

玄海3/4号機 海水ポンプ取替工事に係る設工認変認 説明事項リスト

資料(1)

No	対象資料	ページ	説明項目	説明内容
1	補足説明資料6-2 海水ポンプ電動機の動的機能維持詳細評価について	補6-2-1	今回、電動機の評価用加速度が増加した要因を特定できていないものの、詳細評価により基準を満足することを確認する方針としたプロセスを明記する。	記載を明確化した。(別紙参照)
2	補足説明資料7 健全性に関する説明書のうち放射線に対する影響について	補7-1	シール・パッキンの耐放射線性について定量的に説明を追加する。	補足説明資料の説明を拡充した。(別紙参照)
3	補足説明資料6-2 海水ポンプ電動機の動的機能維持詳細評価について	補6-2-8	電動機取合ボルトについて、締め付けトルクの確認頻度について説明する。また、安全機能の重要度分類クラス1の機器において、摩擦力が水平地震力を上回ることによりボルトのせん断評価を省略している実績の有無を確認する。	(1)トルク値は、2定検毎に実施する電動機の点検において確認しています。なお、今回、電動機ボルト等については、保守的に摩擦力を考慮せず、せん断応力の評価を実施する方針へ変更します。これに伴い、摩擦力に関する記載については、補足説明資料より削除いたします。(別紙参照) (2)実績あり。具体的には、本設工認の先行実績である川内1/2号海水ポンプのほか、以下のような設備があります。 ■川内 ・1/2号 余熱除去冷却器 ・1/2号 格納容器スプレイ冷却器 ・1/2号 蓄圧タンク 等 ■玄海 ・3/4号 ほう酸フィルタ ・3/4号 格納容器スプレイ冷却器 ・3/4号 原子炉補機冷却器 等
4	補足説明資料5 砂移動による影響について	補5-10	軸受摩耗量評価式の面圧に対する流量の影響を説明する。	軸受面圧は軸受周方向の流速に依存して決定されます。一方、ポンプの流量自体は軸方向の流速に寄与するものの、周方向の流速には寄与しません。従って、軸受面圧にポンプ流量は寄与しないと考えます。
5	補足説明資料5 砂移動による影響について	—	平均粒径の算出方法、平均粒径を用いることの妥当性等について説明する。	平均粒径の算出方法について、補足説明資料に追記しました。(別紙参照)また、平均粒径を用いた場合の浮遊砂濃度は最大で99.8ppm(4号取水口付近)ですが、軸受の浮遊砂耐性の実力を確認するため、3000ppmの浮遊砂濃度を考慮した場合、250時間以上の軸受寿命を有しており、海水ポンプ軸受は津波時の浮遊砂に対し十分な耐性があります。
	以下余白			

海水ポンプ電動機の動的機能維持詳細評価について

1. はじめに

本資料は、海水ポンプ電動機の動的機能維持詳細評価について補足説明するものである。

海水ポンプ電動機は、出力 560kW の立形すべり軸受電動機であり、JEAG4601-1991 記載の適用機種範囲に該当する設備である。

電動機の動的機能維持評価については、JEAG4601-1991 及び耐特委報告書（原子力発電耐震設計特別調査委員会 調査報告書）において、対象機種毎に、現実的地震応答のレベルでの異常のみならず、破壊に至る様な過剰な状態を念頭に、地震時に考え得る異常要因を抽出し、その分析により動的機能上の評価点を検討し、動的機能維持を評価する際に確認すべき評価項目を摘出している。

海水ポンプ電動機については、動的機能維持評価の結果、第 1 表のとおり機能確認済加速度を超える。これは、今回工事に伴う変更として、無給水軸受の採用に伴う構成部品の変更や、軸受潤滑水供給設備の撤去等の構造変更を、地震応答解析モデルに反映したことで、海水ポンプ電動機を含めた振動系全体の振動モードが変化した結果であるが、評価用加速度が増加した具体的な要因については、特定できていない。評価用加速度を低減する対応としては、海水ポンプ電動機へのサポート追設が考えられる。しかし、サポート追設には、海水ポンプ周りの基礎を立ち上げる必要があり、設備へのアクセス性及び保守点検時の作業スペースが損なわれることを避けるためには、サポート追設による対応はできないので、先行プラントでの認可実績のある詳細評価を実施し、各部位の発生値が許容値を満足していることを確認する方針とした。従って、JEAG4601-1991 及び耐特委報告書にて選定された評価項目に基づき、動的機能維持詳細評価を実施する。

第 1 表 評価用加速度と機能確認済加速度の比較

機 器	評価結果					
	水平(G)			鉛直(G)		
	評価用 加速度 (G)	機能確認済 加速度 (G)	裕度	評価用 加速度 (G)	機能確認済 加速度 (G)	裕度
海水ポンプ	2.9	10.0	3.44	0.63	1.0	1.58
海水ポンプ電動機	2.6	2.5	<u>0.96</u>	0.63	1.0	1.58

4. 海水ポンプ電動機の評価概要

海水ポンプ電動機の動的機能維持詳細評価にあたり、JEAG4601-1991 及び耐特委報告書にて選定された評価項目に基づき、今回の計算書対象とする項目を検討した。選定にあたっての各評価項目に対する考え方を以下に示す。また、各項目における評価内容を第 4 表に、各項目における評価基準値の説明を第 5 表に、評価結果を第 6 表に示す。

①端子箱（取付ボルト）

海水ポンプ電動機の端子箱本体は、箱状の構造物で十分な剛性が確認されていることから、地震加速度の大きさに関わらず、取付ボルトに最も荷重が作用する。また、当該機器の端子箱は締結されたケーブルを囲う箱であり、内部部品はない。このため、端子箱取付ボルトを評価項目として選定する。

