

島根原子力発電所 2号炉 津波による損傷の防止

「原子炉補機海水ポンプ長尺化に伴う砂移動への影響」

(コメント回答)

令和 2 年 7 月
中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

指摘事項一覧

No.	審査会合日	コメント内容	回答頁
8	H31.2.26	<ul style="list-style-type: none"> ・ベルマウス下端と取水槽下端のクリアランス (500mm) が、ベルマウス径 (750mm) に対して十分なクリアランスであることを標準的な設計の考え方も踏まえて説明すること。 ・ベルマウス下端と取水槽下端のクリアランスは、累積運転時間を考慮した保守的な砂堆積量を考慮しても、取水性能への影響はないことを説明すること。 	P.3,6
31	R元.5.21	<ul style="list-style-type: none"> ・海水ポンプの長尺化によって、ベルマウス下端が取水槽底面に近接しているポンプを継続運転した場合の砂の移動及び堆積による影響について、設置位置の異なる循環水ポンプの運転実績から影響がないことを確認できるとしていることの根拠を説明すること。 	P.7
78	R2.1.28 (本日回答)	<ul style="list-style-type: none"> ・砂移動及び堆積による影響について、設置位置の異なる循環水ポンプの運転実績から影響がないことを確認できるとする判断の根拠を明確に説明すること。また、海水ポンプ運転に伴うベルマウス下端近傍の局所的な砂堆積の増大量を評価したうえで、海水ポンプの必要クリアランス確保への影響について説明すること。さらに、ベルマウス付近の流速と砂の粒径を具体的に示した上で、海水ポンプの取水性能への影響が無いことを説明すること。 	P.7～9
79	R2.1.28 (本日回答)	<ul style="list-style-type: none"> ・海水ポンプ下端の耐震サポートについて、構造の詳細、取水性能を確認した模型試験でのサポート模擬の有無及びそれを踏まえた取水性能への影響を説明すること。また、耐震サポートの耐震性評価結果を詳細設計段階で説明すること。 	P.3～5

指摘事項に対する回答（まとめ）

■ 回答まとめ

- ベルマウス下端と取水槽下端のクリアランスは、日本機械学会基準「ポンプの吸込水槽の模型試験法」（JSME S 004-1984）に示されているベルマウス径の1/2以上を満足するようクリアランスを500mmと設計している。
【P. 3】【前回説明】
- 海水ポンプ長尺化に伴うベルマウス下端への耐震サポート設置による取水性への影響については、耐震サポートを設置した状態における実機海水ポンプによる性能試験等により、影響がないことを確認している。（P. 3～5）
【今回説明】
- 島根2号炉の取水口が設置される輪谷湾の底質土砂は、岩及び砂礫で構成されており、砂の分布はほとんどない。（P. 6）【前回説明】
- 島根2号炉の取水口は、取水口呑口が海底面より5.5m高い位置にあるため、海底面の砂が取水口に到達しにくい構造である。（P. 6）【前回説明】
- 取水槽点検において、除じん機上流側および近傍の一部に堆積物が確認されているが、海水ポンプ吸い込みエリア底面には、堆積物が確認されていない。（P. 7）【前回説明】
- ベルマウス下端近傍の取水槽床面では海水ポンプの吸込流速が砂の沈降速度を上回っており、ベルマウス下端近傍に到達する砂はポンプに吸込まれることから、ベルマウス下端近傍に砂の堆積はない。（P. 7～9）
【今回説明】

3

指摘事項に対する回答【No. 8,31,78,79】

ポンプ長尺化に伴うクリアランスの設計の考え方

第828回審査会合資料1-2 P.3加筆・修正
※修正箇所を青字で示す

- ▶ ベルマウス下端と取水槽下端のクリアランスについては、長尺化前は400mmであり、取水性能に関わる不具合は確認されていない。
- ▶ 長尺化に当たっては、日本機械学会基準「ポンプの吸込水槽の模型試験法」(JSME S 004-1984) に示されているベルマウス径(750mm)の1/2以上(375mm)を満足するよう、クリアランスを500mmとし、模型試験を行い取水性能を確認している。
- ▶ 海水ポンプ長尺化に伴うベルマウス下端への耐震サポート設置による取水性への影響については、耐震サポートを設置した状態において実機海水ポンプによる性能試験等を実施し影響がないことを確認している (P. 4,5参照)。

