

東海第二発電所 審査資料	
資料番号	PD-1-14 改 29
提出年月日	平成 29 年 12 月 4 日

東海第二発電所

地震による損傷の防止

平成 29 年 12 月
日本原子力発電株式会社

本資料のうち、 は商業機密又は核物質防護上の観点から公開できません。

第4条：地震による損傷の防止

目 次

第1部

1. 基本方針

1.1 要求事項の整理

1.2 追加要求事項に対する適合性

下線部：今回提出資料

(1) 位置，構造及び設備

(2) 安全設計方針

(3) 適合性説明

1.3 気象等

1.4 設備等

1.5 手順等

第2部

1. 耐震設計の基本方針

1.1 基本方針

1.2 適用規格

2. 耐震設計上の重要度分類

2.1 重要度分類の基本方針

2.2 耐震重要度分類

3. 設計用地震力

3.1 地震力の算定法

3.2 設計用地震力

4. 荷重の組合せと許容限界

4.1 基本方針

5. 地震応答解析の方針

5.1 建物・構築物

5.2 機器・配管系

5.3 屋外重要土木構造物

5.4 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備 又は津波監視設備が設置された建物・構築物

6. 設計用減衰定数

7. 耐震重要施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響

8. 水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せに関する影響評価方針

9. 構造計画と配置計画

(別 添)

- 別添－1 設計用地震力
- 別添－2 動的機能維持の評価
- 別添－3 弾性設計用地震動 S_d ・静的地震力による評価
- 別添－4 上位クラス施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響の検討について
- 別添－5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針
- 別添－6 屋外重要土木構造物の耐震評価における断面選定の考え方
- 別添－7 主要建屋の構造概要について
- 別添－8 地震応答解析に用いる地質断面図の作成例及び地盤の速度構造

(別 紙)

- 別紙－1 既工認との手法の相違点の整理について（設置変更許可申請段階での整理）
- 別紙－2 原子炉建屋の地震応答解析モデルについて
- 別紙－3 原子炉建屋屋根トラス評価モデルへの弾塑性解析適用について
- 別紙－4 土木構造物の解析手法及び解析モデルの精緻化について
- 別紙－5 機器・配管系における手法の変更点について
- 別紙－6 下位クラス施設の波及的影響の検討について
- 別紙－7 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の適切な組合せに関する検討について
- 別紙－8 屋外重要土木構造物の耐震評価における断面選定について
- 別紙－9 使用済燃料乾式貯蔵建屋の評価方針について
- 別紙－10 液状化影響の検討方針について
- 別紙－11 屋外二重管の基礎構造の設計方針について
- 別紙－12 既設設備に対する耐震補強等について
- 別紙－13 動的機能維持評価の検討方針について

東海第二発電所

下位クラス施設の波及的影響の検討について
(耐震)

大物搬入口建屋の耐震重要度分類について

1. はじめに

大物搬入口建屋の機能要求を踏まえて、耐震設計上の取扱いについて、以下のとおり整理した。

2. 二次格納施設の範囲、気密性に係る要求及びその取扱いについて

(1) 二次格納施設の範囲及び気密性に係る要求について

二次格納施設の範囲を示した原子炉建屋概略平面図を第 1 図に示す。

二次格納施設を負圧に維持するため、機器搬入口内側扉（以下「内側扉」という。）又は機器搬入口外側扉（以下「外側扉」という。）のどちらか一方の扉は閉鎖状態であることが要求される。これは、通常運転時に二次格納施設を負圧に維持するとともに、設計基準事故（原子炉冷却材喪失（L O C A）、燃料集合体の落下）が発生した際に、原子炉建屋ガス処理系（非常用ガス処理系、非常用ガス再循環系）により二次格納施設内のガスを処理し、二次格納施設を負圧に維持するための「気密性に係る要求」である。

実運用としては、原則、内側扉及び外側扉ともに閉鎖状態としている。また、機器の搬出入等に伴い一時的に内側扉又は外側扉を開放する場合は、もう一方の扉は閉鎖状態を維持し、二次格納施設の気密性を確保することとしている。