②フレーム

フレームは固定子及び軸受を支持する構造物であり、地震時にはこれらの構成部材に作用する地震荷重によりフレームに有意な荷重が作用することから、評価項目として選定する。

③電動機取合ボルト

海水ポンプ電動機は、電動機支え台に電動機取合ボルトを用いて固定されており、地震時には全体系（フレーム）の転倒モーメントが当該ボルトに作用することで、有意な荷重がかかることから、評価項目として選定する。

~~電動機取合ボルトのせん断応力に関しては、水平地震力をボルト接合部の摩擦力により負担することを基本としており、添付資料 7-4「耐震計算結果」により、摩擦力が水平地震力を上回ることを確認しているため、当該ボルトにせん断応力は作用しない。このため、せん断応力については、評価対象外とする。~~

~~なお、摩擦力を保持するため、電動機取合ボルトは、規定トルクによる締結管理を行っている。具体的には、当該ボルトの締付力が、耐震評価の摩擦力算出に用いているボルト締付力以上となるように適切に締め付け、管理するとともに、実際のトルク値を確認し、記録している。~~

④固定子

固定子はフレーム内部に取り付けられており、フレームに比べ厚みが十分大きいことから、フレームに比べて、高い剛性を有する設計であるため、評価対象外とする。

⑤軸（回転子）

回転機能保持の観点から動的機能維持の評価項目として選定する。

⑥電動機軸受

回転機能保持の観点から動的機能維持の評価項目として選定する。

第 6 表 評価結果

評価部位	項目	応力分類	発生値	許容値	評価
①端子箱（取付ボルト）	応力	引張	6 MPa	210 MPa	○
		せん断	2 MPa	160 MPa	○
		組合せ	6 MPa	210 MPa	○
②フレーム	応力	圧縮	7 MPa	279 MPa	○
		曲げ	17 MPa	322 MPa	○
		せん断	4 MPa	160 MPa	○
③電動機取合ボルト	応力	引張	31 MPa	210 MPa	○
		せん断	12	160	○
		組合せ	31	210	○
⑤軸（回転子）	応力	一次一般膜	19 MPa	247 MPa	○
		一次	19 MPa	370 MPa	○
		一次＋二次	12 MPa	530 MPa	○
⑥電動機軸受	荷重	（上部軸受）	2.34×10^4 N		○
		（下部軸受）	1.36×10^4 N		○
⑦固定子と回転子のクリアランス	変位	—	0.0840 mm	1.60 mm	○

健全性に関する説明書のうち放射線に対する影響について

海水ポンプの放射線による影響については、「添付資料 4 健全性に関する説明書」に示しているが、重大事故等時に想定される屋外線量が最も高くなる場合（10mGy/h 以下）の評価条件において、海水ポンプを構成する部品のうち、耐放射線性が最も低いパッキン・ガスケット部（ゴム製）への性能に影響を及ぼす放射線量（約 59,000mGy/h^{※1}）ではないことから、海水ポンプの機能を損なうものではない。

※1 パッキン・ガスケット部の性能に影響を及ぼす放射線量計算について

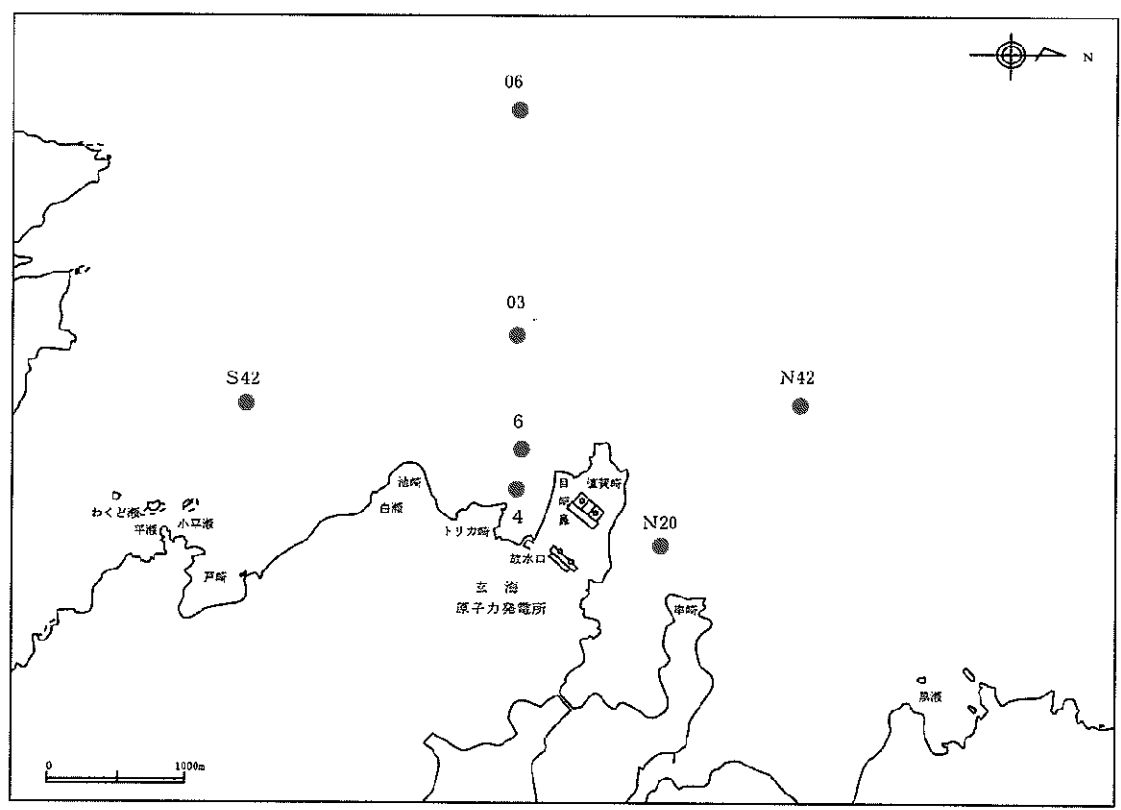
$$1 \times 10^7 \text{mGy}^{\text{※2}} (\text{放射線耐性 (累積放射線量)}) \div 7 \text{日 (使用される期間)} \\ \div 24 \text{時間} \approx 59,523 \text{mGy/h}$$