表 海水ポンプのベルマウス径とクリアランスの比較

	ベルマウス径 D_0	必要クリアランス	クリアランス
原子炉補機海水ポンプ	750 mm	375 mm	500 mm
高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ	340 mm	170 mm	

原子炉補機海水ポンプの例

水流方向

水流方向

図 ボトムクリアランス (左:長尺化前, 右:長尺化後)

指摘事項に対する回答【No. 8,31,78,79】

ポンプ長尺化に伴う耐震サポート設置による取水性への影響(1/2)

➤ 耐震サポートの構造及び耐震サポートを設置した状態における試験内容とその結果を示す。

【試験内容】

- 耐震サポートを設置した実機海水ポンプをピットに設置し、試験用電動機にて、ポンプの性能を確認。

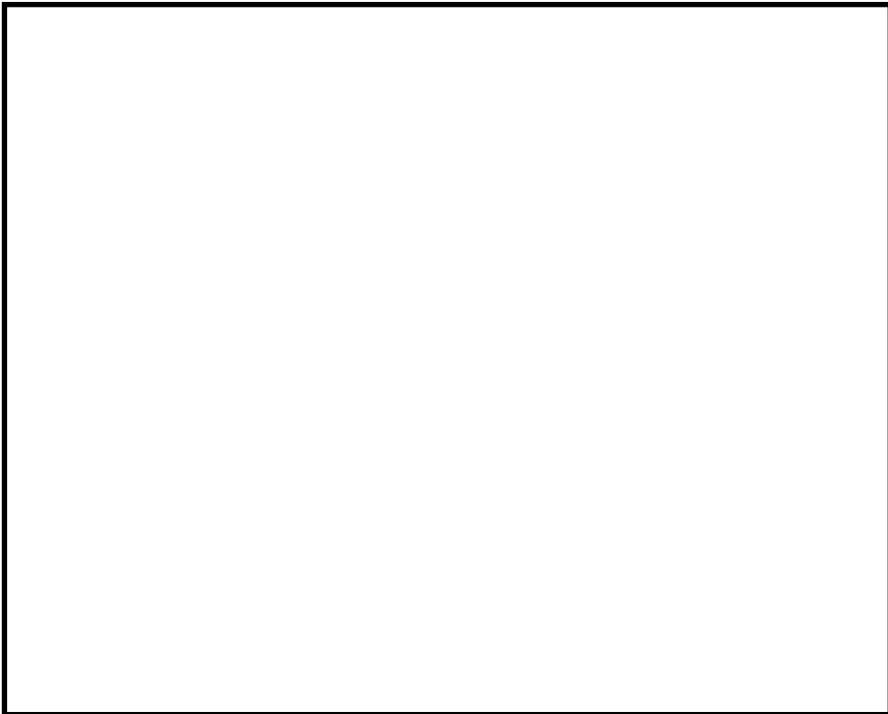


図 耐震サポート構造図

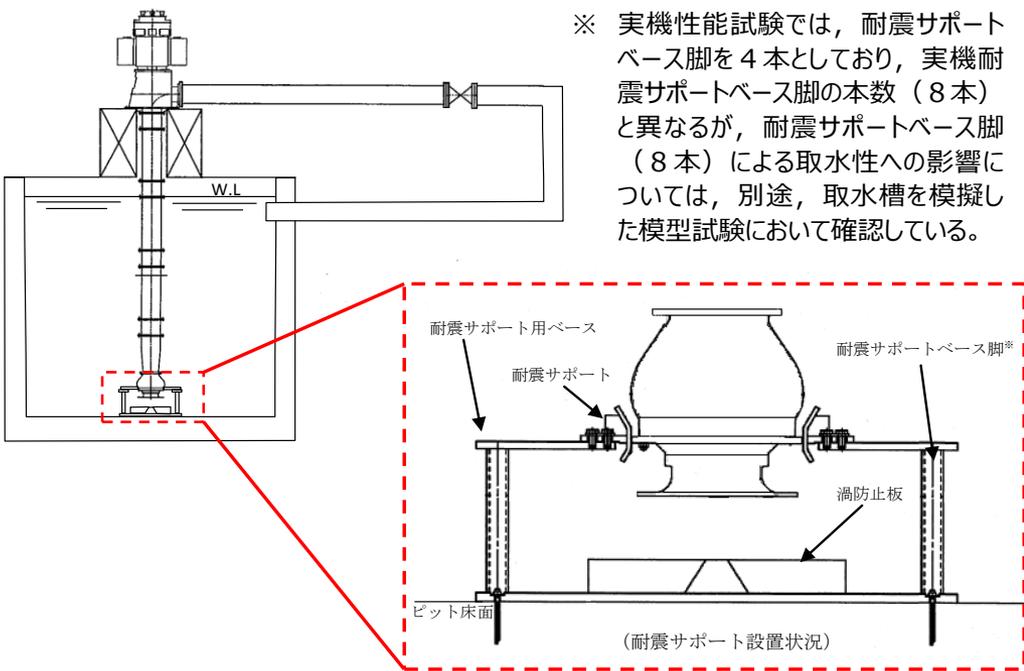


図 試験装置概略図

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

指摘事項に対する回答【No. 8,31,78,79】

