本資料のうち，枠囲みの内容は，
営業秘密あるいは防護上の観点
から公開できません。

東海第二発電所　工事計画審査資料	
資料番号	補足-340-2 改 11
提出年月日	平成 30 年 8 月 10 日

工事計画に係る補足説明資料

耐震性に関する説明書のうち

補足-340-2【耐震評価対象の網羅性，既工認との手法の相違点の整理について】

平成 30 年 8 月

日本原子力発電株式会社

改定履歴

改定	改定日 （提出年月日）	改定内容
改 0	2018 年 2 月 26 日	資料番号「補足－342」として提出
改 1	2018 年 3 月 2 日	添付－8（耐震評価における等価繰り返し回数の妥当性確認）の追加
改 2	2018 年 3 月 6 日	添付 7 （既工認との手法の相違（機電分））の追加
改 0	2018 年 3 月 22 日	・資料番号を「補足－342」から「補足－340－2」に変更 ・添付 4-2（建物･構築物，土木構造物及び浸水防護施設の耐震評価フロー並びに評価対象一覧）の追加 ・添付 7 （既工認との手法の相違（建物･構築物分））の追加
改 1	2018 年 3 月 26 日	・1 章，2 章のうち建物・構築物及び屋外重要土木構造物に係る箇所の追加 ・添付-1，添付 4-1，添付 4-2，添付-7（建物･構築物，土木構造物）の追加
改 2	2018 年 4 月 17 日	・1.1.2(2)の記載見直し，補足 1（弾性設計用地震動Ｓ$_d$の等価繰返し回数の設定について），添付-8（耐震評価における等価繰返し回数の妥当性確認について）の資料見直し
改 3	2018 年 5 月 11 日	・添付 8 の記載の適正化
改 4	2018 年 5 月 22 日	・本文の記載の適正化 ・添付-1,2,3,4-1,7,7-3 の記載の適正化 ・添付-2-1,2-2,2-6,2-8,7-7 の追加及び添付 2-4,5 の削除
改 5	2018 年 7 月 11 日	・本文の記載の適正化 ・添付-6 の追加 ・添付-2-6,2-8,7,7-7 の記載の適正化
改 6	2018 年 7 月 13 日	・Ｓｄの等価繰返し回数を見直したことによる 1.1.2(2)の記載見直し，補足 1（弾性設計用地震動Ｓ$_d$の等価繰返し回数の設定について）を削除，添付-8（耐震評価における等価繰返し回数の妥当性確認について）の資料見直し
改 7	2018 年 7 月 18 日	・1.1.2(2)の記載見直し ・添付-8（耐震評価における等価繰返し回数の妥当性確認について）の資料見直し
改 8	2018 年 7 月 20 日	・添付-8（耐震評価における等価繰返し回数の妥当性確認について）の資料見直し
改 9	2018 年 8 月 1 日	・1.1.2 及び 1.1.3 の記載の修正 ・添付 2-8 記載の修正及び別紙２の追加 ・添付 7-8 の追加
改 10	2018 年 8 月 3 日	・添付 2-8 別紙 1,2 及び添付 7-8 の修正
改 11	2018 年 8 月 10 日	・添付 2-8 別紙 2 から添付 10 に変更及び記載の修正 ・添付 7-8 から添付 11 に変更及び記載の修正

目　　次

1. 東海第二発電所における耐震評価について ・・・

【補足説明資料】

補足１ 弾性設計用地震動Ｓ$_d$の等価繰返し回数の設定について

【添付資料】

添付-1　別表第二を踏まえた対象設備の網羅性

添付-2　対象設備の評価部位の網羅性

添付2-1　中性子計測ハウジング貫通部及び中性子計測ハウジングの評価省略理由

添付2-2　原子炉圧力容器スタビライザディスクスプリングの評価省略理由

添付2-3　炉心支持板スタッドの評価省略理由

添付2-4　（欠番）

添付2-5　（欠番）

添付2-6　ドライウェルビームシートの評価省略理由

添付2-7　脚材（非常用ガス再循環フィルタトレイン及び非常用ガス処理系フィルタトレイン）の評価省略理由

添付2-8　鉛直方向動的地震力の導入による影響検討について

添付-3　対象設備の評価項目（応力分類）の網羅性

添付4-1　対象設備の耐震重要度分類の区分（主要設備等）を踏まえた整理

添付4-2　建物・構築物及び屋外重要土木構造物の耐震評価フロー並びに評価対象一覧

添付-5　別表第二に記載のない耐震Sクラス施設の耐震安全性評価結果

添付-6　既設設備（機器・配管系）の静的地震力による評価結果

添付-7　既工認との手法の整理一覧

添付7-1-1　原子炉建屋クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用について

添付7-1-2　使用済燃料乾式貯蔵建屋クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用について

添付7-2　ポンプ等の解析モデルの精緻化について

添付7-3　容器等の応力解析へのＦＥＭモデルの適用について

添付7-4　最新知見として得られた減衰定数の採用について

添付7-5　水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根法による組合せについて

添付7-6　鉛直方向応答解析モデルの追加について

添付7-7　炉心シュラウド等の公式等による評価について

添付-8　耐震評価における等価繰返し回数の妥当性確認について

添付-9　工認耐震計算書に地震応答解析が記載されていない設備の扱いについて

<u>添付-10 再循環系ポンプの軸固着に対する評価について</u>

<u>添付-11 補機類のアンカー定着部の評価について</u>

下線：本日ご提出資料

再循環系ポンプの軸固着に対する評価について

1.　概要

クラス１ポンプである再循環系ポンプ（以下「ＰＬＲポンプ」という。）については，JEAG4601・補-1984 にて動的機能維持の要求はないが，地震により軸固着を生じないことを確認するよう求められている。このため，軸固着が生じず，ＰＬＲポンプの回転機能が維持可能であることを確認した。以下に評価内容を示す。

2.　ＰＬＲポンプ及びモータ軸受の軸固着の検討方針

ＰＬＲポンプ及びモータ軸受の軸固着の検討としては，JEAG4601・補-1984，JEAG4601-1991 追補版に記載の動的機能評価維持評価のうち，回転機能の維持を確認すればよく，軸受部の損傷がなければ回転機能は維持されるため，軸受評価を実施する。