※2 出典：W.W. Parkinson, The Use of Plastics and Elastomer in nuclear radiation, nuclear engineering and design 17 による

1. 玄海原子力発電所周辺海域における底質土砂の分析結果

発電所周辺海域における底質土砂の分析結果では、粒径0.075mm～2mmの砂分が主体で、2mm以上の礫分は少なく、平均粒径^{*}は0.5mm程度であった。試料採取場所を第1図に分析結果を第1表及び第2表に、代表箇所における粒径加積曲線を第2図～第9図に示す。

※ 各地点における粒径加積曲線の50%粒径に対し、全地点を平均したものを平均粒径とする。



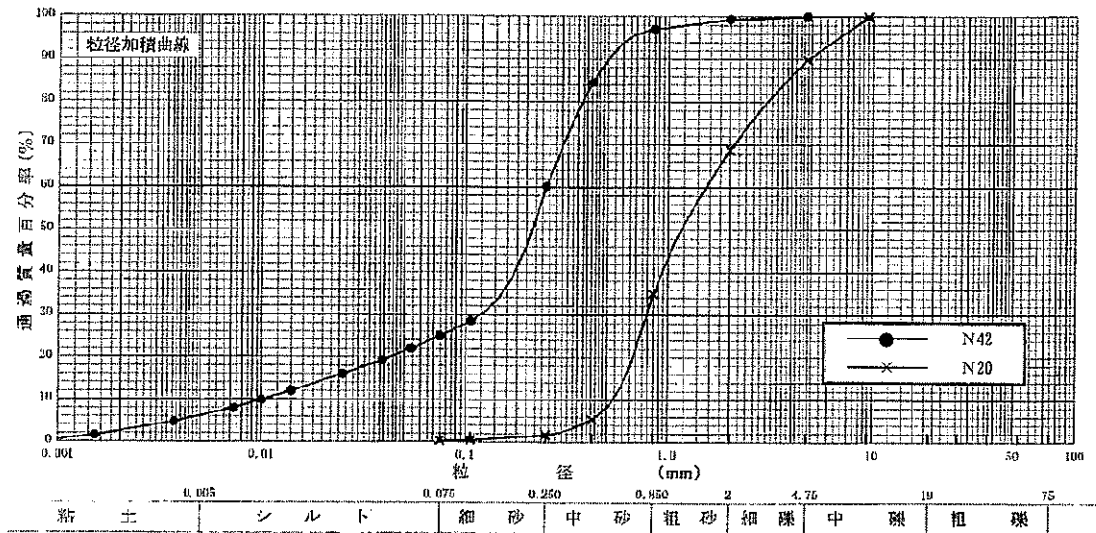
第1図 粒径観測位置

第1表 底質土砂分析結果（平成25年2月22日）

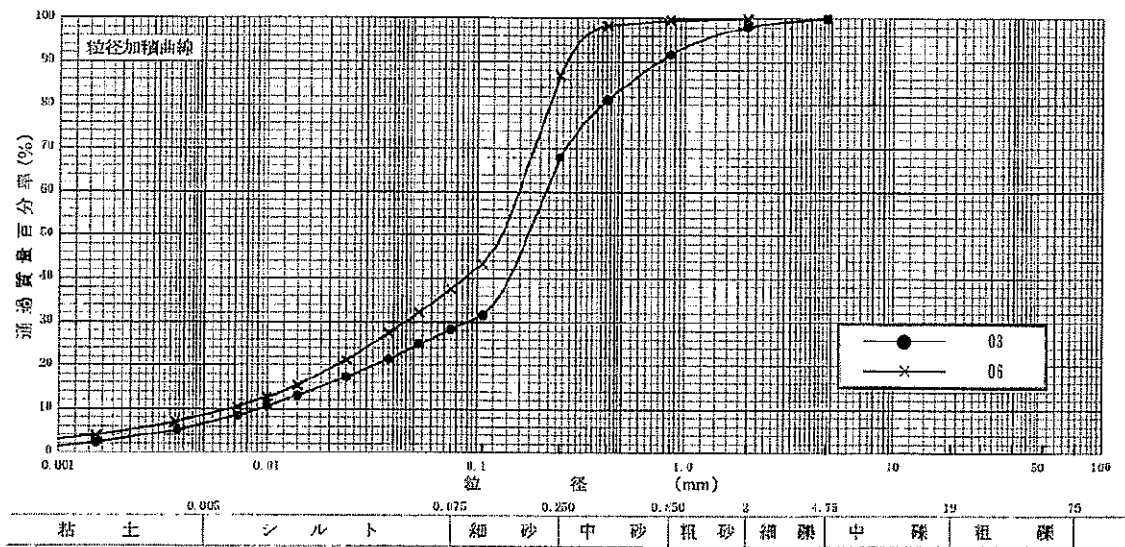
測点	分類	礫分	粗砂分	細砂分	シルト分	粘土	50%粒径 mm
		2.0mm以上	2.0~0.425mm	0.425~ 0.075mm	0.075~ 0.005mm	0.005mm以下	
		%					
N42	細粒分まじり砂	1	14	60	25		0.220
N20	礫質砂	31	63	5	1		1.200
03	細粒分まじり砂	2	17	53	28		0.180
06	細粒分まじり砂	0	2	60	38		0.130
S42	礫質砂	17	62	13	8		1.200
4	砂	9	49	38	4		0.500
6	砂	2	29	68	1		0.330
平均		8.9	34	42	15		0.537