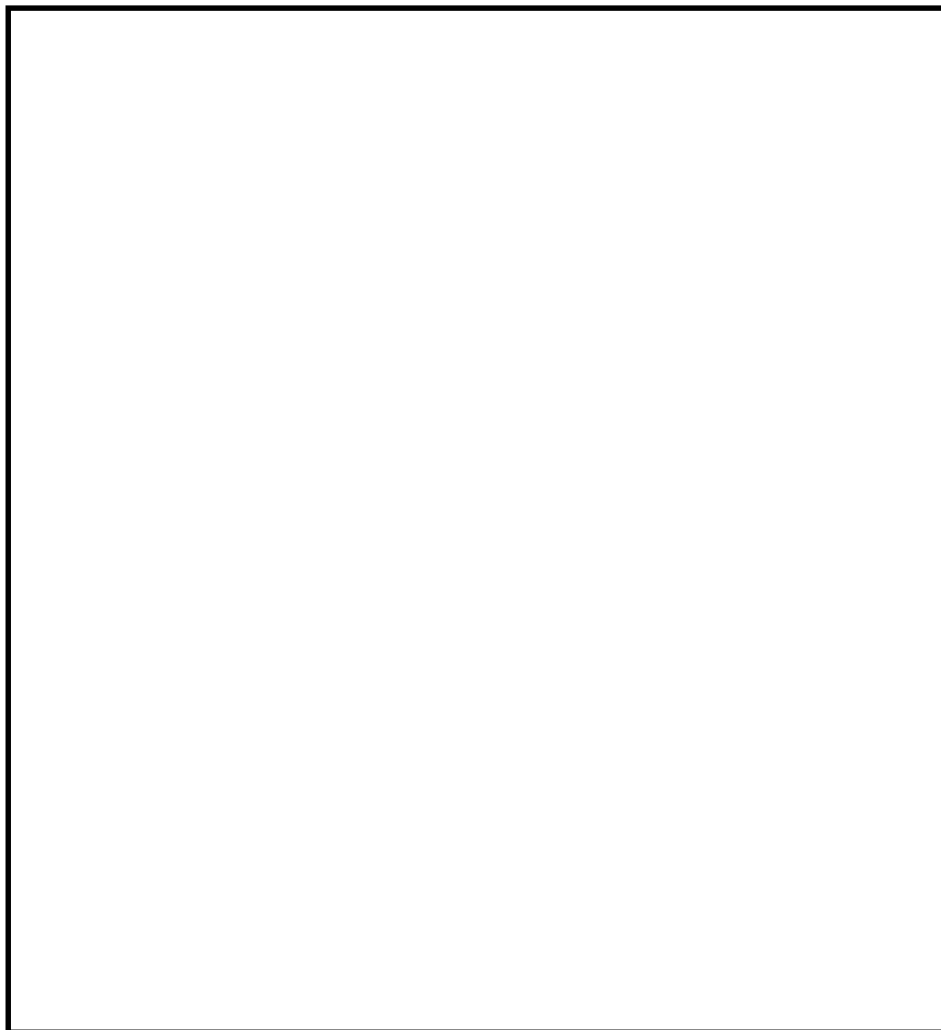
(2) 二次格納施設の気密性に係る要求の取扱い


二次格納施設の気密性に係る要求として、原子炉施設保安規定（以下「保安規定」という。）において、内側扉又は外側扉の何れか一方の扉が閉鎖状態であることを定めている。これを満足しない場合は、二次格納施設を負圧に保つための措置を 4 時間以内に講じることが要求され、さらにこの要求を満


足できない場合には、プラント停止等の必要な措置を決められた時間内に実施することが要求される。

(3) 東海第二発電所における耐震設計上の取扱いの方針

東海第二発電所では、一時的な機器搬出入時を除いて閉鎖状態とする内側扉までを二次格納施設として扱い耐震Sクラスとし、大物搬入口建屋を含む外側扉については、耐震Cクラスとしている。



 : 二次格納施設

 : 機器搬入口内側扉開放時に一時的に
気密性を要求する範囲

第1図 原子炉建屋概略平面図 (EL. 8.2m)

3. 耐震重要度分類の整理

大物搬入口建屋を含む外側扉を耐震Cクラスとしている理由について整理する。

(1) 通常運転時は内側扉及び外側扉の両方を閉めて運転していること

上記2. (1)のとおり、通常運転時は、原則、内側扉及び外側扉を閉じて運転しており、地震発生等により大物搬入口建屋を含む外側扉の気密性が確保されない場合でも、耐震Sクラスとした内側扉にて二次格納施設の気密性は確保可能である。

(2) 通常運転時の内側扉開放時に気密性が損なわれた場合でも外部への被ばく影響は小さいこと

内側扉開放時に外側扉を含む機器搬入口建屋が損傷に至ると、保安規定で要求される内側扉又は外側扉の閉鎖状態の確保を満足していない状態となるため、二次格納施設を負圧に保つための措置として、4時間以内に内側扉を閉鎖する必要がある。過去の作業実績から内側扉の閉鎖作業時間は約1時間であるが、保守的に4時間として、二次格納施設内のガスが地上放出となる場合の平常時被ばく評価への影響を確認した。その結果、人の居住を考慮した実効線量は、わずかに増加するものの添付書類九の記載値の約 $8.4\mu\text{Sv}/\text{年}$ から変動はなく、平常時被ばく評価への影響は小さいこと確認した。また、この値は線量目標値である $50\mu\text{Sv}/\text{年}$ を十分下回る。

(3) 基準地震動 S_s により原子炉建屋ガス処理系の起動が必要となる事故が発生せず二次格納施設の健全性の維持が可能であること

上記のとおり、二次格納施設の気密性の要求は、原子炉建屋ガス処理系の起動が必要となる設計基準事故（LOCA、燃料集合体の落下）に備えたものであるが、原子炉冷却材圧力バウンダリは耐震Sクラスとしており、基準地震動 S_s によるLOCAの発生はない。また、燃料交換機は、基準