3.　ＰＬＲポンプ及びモータ軸受構造

ＰＬＲポンプ及びモータ軸受の構造概要図を図１に支持構造物及び地震応答解析モデルを図２に示す。

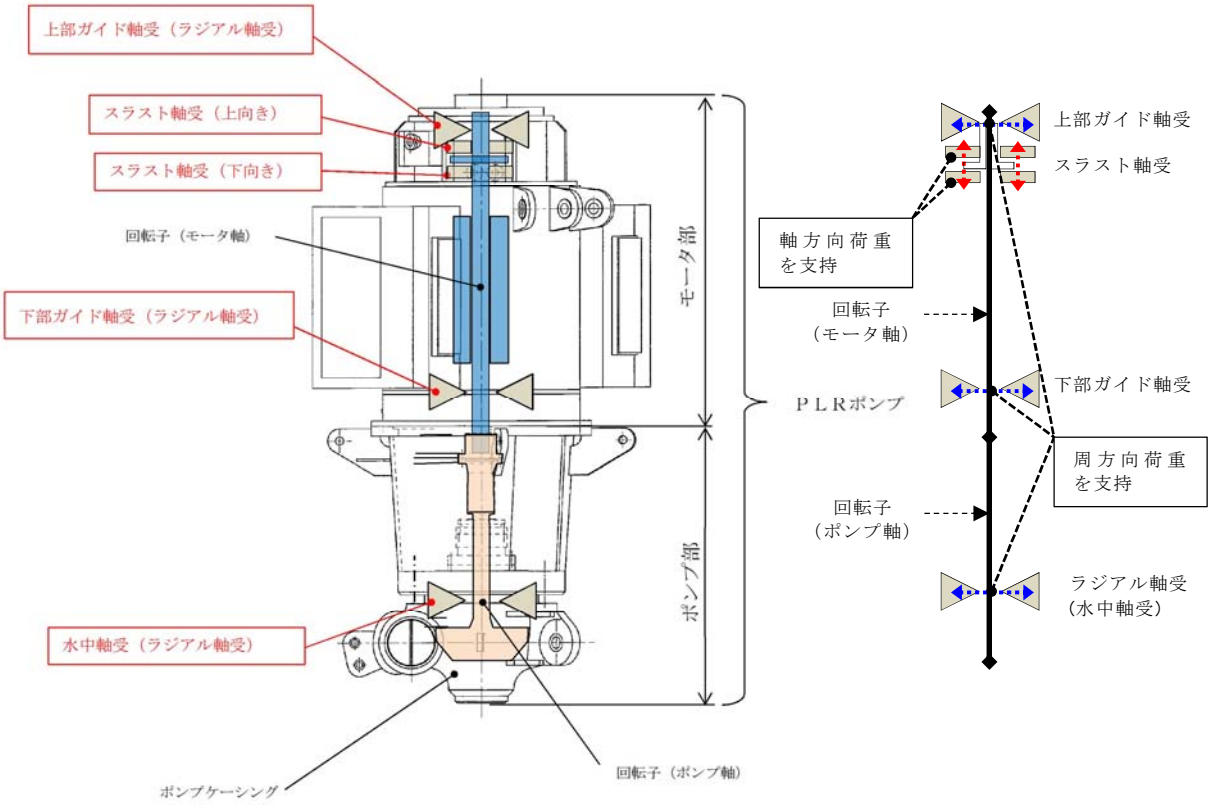


図１　ＰＬＲポンプ及びモータ軸受構造概要図

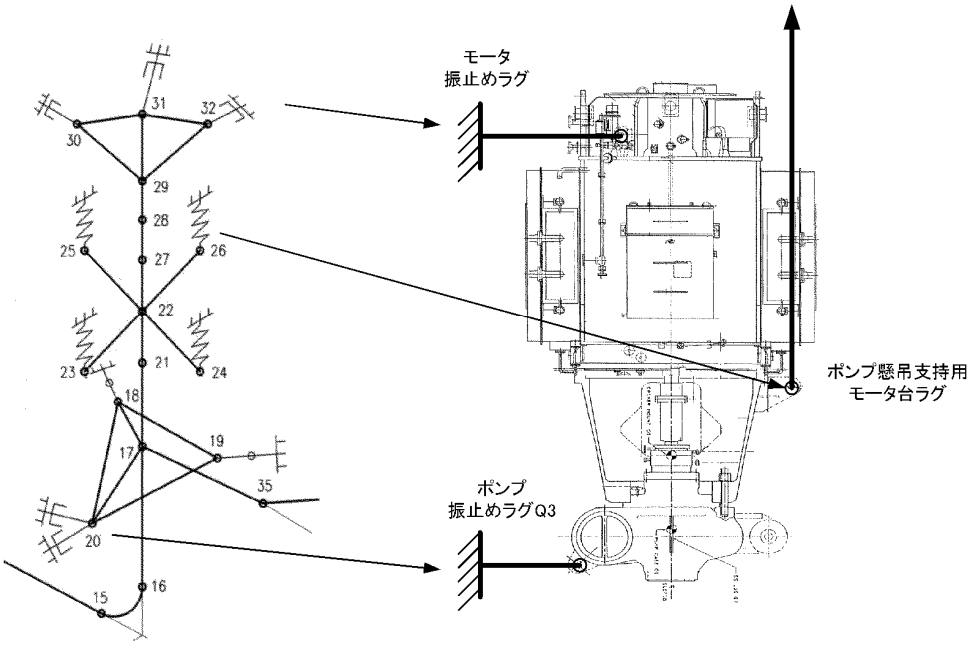


図２　ＰＬＲポンプ及びモータの支持構造図及び地震応答解析モデル

4.　モータスラスト軸受評価

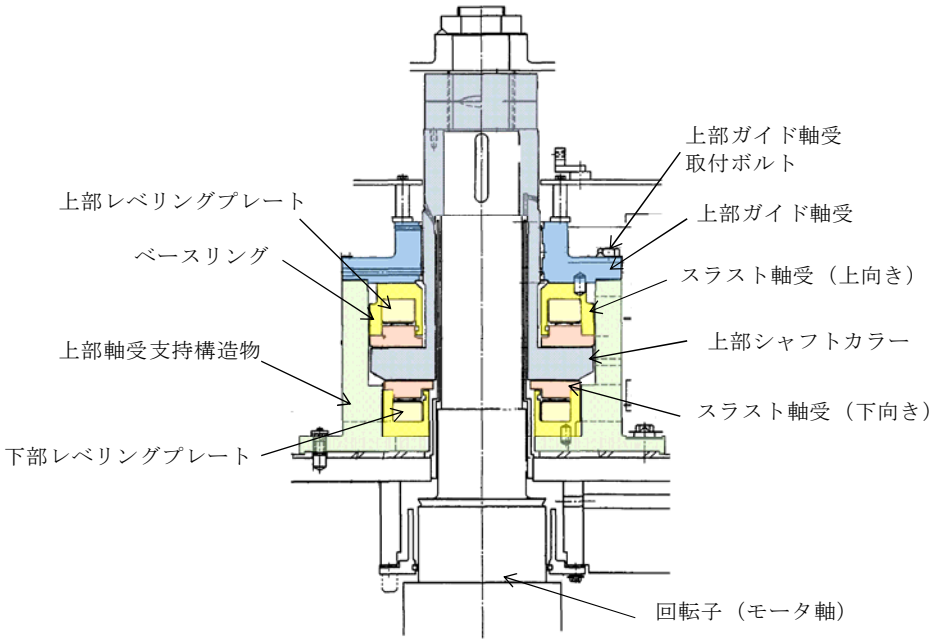
4.1　評価方針

軸受評価は，スラスト軸受の許容荷重と，地震時にＰＬＲポンプに発生する鉛直方向荷重の比較にて実施する。すなわち「許容荷重 ＞ 発生する鉛直方向荷重」であればモータスラスト軸受の健全性は確保される。