第2表 底質土砂分析結果（平成25年8月23日）

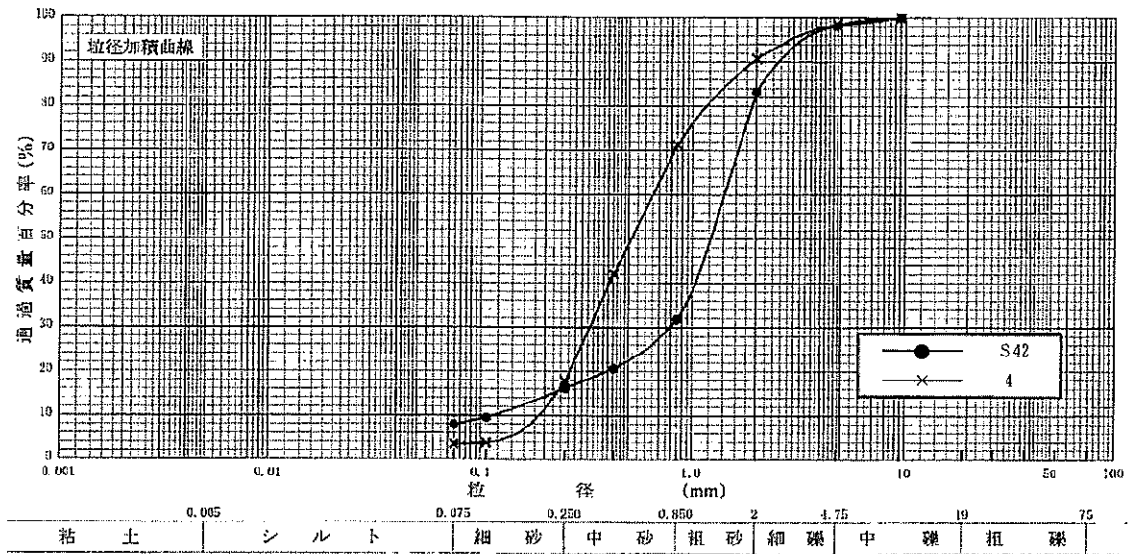
測点	分類	礫分	粗砂分	細砂分	シルト分	粘土	50%粒径 mm
		2.0mm以上	2.0~0.425mm	0.425~ 0.075mm	0.075~ 0.005mm	0.005mm以下	
		%					
N42	礫質砂	18	34	45	3		0.460
N20	礫質砂	23	62	10	5		1.000
03	細粒分まじり砂	1	13	62	24		0.210
06	細粒分まじり砂	0	1	62	37		0.130
S42	細粒分まじり砂	0	4	62	34		0.110
4	砂	0	22	75	3		0.320
6	砂	2	21	75	2		0.320
平均		6.3	22	56	15		0.364



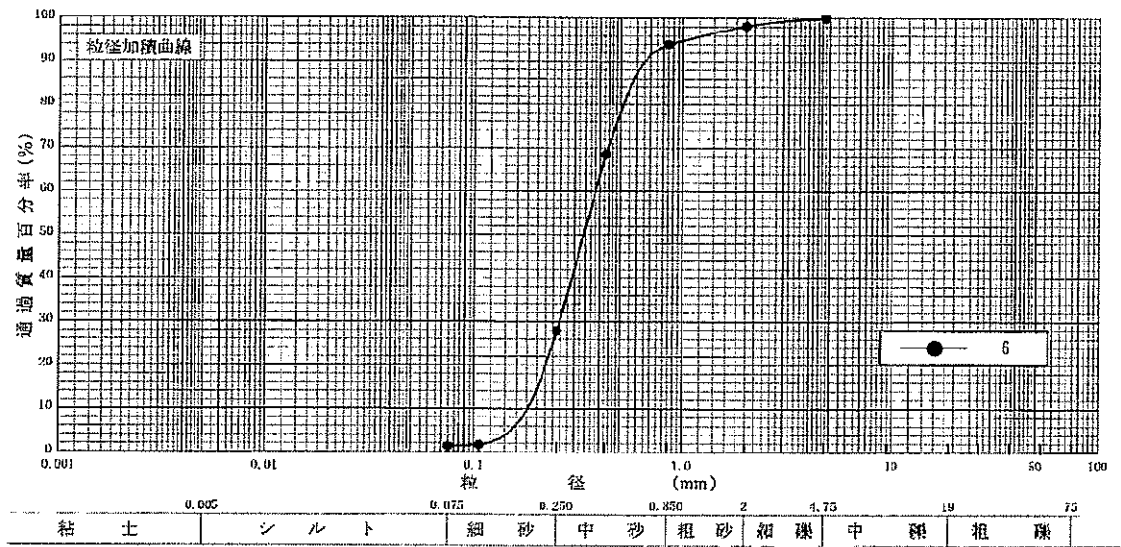
第2図 粒径加積曲線 (平成25年2月22日調査 N42/N20)