ポンプ長尺化に伴う耐震サポート設置による取水性への影響(2/2)

➤ 耐震サポートを設置した状態における試験においても、ポンプ性能を満足でき、安定した運転状態であることを確認。

【試験結果】

- ポンプの性能は、いずれも判定基準を満足することを確認した。

表 試験結果

試験項目	判定基準	試験結果	判定
全揚程と吐出量			合格
軸動力			合格
ポンプ効率			合格
振動			合格

指摘事項に対する回答【No. 8,31,78,79】

敷地周辺の砂の堆積状況と取水口呑口の構造

第828回審査会合資料1-2 P.4 再掲

- 島根 2 号炉の取水口が設置される輪谷湾の底質土砂は、岩及び砂礫で構成されており、砂の分布はほとんどない。
- 島根 2 号炉の取水口は、取水口呑口が海底面より5.5m高い位置にあるため、海底面の砂が取水口に到達しにくい構造である。
- 非常用海水冷却系の海水ポンプ長尺化に伴う取水口からの取水量に変化はなく、取水口への砂の流入量に変化はない。

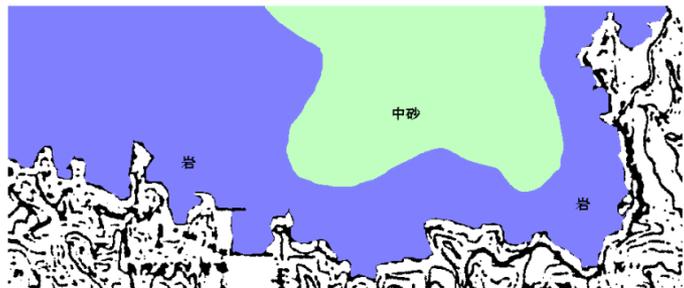


図 輪谷湾周辺以遠の底質分布
(出典：海上保安庁水路部 (1992))

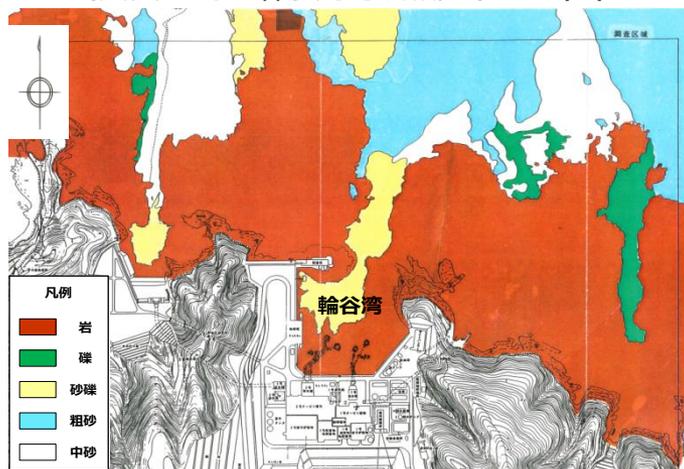


図 輪谷湾周辺の底質分布
(自社調査 (1995))