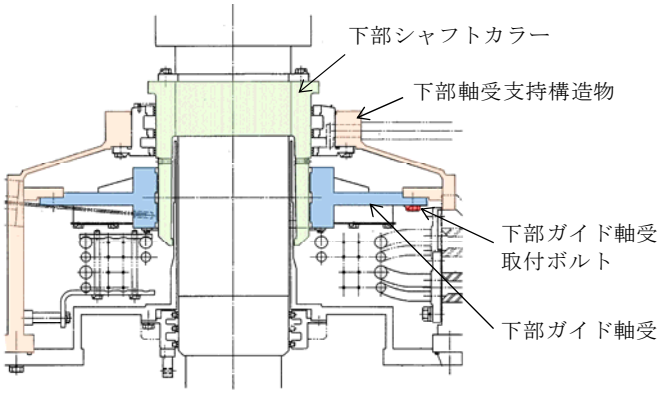
4.2　モータ軸受の構造概要

ＰＬＲポンプモータ軸受の構造図を図３に示す。上部軸受は，スラスト軸受（上向き），スラスト軸受（下向き）及び上部ガイド軸受から構成されており，下部軸受は下部ガイド軸受にて構成されている。上部軸受は回転子部の上部シャフトカラーを上下で挟むようにスラスト軸受（上向き）とスラスト軸受（下向き）が設置されており，それぞれの軸受は上部軸受支持構造物で支えられている。また，スラスト軸受（上向き）とスラスト軸受（下向き）はレベリングプレート及びベースリングにて位置調整されている。上部ガイド軸受は１２本の取付ボルトにて上部軸受支持構造物で支えられている。

上部ガイド軸受と同様に下部ガイド軸受は８本の取付ボルトにて下部軸受支持構造物で支えられている。



上部軸受構造図



下部軸受構造図

図３　ＰＬＲポンプモータ軸受構造図

4.3　許容荷重

許容荷重については，軸受構造物上の許容荷重と油膜形成上の許容荷重を比較することで求める。

a.　軸受構造上の許容荷重

軸受構造物については軸受を構成する各部品について，上向き及び下向きスラスト荷重に対する許容荷重を算出する。当該モータにおいては，構成部品のうちで最も低い許容荷重を有する箇所はレベリングプレートであり，軸受が動作を継続できる最大の荷重を軸受構造物の許容荷重としている。

b.　油膜形成上の許容荷重

油膜形成上の許容荷重は軸受油膜特性（油膜厚さと軸受荷重の関係）と最小油膜厚さより求めている。

定格運転時にＰＬＲポンプモータの上部シャフトカラーと軸受間に油膜が維持される荷重を油膜形成上の許容荷重とする。地震力が発生した際の機能性評価のため，油膜厚さは通常運転時の値は使用せず軸受が接触しない厚さを最小油膜厚さとして評価する（図４参照）。また，油膜形成上の軸受荷重は回転速度に依存するため，回転速度による影響を考慮する。

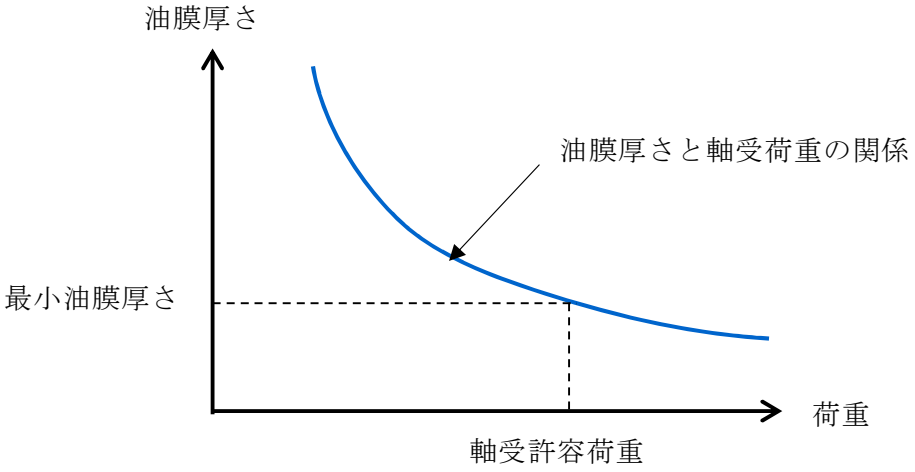


図４　軸受許容荷重算出概念図

c.　軸受の許容値

それぞれの軸受に対する許容値を表１に示す。

表１　軸受の許容値　（単位：kN）

種別	軸受構造上の許容荷重	油膜形成上の許容荷重	許容値
スラスト軸受（上向き）			
スラスト軸受（下向き）			

4.4　発生荷重について

4.4.1 鉛直上向き

ＰＬＲポンプ軸には，再循環系の圧力等によるスラスト力が上向きに作用している。鉛直上向きの発生荷重については上向きに作用するスラスト力と鉛直加速度により発生する荷重を下式により算出する。また，上向きに作用するスラスト力には下向きに発生するスラスト流体力は考慮しない。

なお，評価で用いる加速度は原子炉再循環系配管の地震応答解析モデルにおける各ＰＬＲポンプ及びモータの質点に生じる鉛直加速度のうち最大の値を用いる。

「発生荷重」＝「内圧等によるスラスト力」＋「軸の質量」×「鉛直方向地震加速度－重力加速度」

＜算出方法＞

以下の式により算出する。

$A_1 = B_1 + C \times (D - g)$

A_1：鉛直上向き方向発生荷重

B_1：内圧等によるスラスト力（上向き）（スラスト流体力除く）

Ｃ：回転子の質量

Ｄ：鉛直方向地震加速度

g　：重力加速度（＝9.80665[m/s^2]）

ここで東海第二については以下の値となる

B_1：[redacted][kN]

※ＰＬＲポンプ通常運転中はＰＬＲ圧力によるスラスト力が上向きに作用しているため，モータスラスト軸受（上向き）にてスラスト力を保持している。

Ｃ：[redacted][ton]

Ｄ：37 [m/s^2]（ＰＬＲポンプモータの質点に生じる最大加速度であるＢ号機の値）

以上より

A_1＝[redacted]

であるため鉛直上向き方向発生荷重はＡ＝[redacted][kN]となる。

4.4.2 鉛直下向き

「4.4.1 鉛直上向き」と同様に，鉛直下向きに対して評価を行う。鉛直下向きの評価にあたっては，下向きに発生するスラスト流体力を考慮する。

「発生荷重」＝「軸の質量」×「鉛直方向地震加速度＋重力加速度」－「内圧等によるスラスト力」

＜算出方法＞

$A_2 = C \times (D + g) - B_2$

A_2：鉛直下向き方向発生荷重

B_2：内圧等によるスラスト力（上向き）（スラスト流体力含む）（＝[redacted] [kN]）

C ：回転子の質量（＝[redacted] [ton]）

D ：鉛直方向地震加速度（＝ 37 [m/s^2]）

g ：重力加速度（＝9.80665[m/s^2]）

A_2＝[redacted]

であるため鉛直下向き方向発生荷重はA_2＝[redacted] [kN]となる。

4.5　評価結果

評価結果を表２に示す。評価の結果，冷却材ポンプのスラスト軸受部に発生する荷重は許容荷重を下回るため，ＰＬＲポンプのスラスト軸受の健全性は確保される。

表２　評価結果

種別		発生荷重	許容荷重
スラスト軸受	上向き		
	下向き		

5.　ＰＬＲポンプ及びモータのラジアル軸受健全性評価

5.1　評価方針

ＰＬＲポンプ及びモータのラジアル軸受の健全性評価について示す。評価方法は４項のスラスト軸受と同様，ラジアル方向の許容値と発生する水平方向荷重を比較することで行う。