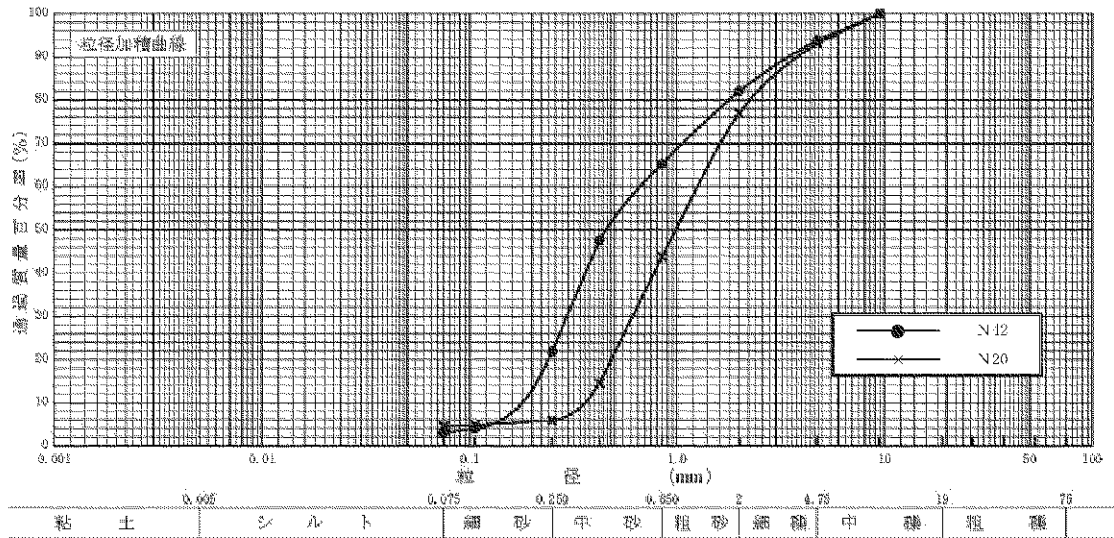
第3図 粒径加積曲線 (平成25年2月22日調査 03/06)



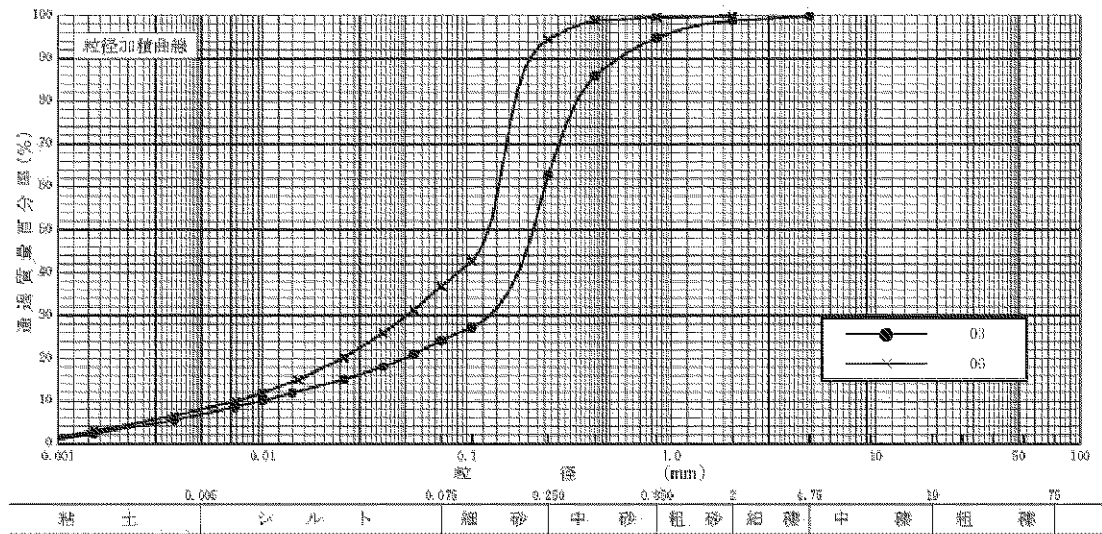
第4図 粒径加積曲線 (平成25年2月22日調査 S42/4)



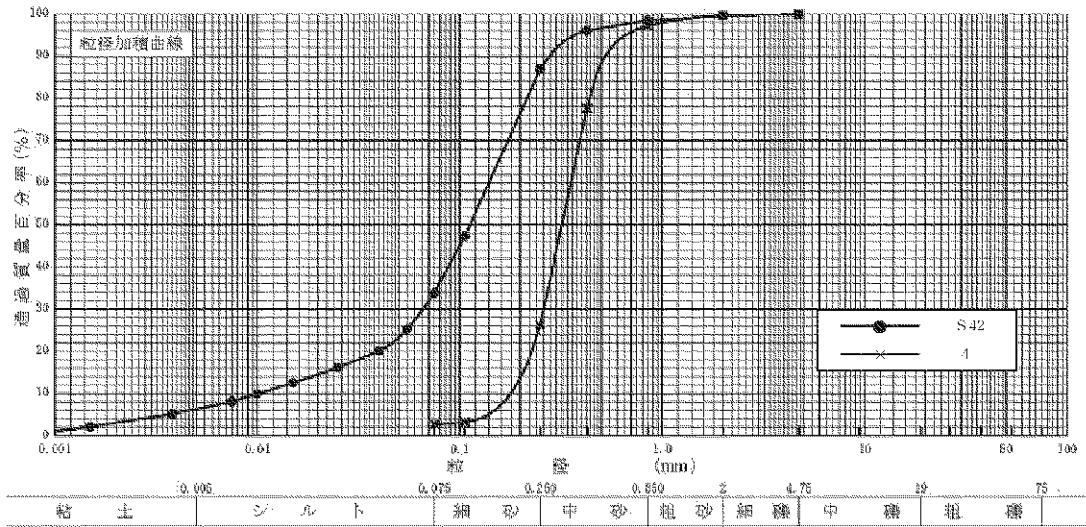
第5図 粒径加積曲線 (平成25年2月22日調査 6)



