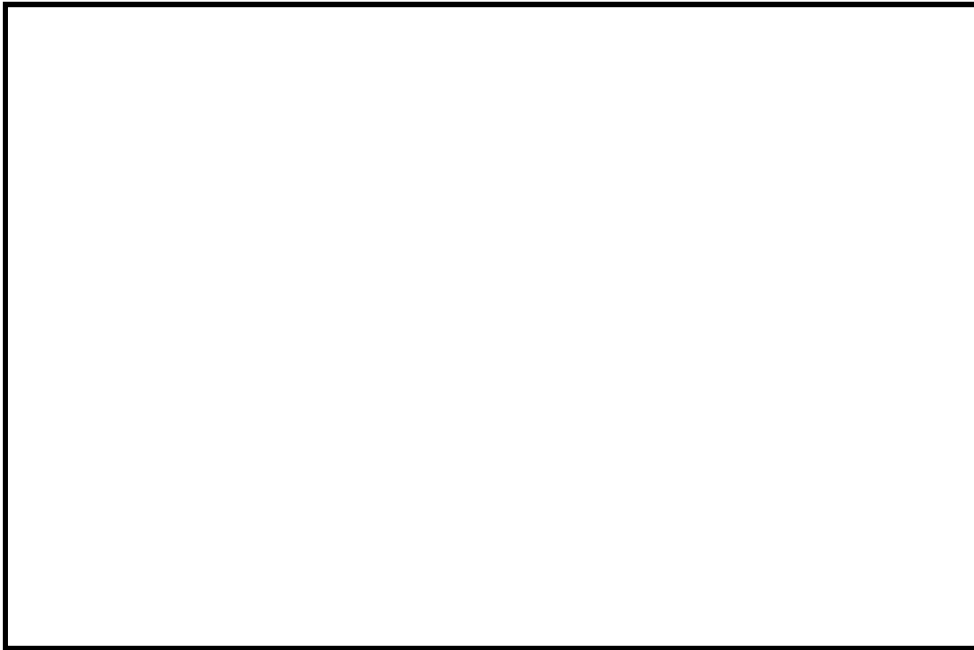
比摩耗量 $k = 2.9662 \times 10^{-6} [\text{mm}^2 / \text{kgf}] \dots \textcircled{4}$

③及び④を元に寿命評価した結果，隙間許容値に至るまでの運転時間は，第3表のとおり，ゴム軸受で約49時間，複合軸受で約27時間と評価した。

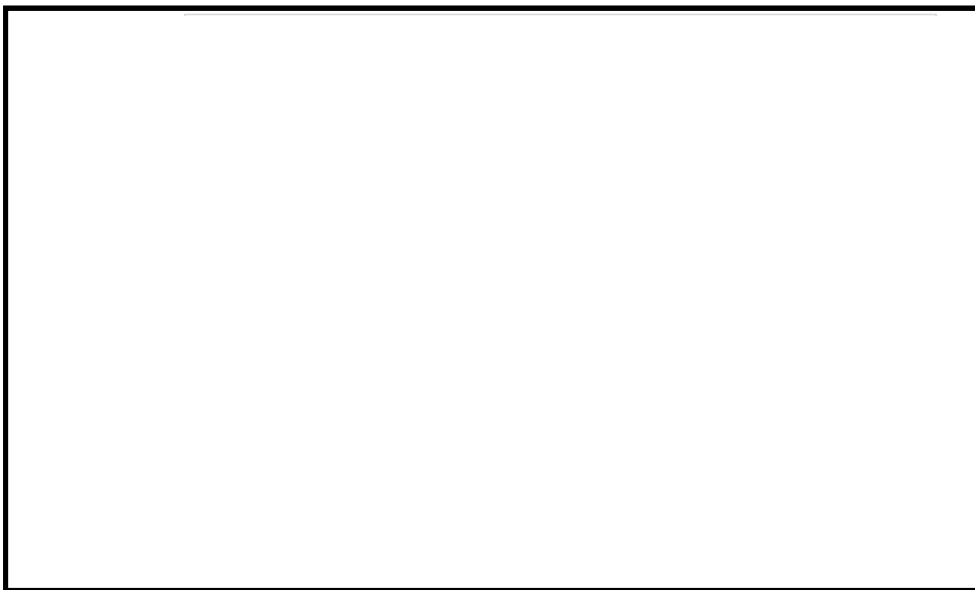
第3表 比摩耗量と軸受寿命(0.48wt%)

0.48wt%(評価濃度)における寿命評価							
軸受/濃度	摩耗量(平均)	面圧[kgf/mm2]	周速[mm/s2]	比摩耗量	許容隙間	軸受寿命(sec)	軸受寿命(hr)
ゴム軸受/ 0.48	—	0.00037	9400	1.64748E-06	1.012	176616.1197	49.06003324
複合軸受/ 0.48	—	0.00037	9400	2.9662E-06	1.012	98095.94829	27.24887453