また，ラジアル軸受としては，ＰＬＲモータに二つ，ＰＬＲポンプに一つある。

5.2　構造概要

ＰＬＲポンプの軸受構造を図５に示す。ＰＬＲポンプ軸受（ラジアル軸受）は水中軸受であり，主軸と軸受の間に水膜を形成することで，ポンプの回転機能を維持している。ＰＬＲポンプ軸受は，静止構造物であるケーシングカバーに８本の軸受取付ボルトにて取付けられている。また，ＰＬＲポンプモータのラジアル軸受については図３に示す通りである。

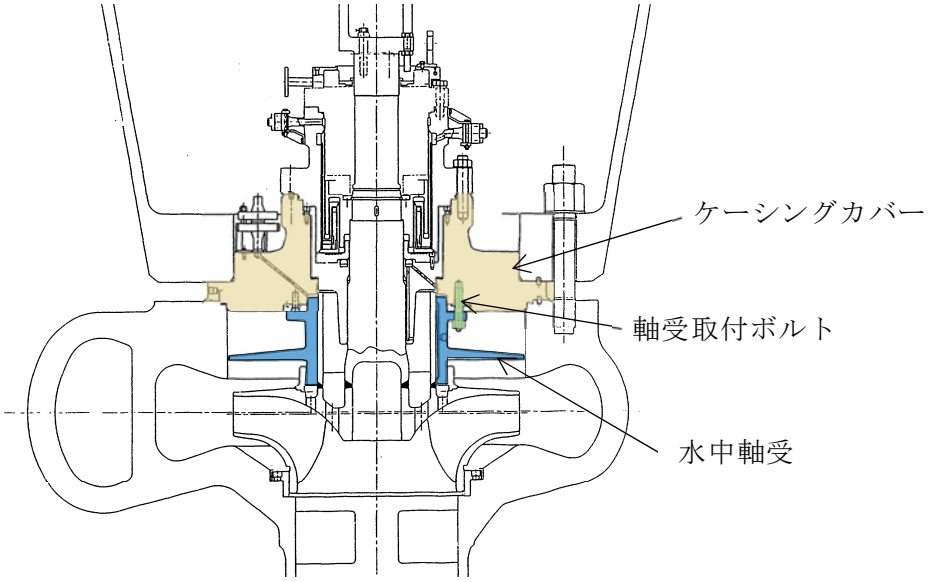


図５　ＰＬＲポンプ軸受構造図

5.3　許容値について

4.2 項のスラスト軸受と同様の考え方によりＰＬＲポンプ軸受及びポンプモータ軸受の許容値としては，以下の２つの考え方に基づいて設定している。

【ＰＬＲポンプ】

①　軸受水膜形成上の許容荷重

ＰＬＲポンプ軸受と軸受間の水膜が維持される（主軸と軸受が接触しない）許容荷重として設定するもの。

②　軸受構造上の許容応力

ＰＬＲポンプ軸受の構造上の許容応力として，軸受を締結している軸受取付ボルトの許容応力として設定するもの。

【ＰＬＲポンプモータ】

①　軸受水膜形成上の許容荷重

ＰＬＲポンプモータ軸受と軸受間の水膜が維持される（主軸と軸受が接触しない）許容荷重として設定するもの。

②　軸受構造上の許容荷重

ＰＬＲポンプモータ軸受の構造上の許容荷重として，軸受を締結している軸受取付ボルトの許容荷重として設定するもの。

ＰＬＲポンプ軸受の許容値を表３にＰＬＲポンプモータの許容値を表４に示す。

表３　ＰＬＲポンプ軸受の許容値

種別	軸受構造上の許容応力	水膜形成上の許容荷重
ラジアル軸受（水中軸受）		

表４　ＰＬＲポンプモータ軸受の許容値

種別	軸受構造上の許容荷重	油膜形成上の許容荷重	許容値
ラジアル軸受（上部ガイド軸受）			
ラジアル軸受（下部ガイド軸受）			

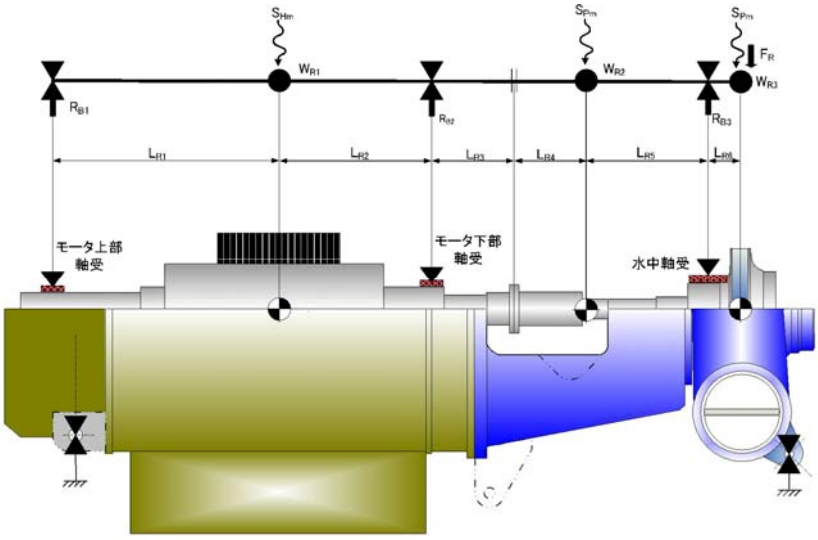
5.4　発生荷重について

ラジアル方向の評価にあたっては，回転による半径方向荷重（ラジアル流体力）を考慮する。また，水中軸受に作用する発生荷重は，図６に示すＰＬＲポンプ及びモータの回転体系の荷重のつり合い解析にて求める。

「発生荷重」＝「ラジアル流体力」＋「地震荷重」

地震時の発生加速度は原子炉冷却材再循環系の耐震性についての計算書のうち V-2-5-2-1-1「管の耐震性についての計算書」にて得られる再循環系ポンプ及びモータ位置の水平の最大応答加速度（下表参照）を使用する。

評価部位	水平方向加速度(m/s^2)
ポンプ部	20
モータ部	43



記号の説明

記号	記号名称	記号	記号名称
W_{R1}	モータ回転子質量	R_{B3}	ポンプ水中軸受部反力
W_{R2}	ポンプ回転子質量（羽根車除く）	S_{Hm}	モータ部水平地震加速度
W_{R3}	羽根車質量	S_{Pm}	ポンプ部水平地震加速度
R_{B1}	モータ上部ガイド軸受部反力	F_R	ラジアル流体力
R_{B2}	モータ下部ガイド軸受部反力	L_{R1}～L_{R6}	各寸法

図６　回転体の荷重のつり合い解析モデル

上記モデルによる荷重のつり合い解析を行い各軸受部の反力 RB1（モータ上部ラジアル軸受），RB2（モータ下部ラジアル軸受），RB3（ポンプ軸受）を回転数比 Nx=(n/no) に対して求め，これを軸受の発生荷重としている。100%回転時の解析結果を表５に示す。

表５　軸受に生じる荷重（100％回転時）

軸受名称	発生荷重（Ｓｓ時）
上部ガイド軸受	
下部ガイド軸受	
水中軸受	

5.5　評価結果

ＰＬＲポンプ軸受の評価結果を表６に，ＰＬＲポンプモータ軸受の評価結果を表７に示す。評価の結果，ＰＬＲポンプ及びモータのラジアル軸受部に発生する荷重は許容値を下回るため，ＰＬＲポンプのラジアル軸受の健全性は確保される。