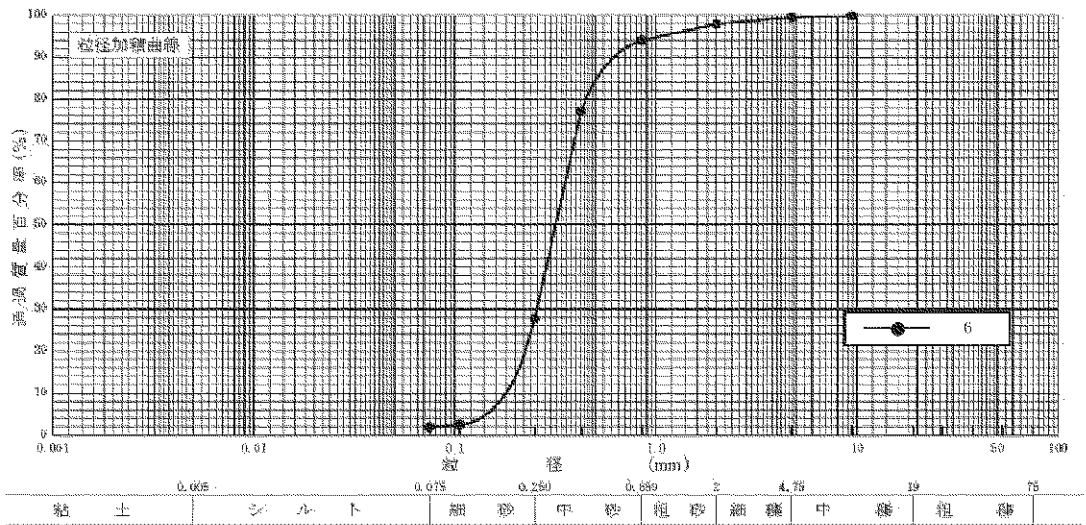
第6図 粒径加積曲線 (平成25年8月23日調査 N42/N20)



第7図 粒径加積曲線 (平成25年8月23日調査 03/06)



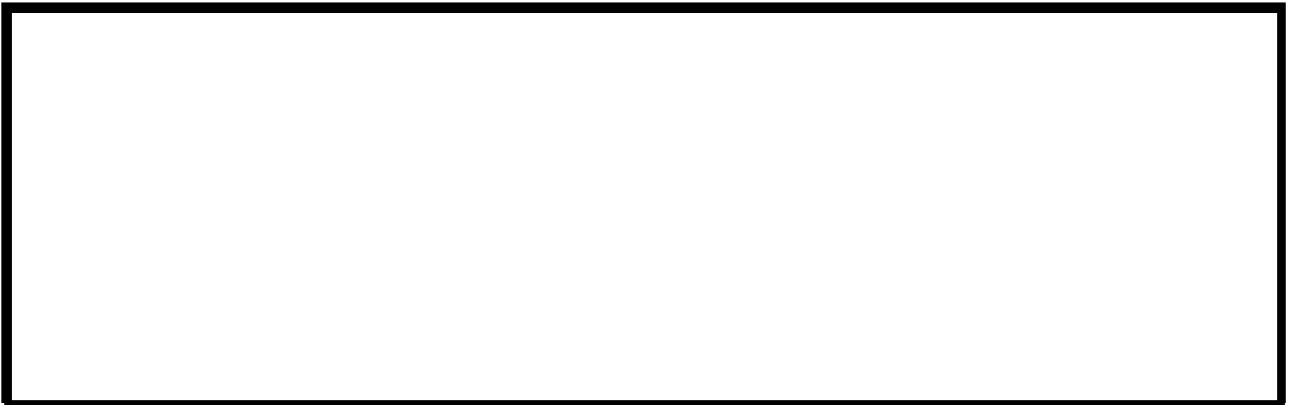
第8図 粒径加積曲線 (平成25年8月23日調査 S42/4)



第9図 粒径加積曲線 (平成25年8月23日調査 6)

2. 砂移動による取水口の堆積状況の確認

玄海原子力発電所3号機及び4号機の取水口呑口下端レベルはEL. -13.5mに対して、海底面はEL. -15.0mであり、砂の堆積高さが取水口の呑口下端に到達しにくい構造となっている。取水施設の断面図を第3-2-10図に示す。砂移動に関する数値シミュレーションを実施した結果、取水口位置での砂の堆積はほとんどなく、砂の堆積に伴って、取水口が閉塞することはないことを確認した。