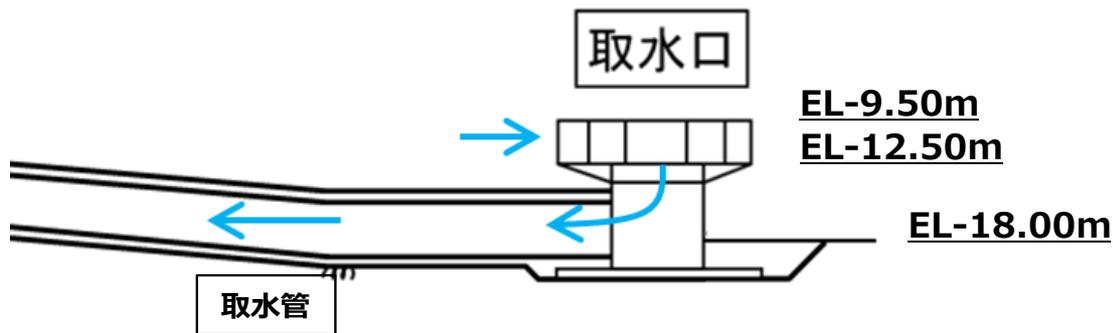


図 取水口呑口 概要図

指摘事項に対する回答【No.8,31,78,79】

海水ポンプ長尺化に伴う取水槽の流況変化及び砂堆積への影響

- 以下に示す通り、海水ポンプの長尺化に伴う取水槽の流況変化は、海水ポンプの取水性に影響しない。
 - 取水槽点検において、除じん機エリアの除じん機上流側および近傍の一部に堆積物が確認されているが、海水ポンプ吸込みエリアには、砂等の堆積物は確認されていない。
 - 循環水ポンプの定格流量（約3,370m³/min）に対して、長尺化を実施する海水ポンプの定格流量（約150m³/min）は5%未満であり、除じん機エリアの海水ポンプ長尺化による流況の変化は十分小さい。
 - 海水ポンプ長尺化に伴う除じん機エリアの流況の変化は十分に小さいことから、除じん機エリアで確認された堆積物が当該エリアに流入することはない。
 - 海水ポンプ長尺化以降は、ポンプ点検時に周辺部の堆積物の状況を確認し必要により清掃を行う。
 - ベルマウス下端近傍の取水槽床面では海水ポンプの吸込流速が砂の沈降速度を上回っており、ベルマウス下端近傍に到達する砂はポンプに吸込まれることから、ベルマウス下端近傍に砂は堆積しない（P.8,9参照）。
- 取水槽下部（海水ポンプ吸込エリア床面EL-9.80m）は貯留構造となっており、津波が流入する取水管の下端高さ（EL-7.30m）より2.5m深いため、津波の流入による取水槽下部の流速への影響は十分に小さく、除じん機エリアの堆積物が海水ポンプ吸込エリアに移動することはない。

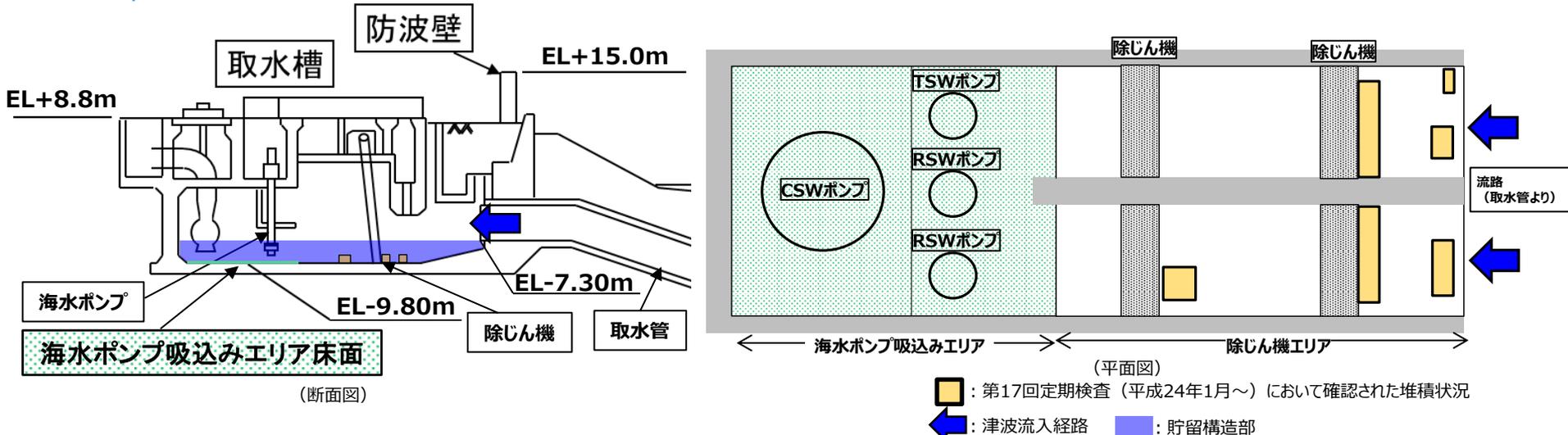


図 取水槽点検（C水路）における堆積状況確認結果

指摘事項に対する回答【No.8,31,78,79】

ベルマウス付近の流速と砂の沈降速度について（1/2）

➤ ベルマウス下端近傍の砂の堆積の有無については、ベルマウス下端近傍の取水槽床面におけるポンプの吸込流速と砂の沈降速度を比較することにより評価する。

- 砂の沈降速度はRubey式より算出する。
- 砂の粒径及び砂密度は、基準津波に伴う砂移動評価において設定した値を用いる。
- 砂の諸元及び沈降速度を以下に示す。