表５　ＰＬＲポンプ軸受評価結果

種別	発生値	許容値
ラジアル軸受 （水膜形成上）		
ラジアル軸受 （軸受構造物）		

表６　ＰＬＲポンプモータ軸受の評価結果

種別	発生荷重	許容荷重
ラジアル軸受 （上部ガイド軸受）		
ラジアル軸受 （下部ガイド軸受）		

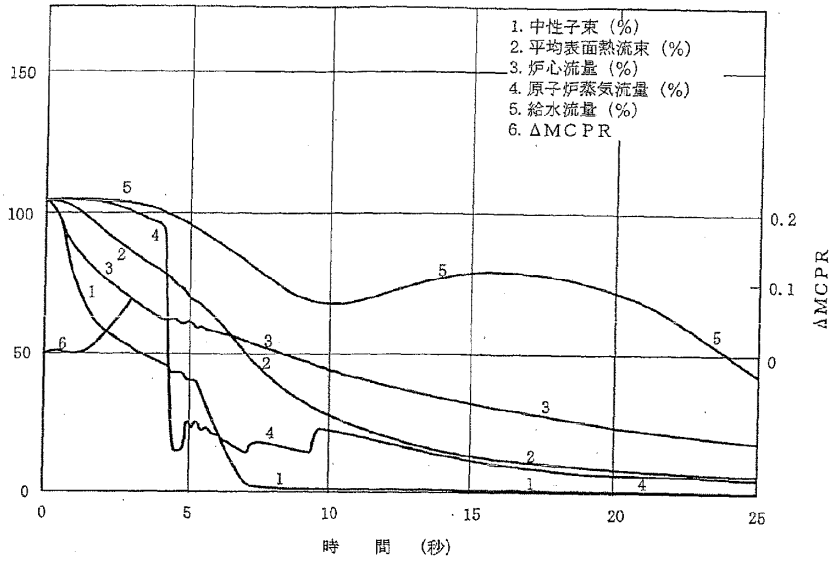
４項及び５項の評価で考慮した各発生荷重について，表７「ＰＬＲ軸受に作用する荷重」にまとめる。

なお，コーストダウン運転時はＰＬＲ回転数が低下することから，水膜（油膜）形成上の許容荷重は低下する傾向になる。

コーストダウンにより回転数が低下すると，許容荷重が下がるため，定格運転の約 50%の回転数（約５秒）で許容荷重が発生荷重を下回り，地震時に軸と軸受の接触が生じる可能性がある。

地震によりＰＬＲポンプ２台トリップが発生した際には，ポンプ回転軸と軸受の接触が生じる可能性がある約５秒よりも前に，原子炉水位高（レベル８）によるタービントリップにより原子炉がスクラムし原子炉出力が低下するため，下図に示すように MCPR は初期値を下回ることはなく,炉心の熱的余裕が失われるようなことにはならないと考えられる。

さらに地震時には地震加速度大により原子炉がスクラムする場合には，より早く原子炉出力が低下することからも，ポンプ回転軸と軸受の接触が生じる可能性により熱的余裕が失われることにはならないと考えられる。



東海第二発電所　「原子炉冷却材流量の喪失」の解析図

なお，仮に発生荷重＞許容荷重となって軸と軸受の片当たりを想定する場合でも，ＰＬＲポンプ主軸と軸受内面は異種材料であるとともに，ＰＬＲポンプ回転数低下により軸固着の要因となる接触による摩擦を考慮しても軸固着が発生することはないと言え，また，構造強度上の許容荷重は満足していることから，変形により軸固着が生じることはない。

表７　ＰＬＲ軸受に作用する荷重

<table>
<tr><th rowspan="2">No.</th><th colspan="2">ＰＬＲポンプ軸受に発生する荷重</th><th rowspan="2">荷重を
受ける軸受</th><th rowspan="2">考慮する荷重
の方向</th><th rowspan="2">補足説明</th></tr>
<tr><th>分類</th><th>発生する荷重</th></tr>
<tr><td>1</td><td>内圧による荷重</td><td>ＰＬＲ系統内圧により発生するスラスト力（上向き）</td><td>スラスト軸受
（上向き，下向き）</td><td>鉛直上向き</td><td>運転中，軸受に定常的に作用する荷重であることから考慮している。</td></tr>
<tr><td>2</td><td>死荷重</td><td>ロータ自重（下向き）</td><td>スラスト軸受
（上向き，下向き）</td><td>鉛直下向き</td><td>運転中，軸受に定常的に作用する荷重であることから考慮している。</td></tr>
<tr><td>3</td><td rowspan="5">機械的荷重</td><td>機械の振動による荷重</td><td>ラジアル軸受</td><td>考慮しない</td><td>ロータの危険速度は定格回転速度よりも十分に高く，静止部材に対する相対振動は十分小さいことから考慮しない。</td></tr>
<tr><td>4</td><td>ラジアル流体力</td><td>ラジアル軸受</td><td>水平方向</td><td>運転中，軸受に定常的に作用する荷重であることから考慮する。</td></tr>
<tr><td>5</td><td rowspan="2">スラスト流体力</td><td>スラスト軸受
（上向き）</td><td>考慮しない</td><td rowspan="2">スラスト流体力は，以下の２つの荷重が発生する。

①ポンプヘッドによる荷重（鉛直下向き）
②羽根車の吸込口から出口に向かって水流が方向変化することによる荷重（鉛直上向き）

それぞれを足し合わせたスラスト流体力は鉛直下向きの荷重となるため，保守的な評価として，スラスト軸受（上向き）に対しては考慮せず，スラスト軸受（下向き）に対しては考慮する。</td></tr>
<tr><td>6</td><td>スラスト軸受
（下向き）</td><td>考慮する</td></tr>
</table>

補機類のアンカー定着部の評価について

1.　概要

既工認における補機類の基礎ボルト及びコンクリートの定着部の設計は，コンクリート部の評価断面積はボルト又はスリーブの表面積として，ボルトの引抜き力よりもコクリートの定着力が大きくなるような，必要な埋込深さを算定していた。

現行規格におけるコンクリート部の評価断面積とした場合，既工認における基礎ボルト及びコンクリート定着部の設計は基礎ボルトよりもコンクリート定着部の方が高い耐震性を有する設計となることから，基礎ボルトに着目した耐震評価を行うことでコンクリート定着部の健全性も確認できる。

このため，以下では，ボルト配置が円形の高圧炉心スプレイ系ポンプ及び矩形の非常用ガス処理系フィルタトレインを例に基礎ボルトとコンクリート定着部の許容荷重の比較を示す。

2.　既工認と今回工認での定着部評価の相違

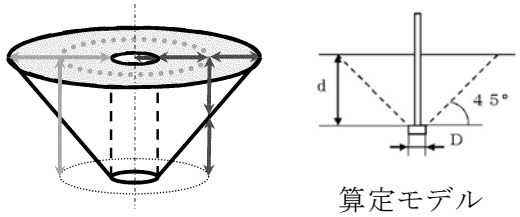
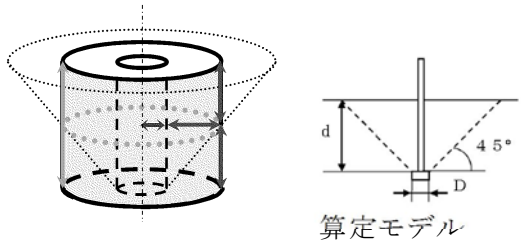
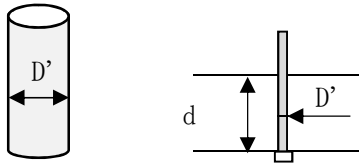
既工認におけるコンクリート部の評価は，東海第二は JEAG4601･補-1984 適用以前に建設されたプラントであることから，当時の鋼構造設計規準に基づく付着評価を実施していた。