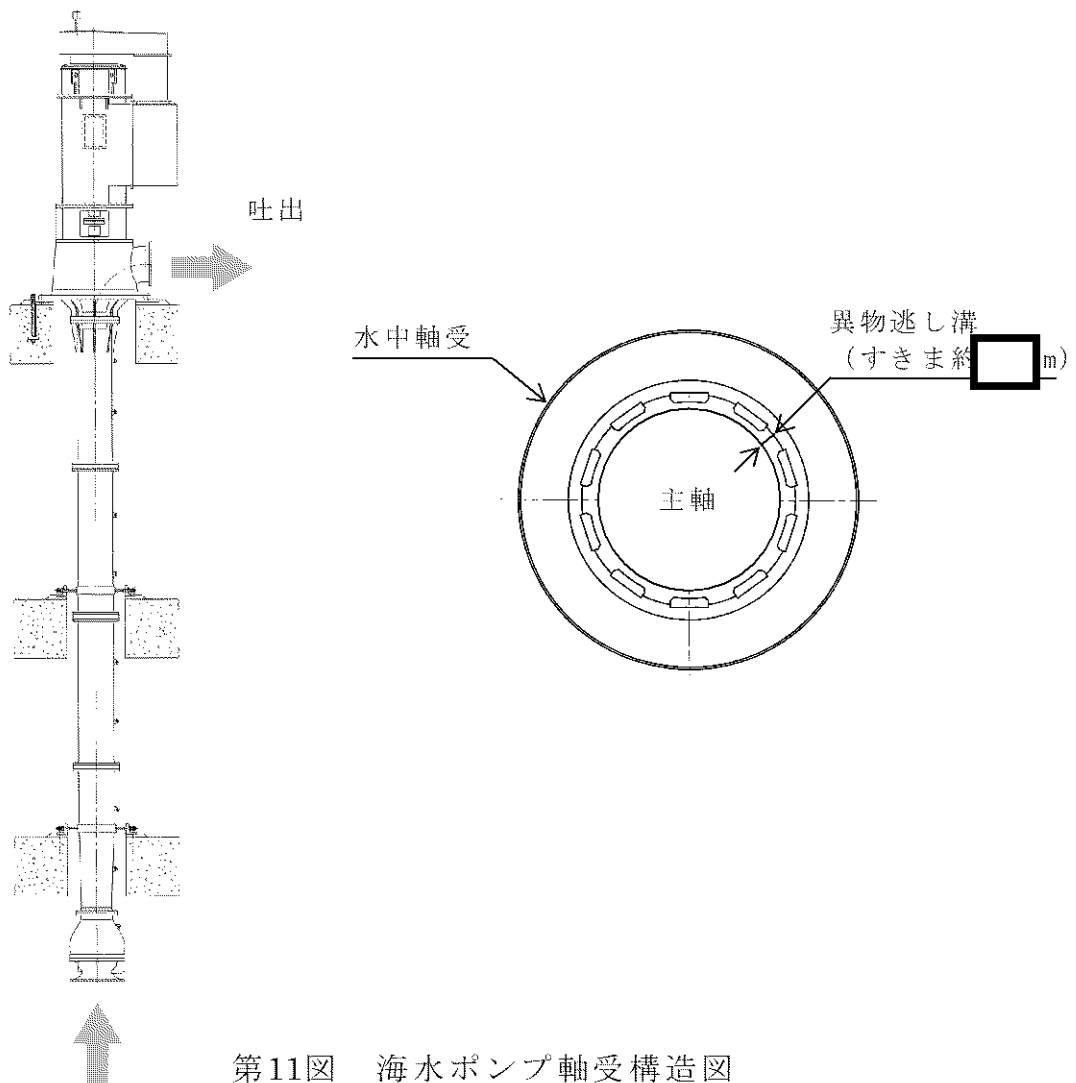


第10図 取水施設の断面図

3. 砂混入時の海水ポンプ取水機能維持の確認

海水ポンプ取水時に浮遊砂の一部が軸受潤滑水としてポンプ軸受に混入したとしても、第11図に示すとおり、海水ポンプの軸受に設けられた異物逃がし溝（約 \square mm）から排出される構造となっている。

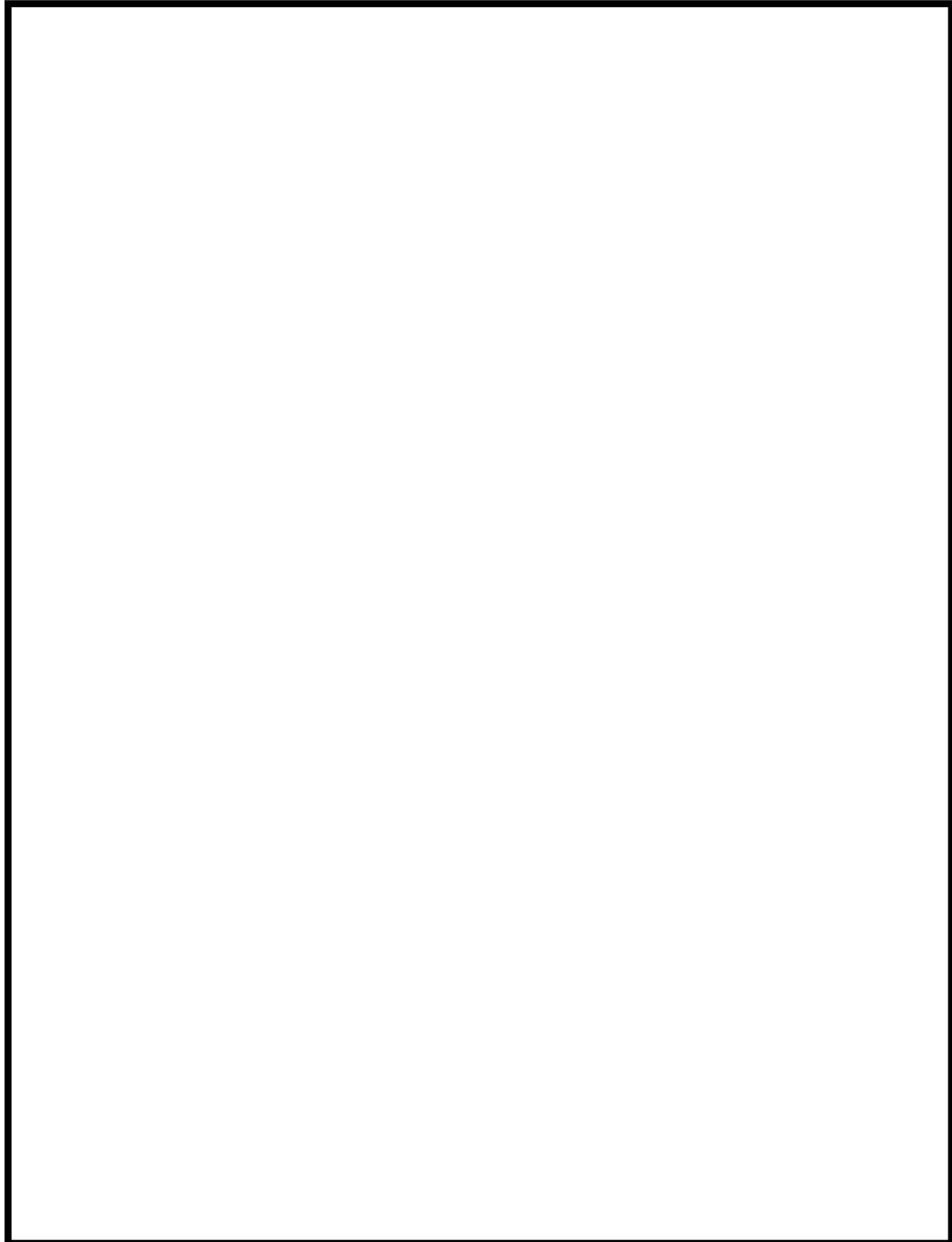
砂移動のシミュレーション結果から取水口付近における堆積はほとんどなく、取水口の呑レベルが海底面より1.5m高い位置にあることや、「1. 玄海原子力発電所周辺海域における底質土砂の分析結果」で示すとおり発電所周辺の砂の平均粒径は約0.5mm、中央粒径は最大でも約1.2mmと微小であり、数ミリ以上の粒子は少なく、そもそも粒径数ミリの砂は浮遊し難いものであることを踏まえると、大きな粒径の砂はほとんど混入しないと考えられ、砂混入に対しての海水ポンプの取水機能は保持できる。