浮遊砂濃度と比摩耗量との相関関係を第3図及び第4図に示す。



第3図 浮遊砂濃度と比摩耗量との相関図（ゴム軸受）

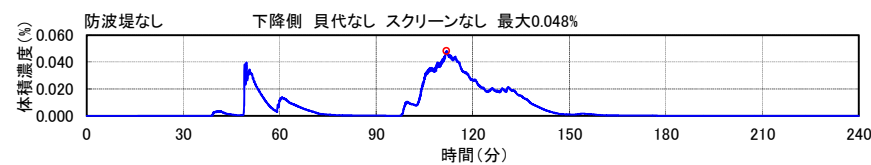
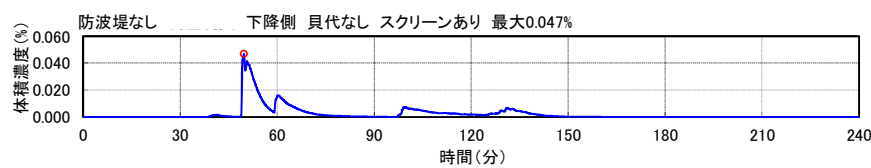
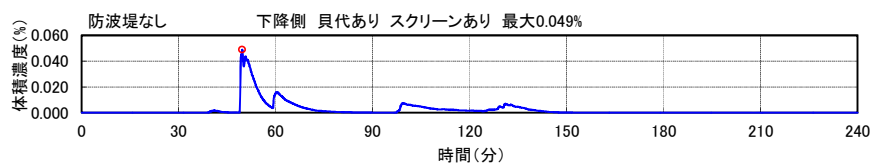
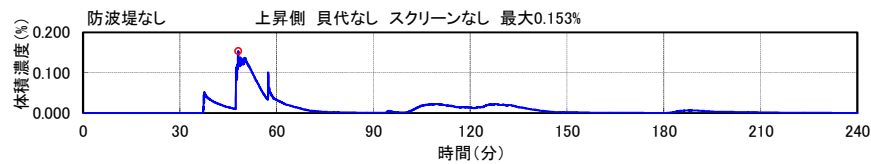
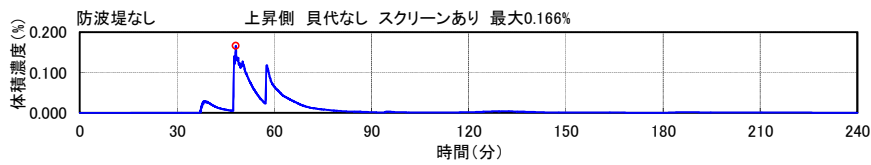
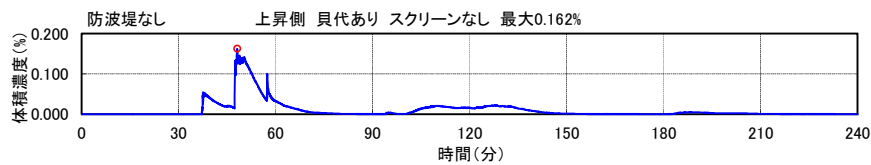
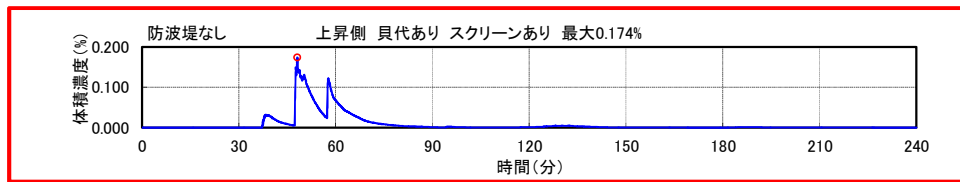