付着評価の評価断面はボルト又はスリーブ表面積としており，JEAG4601-1991 追補版に定められる評価断面よりも厳しい断面である。

具体的には，表１に示すとおり，既工認の評価断面は，単独ボルトの条件では JEAG4601-1991 追補版と比べ小さく，JEAG4601-1991 追補版の評価断面に変えた場合の裕度は既工認におけるボルトの裕度より，コンクリートの裕度の方が高くなる。

ボルトの引張許容値から定めた限界引抜き力に対して，JEAG4601-1991 追補版と同様のコンクリート許容せん断応力度及びせん断力算定断面積（コーン状破壊を想定）による引抜き耐力が上回るような，必要埋込深さとなり，基礎ボルトに着目した耐震評価を行うことでコンクリート定着部の健全性も確認できる。

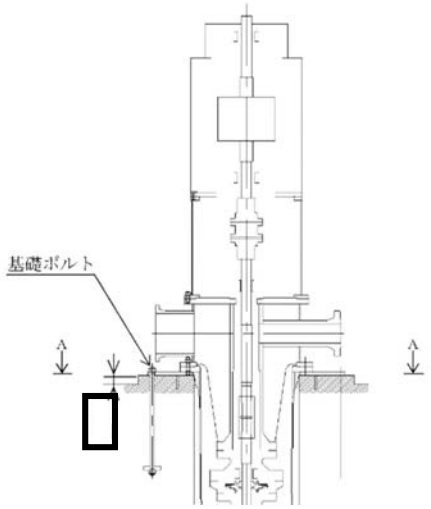
表１　コンクリート定着部の評価

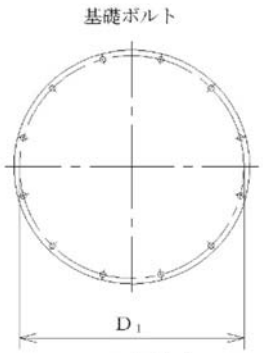
	今回工認	（参考）	既工認
適用規格	JEAG4601-1991 追補版	JEAG4601-1984	鋼構造設計規準
評価内容	コンクリートの押抜き力（シアコーン）により生じるせん断応力評価	コンクリートの押抜き力（パンチングシア）により生じるせん断応力評価	コンクリートへの付着評価
評価手法	 せん断力算定断面積 （コーン状破断面） ＝π（大半径）^{2}－π（小半径）^{2} $=\pi\left(\frac{D}{2}+d\right)^2-\pi\left(\frac{D}{2}\right)^2$ $=\pi\cdot d\cdot(D+d)$ d:埋込深さ D:埋込板直径	 せん断力算定断面積 （パンチングシア形状） ＝高さ×円周長さ $=d\cdot\pi\cdot(D+d)$ $=\pi\cdot d\cdot(D+d)$ d:埋込深さ D:埋込板直径	 せん断力算定断面積 （ボルト，スリーブ表面） ＝高さ×円周長さ $=d\cdot\pi\cdot D'$ $=\pi\cdot d\cdot D'$ d:埋込深さ D’:スリーブ又はボルト直径

3.　評価例

3.1　高圧炉心スプレイ系ポンプの基礎ボルト配置

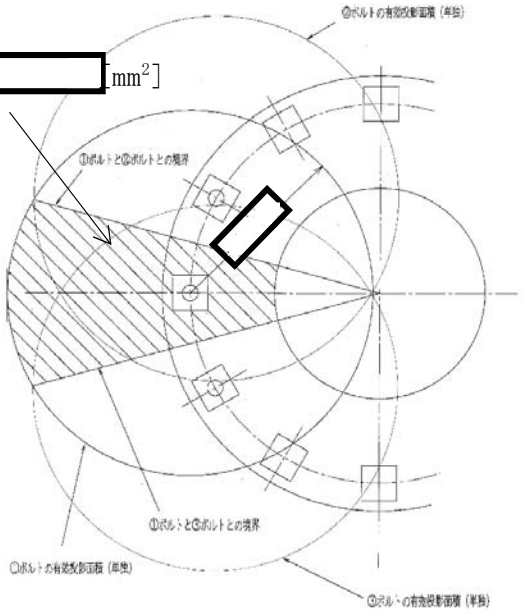
高圧炉心スプレイ系ポンプの基礎ボルト配置を以下に示す。



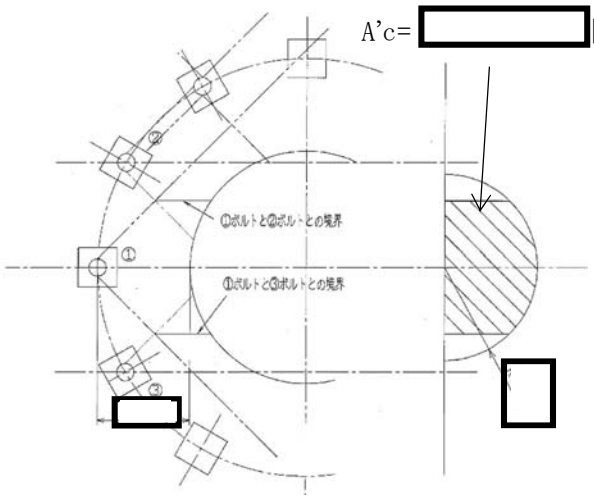


A～A矢視図

Ac= [mm²]



A'c= [mm²]



3.2 高圧炉心スプレイ系ポンプの評価結果

【引張荷重】

基礎ボルトが引張荷重を受ける場合のコンクリートの評価は JEAG4601-1991 追補版より

$p \leqq p_a = \min(p_{a1}, p_{a2})$

ここに

$p_{a1} = 0.31 \cdot K_1 \cdot A_c \cdot \sqrt{F_C}$

$p_{a2} = K_2 \cdot \alpha_c \cdot A_0 \cdot Fc$

p　：基礎ボルト１本当たりの引張荷重（N）

p_a　：基礎ボルト１本当たりのコンクリート部の許容引張荷重（N）

p_{a1}　：コンクリート躯体がコーン状破壊する場合の基礎ボルト１本当たりの許容引張荷重（N）

p_{a2}　：基礎ボルト頭部に接するコンクリート部が支圧破壊する場合の基礎ボルト１本当たりの許容引張荷重（N）

K_1：コーン状破壊する場合の引張耐力の低減係数（IV_AS の 0.6 とする）

K_2：支圧破壊する場合の引張耐力の低減係数（IV_AS の 0.75 とする）

Fc　：コンクリートの設計基準強度（N/mm^2）：22.1N/mm^2

Ac　：コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積（mm^2）

α_c　：支圧面積と有効投影面積から定まる定数（$=\sqrt{Ac/A_0}$ かつ 10 以下）

A_0　：支圧面積（mm^2）

$A_0 = L^2 - \frac{\pi}{4} \times d^2 =$ [redacted] $= 52239.172$

よって，

$p_{a1} = 0.31 \times 0.6 \times$ [redacted] $\times \sqrt{22.1} = 1386532 \fallingdotseq 1.38 \times 10^6[N]$