4. 海水ポンプ軸受の浮遊砂耐性

(1) メーカーにおける軸受摩耗試験結果

実機海水ポンプを模擬し、異物濃度 又は wt% の連続注入試験をそれぞれの濃度で実施して、軸受の摩耗量を測定した。第12図に海水ポンプ軸受摩耗試験装置を、第3表に試験条件を示す。



第12図 海水ポンプ軸受摩耗試験装置

第3表 海水ポンプ軸受摩耗試験条件

項 目	試験条件
	FF軸受*

※ 無給水軸受（摺動面：テフロン加工）を指す。以下、同じ。

式①（機械工学便覧参照）と実験結果より、各異物濃度における比摩耗量を算出した。また、実機海水ポンプのパラメータを用いて、寿命時間を算出した結果、寿命時間は最短で約2,900時間であった。計算条件を第4表に示す。

$$K = \frac{\delta}{PVT} \dots \textcircled{1}$$

K: 比摩耗量(mm²/kgf)
 δ: 摩耗量(mm)
 P: 軸受面圧(kgf/mm²)
 V: 周速(mm/s)
 T: 運転時間 (寿命時間)

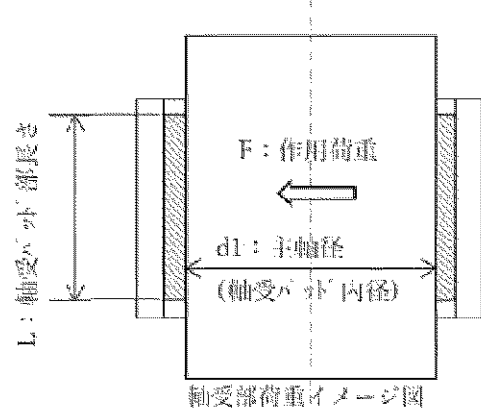
第4表 海水ポンプ軸受寿命評価条件（異物濃度 wt%）

項 目	計算条件

(面圧の定義について)

面圧については、軸受に対する作用荷重 (F) を、軸受パッド内径 (d1) と軸方向長さ (L) の積で求まる面積で除した値を『面圧』と定義している。

海水ポンプ軸受部イメージ図



(2) 基準津波時の砂移動評価結果からの寿命評価

基準津波時の砂移動評価結果 (藤井ほか(1998)の手法 (上限浮遊砂体積濃度5%)) から、取水口付近の浮遊砂濃度は、3号機取水口付近で [redacted] wt%、4号機取水口付近で [redacted] wt% となる。どちらの浮遊砂濃度も「(1) メーカーにおける軸受摩耗試験結果」の異物濃度 [redacted] wt%未満であるため、寿命時間は2,900時間以上である。これに対し、津波到達後約3~4時間経過すれば、浮遊砂濃度は無視できる程度まで低下するため、海水ポンプ軸受は津波時の浮遊砂に対し十分な耐性がある。

(3) まとめ

津波襲来時に海水ポンプ軸受部に細かな砂が混入したとしても海水ポンプ軸受耐性は十分にあり、取水性に問題がないと評価する。

(4) 基準津波による砂移動の解析結果

波源	対馬南西沖断層群と宇久島北西沖断層群の連動による地震に伴う津波（上昇側）		
砂移動モデル	藤井ほか(1998)の手法による検討結果		
算出点	取水口付近	浮遊砂体積濃度上限値	5%



波源	西山断層帯による地震に伴う津波（下降側）		
砂移動モデル	藤井ほか(1998)の手法による検討結果		
算出点	取水口付近	浮遊砂体積濃度上限値	5%



<砂移動の計算手法について>

砂移動の計算手法については、藤井ほか（1998）の手法を用いて実施している。初期条件として、敷地周辺海域の海底地質調査結果を参考に海底の初期砂層厚を設定し、入力条件として基準津波による流速を与えることで、基準津波による砂移動のシミュレーション評価を行い、取水口付近の浮遊砂濃度を算出している。

なお、保全業務（航路・泊地の喫水深さ確保）として定期的に行っている発電所周辺海域の深浅測量では、取水口周辺の海底の地形変化はほとんど見られないことに加え、基準津波も再稼働時から変更がないため、浮遊砂濃度の解析結果は再稼働時と同じである。