第4図 浮遊砂濃度と比摩耗量との相関図（複合軸受）

5. 浮遊砂濃度のピーク時間の評価

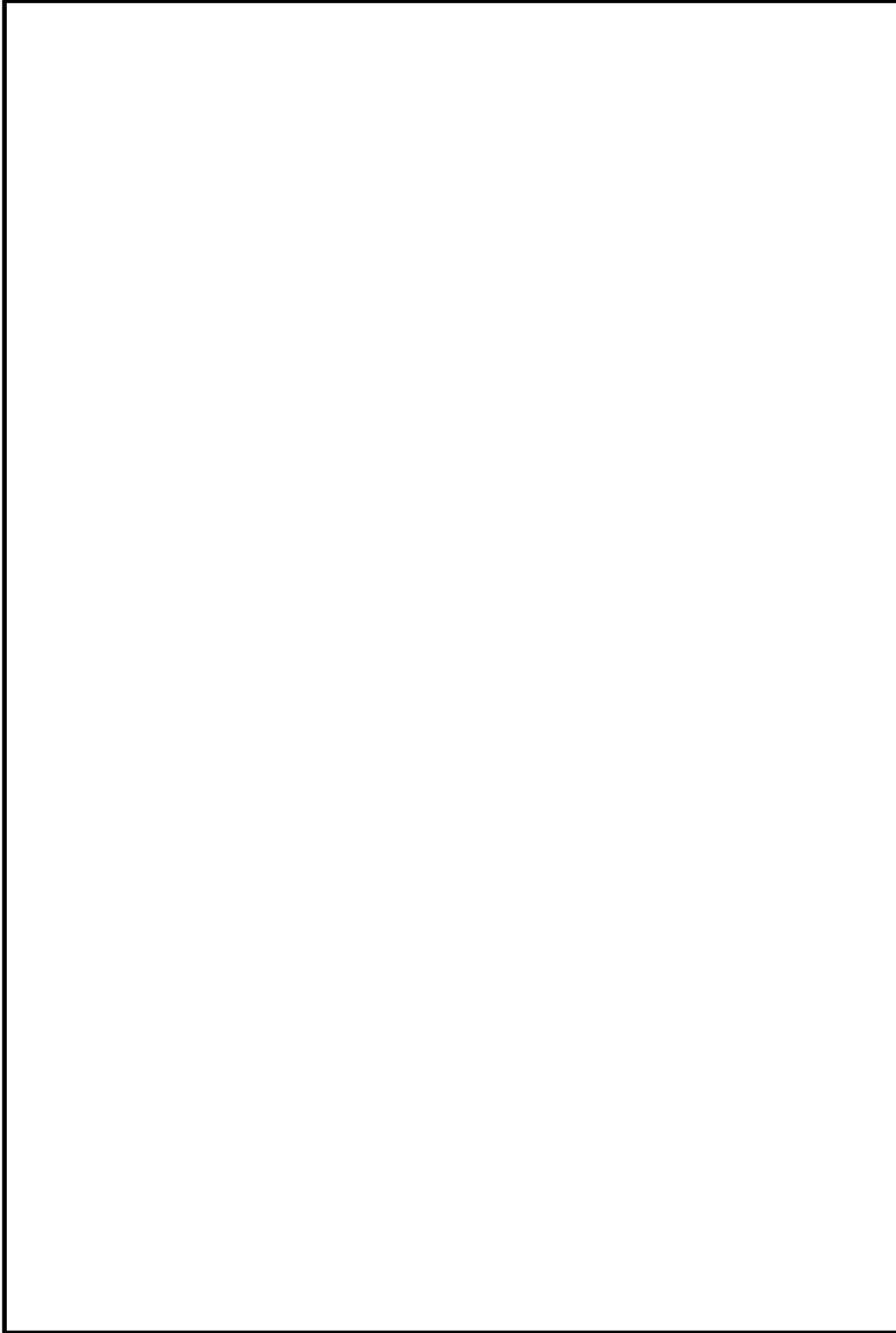
基準津波時の砂移動計算結果から得られた砂濃度の時刻歴グラフを第5図に、取水口及び取水構造物（取水路及び取水ピット）の配置を第6図に示す。また、砂移動計算の諸条件を第4表に、その他の解析条件を第5表に示す。

非常用海水ポンプが設置される全水路の計算結果から、最も高い砂濃度を示すE水路のケースを想定しても、基準津波時の浮遊砂濃度のピークは数分で収束し、軸受摩耗試験で設定したような連続5時間の高濃度の状態は認められない。



第5図 浮遊砂濃度時刻歴グラフ

(E水路水位上昇時(防波堤なし, 貝代考慮, スクリーンあり))



第6図 取水口及び取水構造物（取水路及び取水ピット）配置図

第4表 砂移動計算の諸条件

	設定値	備考
砂移動モデル	高橋ほか(1999)によるモデル	
マンニングの粗度係数	0.03[m ⁻¹ /s]	土木学会(2002)より
浮遊砂体積濃度上限値	1, 3, 5[vol%] うち, 1[vol%]が最もよく砂移動を再現していると確認できたことから, 上限濃度1%時の解析結果を採用	
砂の粒径	0.15[mm]	底質調査より設定
砂粒の密度	2.72[g/cm ³]	底質調査より設定

第5表 その他の解析条件

項目	評価条件
海水取水流量[m ³ /hr]	2549.4*
その他の考慮事項	防波堤の有無, スクリーンの有無, 貝代の有無

* 非常用海水ポンプ全台運転, 循環水ポンプ及び補機冷却系海水ポンプ停止時の流量

6. 総合評価

東海第二発電所の非常用海水ポンプの軸受は、基準津波時に海水中に含まれる浮遊砂（中央粒径0.15mm）が混入しても、砂排出溝（約3.7mm～7.0mm）によりこれを排出することで機能維持可能である。

また、基準津波に伴い巻き上げられた浮遊砂が軸受に巻き込まれたとしても、ポンプピット近傍が高濃度の浮遊砂の状態にある時間は数分で収束することから、試験結果から得られた運転可能時間で十分包絡でき、非常用海水ポンプの軸受は機能維持可能である。