$p_{a2} = 0.75 \times 5.509 \times 52239.172 \times 22.1 = 4770046 \fallingdotseq 4.77 \times 10^6[N]$

$p_a = \min(1.38 \times 10^6,\ 4.77 \times 10^6) = 1.38 \times 10^6[N]$

以上より，基礎ボルト 1 本当たりのコンクリート部の許容引張荷重は $1.38 \times 10^6[N]$である。

一方，基礎ボルト（M64：SS400）の許容応力 210MPa　から求まる基礎ボルト１本あたりの引張許容荷重は，

$$\frac{\pi}{4} \times 64^2 \times 210 = 675568.1 \fallingdotseq 6.76 \times 10^5[N]$$

である。基礎ボルトの引張許容荷重$6.76 \times 10^5[N]$と比較して，コンクリート部の許容引張荷重は$13.8 \times 10^5[N]$であり，コンクリート部の許容引張荷重が十分大きい。

【せん断荷重】

基礎ボルトがせん断荷重を受ける場合のコンクリートの評価は，JEAG-4601 1991 追補版より

$q \leqq q_a = \min(q_{a1}, q_{a2})$

ここに

$q_{a1} = 0.5 \cdot K_3 \cdot Ab \cdot \sqrt{Ec \cdot Fc}$

$q_{a2} = 0.31 \cdot K_4 \cdot Ac_1 \cdot \sqrt{Fc}$

q　：基礎ボルト１本当たりのせん断荷重（N）

q_a　：基礎ボルト１本当たりのコンクリート部の許容せん断荷重（N）

q_{a1}：基礎ボルトと基礎ボルト周辺のコンクリートが圧壊して破壊（複合破壊）する場合の基礎ボルト１本当たりの許容せん断荷重（N）

q_{a2}：へり側コンクリートが破壊する場合の基礎ボルト１本当たりの許容せん断荷重（N）

K_3　：複合破壊の場合のせん断耐力の低減係数（$\mathrm{IV_A S}$ の 0.8 とする）

K_4　：へり側コンクリート破壊の場合のせん断耐力の低減係数（$\mathrm{IV_A S}$ の 0.6 とする）

Ab　：基礎ボルトの谷径断面積（スタッドの場合は軸部断面積）（mm^2）（M64：$2.597 \times 10^3 mm^2$）

Ec　：コンクリートのヤング率（N/mm^2）：$20600 N/mm^2$

Fc　：コンクリートの設計基準強度（N/mm^2）：$22.1 N/mm^2$

Ac_1　：コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積（mm^2）

へりあきの面積はへりあきのある基礎ボルトとへりあきのない基礎ボルトの平均をへりあき面積とする。

Ac_1　= [redacted] $=1317261.96 mm^2$

よって，

$q_{a1} = 0.5 \times 0.8 \times 2.597 \times 10^3 \times \sqrt{20600 \times 22.1} = 700909 \fallingdotseq 7.00 \times 10^5 [N]$

$q_{a2} = 0.31 \times 0.6 \times 1317261.96 \times \sqrt{22.1} = 1151811 \fallingdotseq 11.5 \times 10^5 [N]$

$q_a = \min(7.00 \times 10^5,\ 11.5 \times 10^5) = 7.00 \times 10^5 [N]$

以上より，コンクリート部の許容せん断荷重は$7.00 \times 10^5 [N]$である。

一方，基礎ボルト（M64：SS400）の許容応力 160MPa から求まる基礎ボルトの１本あたりのせん断許容荷重は，

$$\frac{\pi}{4} \times 64^2 \times 160 = 514718.5 \fallingdotseq 5.15 \times 10^5 [N]$$

である。基礎ボルトのせん断許容荷重$5.15 \times 10^5 [N]$と比較して，コンクリート部の許容せん断荷重は$7.00 \times 10^5 [N]$であり，コンクリート部の許容せん断荷重が十分大きい。

【組合せ荷重】

基礎ボルトが引張，せん断の組合せ荷重を受ける場合のコンクリートの評価は，JEAG-4601-1991 追補版より

$$\left(\frac{p}{p_a}\right)^2+\left(\frac{q}{q_a}\right)^2 \leqq 1$$

ここに

p_a ：引張荷重のみに対する基礎ボルト 1 本当たりのコンクリート部の許容引張荷重（N）＝min(p_{a1}, p_{a2})

q_a ：せん断荷重のみに対する基礎ボルト 1 本当たりのコンクリート部の許容せん断荷重（N）＝min(q_{a1}, q_{a2})

p ：基礎ボルト 1 本当たりの引張荷重（N）

q ：基礎ボルト 1 本当たりのせん断荷重（N）

仮に p に対して，基礎ボルト 1 本当たりの引張許容荷重を，また q に対して基礎ボルト 1 本当たりのせん断許容荷重を用いて保守的に計算すると，

$$\left(\frac{6.76\times10^5}{13.8\times10^5}\right)^2+\left(\frac{5.15\times10^5}{7.00\times10^5}\right)^2 \fallingdotseq 0.79<1$$

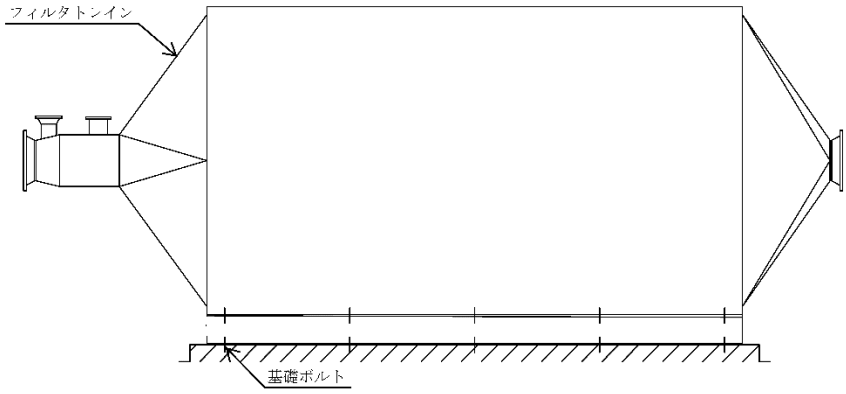
となり，組合せ荷重評価に対しても，基礎ボルトよりコンクリート部の方が十分余裕がある。

以上をまとめると以下のとおりである。

基礎ボルト 1 本当たりの許容荷重及びコンクリートの許容荷重	基礎ボルトの引張許容荷重 p（N）	コンクリート部の許容引張荷重 pa（N）	基礎ボルトのせん断許容荷重 q（N）	コンクリート部の許容せん断荷重 qa（N）
	6.76×10^5	13.8×10^5	5.15×10^5	7.00×10^5
引張・せん断評価	p<pa OK		q<qa OK	
組合せ評価	$\left(\frac{p}{p_a}\right)^2+\left(\frac{q}{q_a}\right)^2 \leqq 1\ OK$			