Rubey式：

$$w_0 = \sqrt{(s-1)gd} \left(\sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36\nu^2}{(s-1)gd^3}} - \sqrt{\frac{36\nu^2}{(s-1)gd^3}} \right)$$

ここで、 $s = \sigma/\rho - 1$

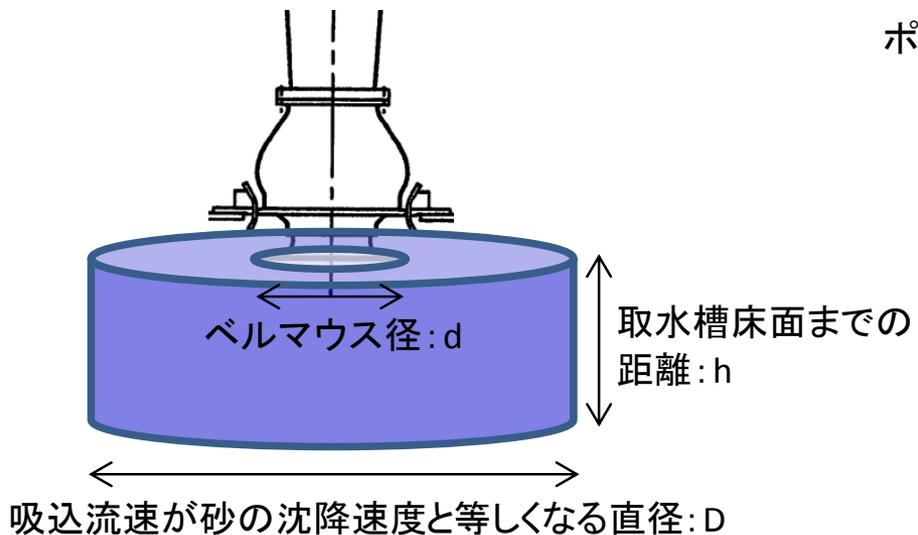
表 砂の諸元及び沈降速度

粒径d [mm]	砂密度 σ [kg/m ³]	海水密度 ρ [kg/m ³]	重力加速度g [m/s ²]	動粘性係数 ν [m ² /s]	沈降速度 w_0 [m/s]
0.3	2,760	1,030	9.8	1.0×10^{-6}	0.05

指摘事項に対する回答【No.8,31,78,79】

ベルマウス付近の流速と砂の沈降速度について（2/2）

- 海水ポンプの吸込流速が砂の沈降速度を上回る範囲については、以下の計算により確認。
- 原子炉補機海水系・高圧炉心スプレイ補機海水系の各々ポンプから直径約2.99m,約0.86mの範囲は、ポンプの吸込流速が、砂の沈降速度を上回ることから、この範囲は砂が堆積しない。



ポンプ吸込流速 $V = \frac{Q}{S}$

$$V = \frac{Q}{S} = w_o$$

$$\frac{Q}{D\pi h + (D^2 - d^2) \times \frac{\pi}{4}} = w_o$$

$$D^2 + 4hD - \left(d^2 + \frac{4Q}{\pi w_o} \right) = 0$$

$$D = -2h + \sqrt{(-2h)^2 + \left(d^2 + \frac{4Q}{\pi w_o} \right)}$$

Dが上記の範囲内の吸込流速は、砂の沈降速度を上回る

■ : 吸込面積 $S = D\pi h + (D^2 - d^2) \times \frac{\pi}{4}$

ポンプ吸込流速が砂の沈降速度と等しくなる直径算出の概要

表 海水ポンプ諸元及び吸込流速が砂の沈降速度と等しくなる直径

海水ポンプ	流量Q [m³/s]	ベルマウス径d [m]	取水槽床面までの距離h [m]	吸込流速が砂の沈降速度と等しくなる直径D[m]
原子炉補機海水系	0.567	0.75	0.50	2.99
高圧炉心スプレイ補機海水系	0.093	0.34	0.50	0.86