3.3　非常用ガス処理系フィルタトレインの基礎ボルト配置

非常用ガス処理系フィルタトレインの基礎ボルト配置を以下に示す。



3.4　非常用ガス処理系フィルタトレインの評価結果

【引張荷重】

基礎ボルトが引張荷重を受ける場合のコンクリートの評価は JEAG4601-1991 追補版より

$p \leqq p_a = \min(p_{a1}, p_{a2})$

ここに

$p_{a1} = 0.31 \cdot K_1 \cdot A_c \sqrt{F_C}$

$p_{a2} = K_2 \cdot \alpha_c \cdot A_0 \cdot Fc$

p　：基礎ボルト１本当たりの引張荷重（N）

p_a　：基礎ボルト１本当たりのコンクリート部の許容引張荷重（N）

p_{a1}　：コンクリート躯体がコーン状破壊する場合の基礎ボルト１本当たりの許容引張荷重（N）

p_{a2}　：基礎ボルト頭部に接するコンクリート部が支圧破壊する場合の基礎ボルト１本当たりの許容引張荷重（N）

K_1：コーン状破壊する場合の引張耐力の低減係数（IV_AS の 0.6 とする）

K_2　：支圧破壊する場合の引張耐力の低減係数（IV_AS の 0.75 とする）

Fc　：コンクリートの設計基準強度（N/mm²）：22.1N/mm²

Ac　：コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積（mm²）

α_c　：支圧面積と有効投影面積から定まる定数（$= \sqrt{Ac/A_0}$ かつ 10 以下）

A_0　：支圧面積（mm²）

$A_0 = \frac{\pi}{4} \times (100^2 - 20^2) = 7540\ mm^2$

$\alpha = \sqrt{\frac{2.517 \times 10^5}{7540}} = 5.77$

よって，

$p_{a1} = 0.31 \times 0.6 \times 2.517 \times 10^5 \times \sqrt{22.1} = 220086 \fallingdotseq 2.20 \times 10^5 [N]$

$p_{a2} = 0.75 \times 5.77 \times 7540 \times 22.1 = 721108 \fallingdotseq 7.21 \times 10^5 [N]$

$p_a = \min(2.20 \times 10^5,\ 7.21 \times 10^5) = 2.20 \times 10^5 [N]$

以上より，コンクリート部の許容引張荷重は$2.20 \times 10^5 [N]$である。

一方，基礎ボルト（M20：SS400）の許容応力 210MPa　から求まる基礎ボルトの 1 本あたりの引張許容荷重は，

$$\frac{\pi}{4} \times 20^2 \times 210 = 65973.5 \fallingdotseq 6.60 \times 10^4 [N]$$

である。基礎ボルトの引張許容荷重$6.60 \times 10^4 [N]$と比較して，コンクリート部の許容引張荷重は$22.0 \times 10^4 [N]$であり，コンクリート部の許容引張荷重が十分大きい。

【せん断荷重】

基礎ボルトがせん断荷重を受ける場合のコンクリートの評価は，JEAG-4601 1991 追補版 より

$q \leqq q_a = \min(q_{a1}, q_{a2})$

ここに

$q_{a1} = 0.5 \cdot K_3 \cdot Ab \cdot \sqrt{E_C \cdot F_C}$

$q_{a2} = 0.31 \cdot K_4 \cdot Ac_1 \cdot \sqrt{F_C}$

q ：基礎ボルト１本当たりのせん断荷重（N）

q_a ：基礎ボルト１本当たりのコンクリート部の許容せん断荷重（N）

q_{a1}：基礎ボルトと基礎ボルト周辺のコンクリートが圧壊して破壊（複合破壊）する場合の基礎ボルト１本当たりの許容せん断荷重（N）

q_{a2}：へり側コンクリートが破壊する場合の基礎ボルト１本当たりの許容せん断荷重（N）

K_3 ：複合破壊の場合のせん断耐力の低減係数（IV_AS の 0.8 とする）

K_4 ：へり側コンクリート破壊の場合のせん断耐力の低減係数（IV_AS の 0.6 とする）

Ab ：基礎ボルトの谷径断面積（スタッドの場合は軸部断面積）（mm^2）（M20：235mm^2）

Ec ：コンクリートのヤング率（N/mm^2）：20600N/mm^2

Fc ：コンクリートの設計基準強度（N/mm^2）：22.1N/mm^2

Ac_1 ：コンクリートのコーン状破壊面の有効投影面積（mm^2）

$Ac_1 = \frac{\pi}{2} \times 250^2 = 98174.77$

よって，

$q_{a1} = 0.5 \times 0.8 \times 235 \times \sqrt{20600 \times 22.1} = 63424 \fallingdotseq 6.34 \times 10^4 [N]$

$q_{a2} = 0.31 \times 0.6 \times 98174.77 \times \sqrt{22.1} = 85843 \fallingdotseq 8.58 \times 10^4 [N]$

$q_a = \min(6.34 \times 10^4,\ 8.58 \times 10^4) = 6.34 \times 10^4 [N]$

以上より，基礎ボルト 1 本当たりのコンクリート部の許容せん断荷重は $6.34 \times 10^4 [N]$ である。

一方，基礎ボルト（M20：SS400）の許容応力 160MPa から求まる基礎ボルト 1 本当たりのせん断許容荷重は，

$$\frac{\pi}{4} \times 20^2 \times 160 = 50265.5 \fallingdotseq 5.03 \times 10^4 [N]$$

である。基礎ボルトのせん断許容荷重$5.03 \times 10^4 [N]$と比較して，コンクリート部の許容せん断荷重は$6.34 \times 10^4 [N]$であり，コンクリート部の許容せん断荷重が十分大きい。

【組合せ荷重】

基礎ボルトが引張，せん断の組合せ荷重を受ける場合のコンクリートの評価は，JEAG-4601-1991 追補版より

$$\left(\frac{p}{p_a}\right)^2+\left(\frac{q}{q_a}\right)^2 \leqq 1$$

ここに

p_a ：引張荷重のみに対する基礎ボルト 1 本当たりのコンクリート部の許容引張荷重（N）＝min(p_{a1}, p_{a2})

q_a ：せん断荷重のみに対する基礎ボルト 1 本当たりのコンクリート部の許容せん断荷重（N）＝min(q_{a1}, q_{a2})

p ：基礎ボルト 1 本当たりの引張荷重（N）

q ：基礎ボルト 1 本当たりのせん断荷重（N）

仮に p に対して，基礎ボルト 1 本当たりの引張許容荷重を，また q に対して基礎ボルト 1 本当たりのせん断許容荷重を用いて保守的に計算すると，

$$\left(\frac{6.60\times10^4}{22.0\times10^4}\right)^2+\left(\frac{5.03\times10^4}{6.34\times10^4}\right)^2 \fallingdotseq 0.72<1$$

となり，組合せ荷重評価に対しても，基礎ボルトよりコンクリート部の方が十分余裕がある。

以上をまとめると以下のとおりである。

基礎ボルト 1 本当たりの許容荷重及びコンクリートの許容荷重	基礎ボルトの引張許容荷重 p（N）	コンクリート部の許容引張荷重 pa（N）	基礎ボルトのせん断許容荷重 q（N）	コンクリート部の許容せん断荷重 qa（N）
	6.60×10^4	22.0×10^4	5.03×10^4	6.34×10^4
引張・せん断評価	p<pa OK		q<qa OK	
組合せ評価	$\left(\frac{p}{p_a}\right)^2+\left(\frac{q}{q_a}\right)^2 \leqq 1\ OK$			