地震動 S_s によっても、吊り上げた燃料を落下させることはなく、燃料集合体の落下は発生しない。

以上より、基準地震動 S_s により原子炉建屋ガス処理系の起動が必要となる事故は考慮不要であることから、内側扉の開放時において決定論的に地震の発生を想定した場合においても設計基準事故に至らず、地震発生後に速やかに内側扉の閉鎖を行うことにより、二次格納施設の気密性を維持することができる。

(4) 内側扉の開放時間が限定的でありその間に事故等が発生する確率が小さいこと

a. L O C A 時に対する検討

① 内側扉の開放時における L O C A の発生について

・ 1 年間における内側扉の解放時間

新燃料の受入れ、使用済燃料の移送等計画的に実施する作業における内側扉の開放時間は、1 回当たりの作業時間として 2~3 時間であり、年間の合計時間は約 90 時間となる。この合計時間に基づく 1 年間当たり内側扉が開放している割合は、 1.1×10^{-2} 年/年である。なお、この開放時間は、過去の作業時間を参考に算定したものであり、今後の内側扉の開放作業に際しては作業効率を図ることや計画的に実施することにより、内側扉の開放時間を極力抑えることが可能である。

・ L O C A の発生確率

内部事象 P R A における L O C A の発生確率は、大破断 L O C A が 2.0×10^{-5} (/ 炉年)、中破断 L O C A が 2.0×10^{-4} (/ 炉年)、小破断 L O C A が 3.0×10^{-4} (/ 炉年) であり、その合計は 5.2×10^{-4} (/ 炉年) である。なお、内側扉の開放時に偶発的に L O C A が発生

した場合においても、外側扉は閉じられているため、二次格納施設の気密性確保に問題はない。

以上より、内側扉の開放時におけるLOCAの発生確率は、 5.8×10^{-6} （/炉年）となる。

② LOCA発生後に内側扉が開放し続ける時間について

内側扉を開放する1回の作業継続時間は最長でも3時間であり、過去の作業実績から閉鎖作業時間は約1時間である。このため、内側扉開放時に万一LOCAが発生しても、内側扉を閉鎖するまでの時間、すなわち外側扉で気密性を確保する期間は約1時間（ 1.2×10^{-4} 年）となる。

以上のとおり、内側扉開放時にLOCAが発生し内側扉を閉鎖するまでの間に大物搬入口建屋が地震により損傷する確率は、大物搬入口建屋が損傷する地震の年超過確率をP（/年）とすると、 $7.0 \times 10^{-10} \times P$ （/炉年）となり極めて小さい。

また、この確率は、JEAG4601・補-1984で用いられる荷重の組合せに関する判断基準である 10^{-7} /年よりも小さく事象の発生としては極めて稀である。

第1表 LOCA発生後内側扉を閉鎖するまでの間に地震が発生する確率

①内側扉の開放時におけるLOCAの発生確率（/炉年）	②外扉側で気密性を確保する期間（年）	大物搬入口建屋が損傷に至る年超過確率（/年）	合計（/炉年）
5.8×10^{-6}	1.2×10^{-4}	P	$7.0 \times 10^{-10} \times P$

③ 地震起因によるLOCA発生について

内側扉の開放時に地震起因のLOCAが発生した場合には、二次格納施設の気密性確保が一時的に損なわれることとなるが、地震起因のLO

CAの発生確率は約 3×10^{-12} （/炉年）であり、内側扉の開閉状態に関係無く、その発生確率は十分小さい。さらに①で整理した1年間当たり内側扉が開放している割合である 1.1×10^{-2} 年/年を考慮すれば、確率的に極めて小さくなる。

本確率についても。JEAG4601・補-1984で用いられる荷重の組合せに関する判断基準である 10^{-7} /年よりも小さく事象の発生としては極めて稀である。

b. 燃料集合体の落下に対する検討

燃料集合体落下の可能性を有する作業として、定期検査時の燃料集合体の取替作業（以下「燃料取替作業」という。）がある。

燃料取替作業時における内側扉の開放作業は、燃料取替作業時には内側扉の開放作業を計画的に実施しない運用とすること、また燃料取替作業時に内側扉の開放の必要が生じたときには燃料集合体を取り扱う作業を一時的に中断する運用とすることにより、内側扉が開放された状態での燃料取替作業時における燃料集合体の落下を防ぐこととする。

4. まとめ

以上のとおり、大物搬入口建屋は通常運転時には原則内側扉及び外側扉を閉鎖状態としていること、通常運転時の内側扉開放時に気密性が損なわれた場合でも外部への被ばく影響は小さいこと、基準地震動 S_s により原子炉建屋ガス処理系の起動が必要な事故は考慮不要であること、内側扉の開放時にLOCAが発生し、内側扉を閉鎖するまでに地震により大物搬入口建屋が損傷する確率は極めて小さいことから、大物搬入口建屋を含む外側扉まで耐震Cクラスとして扱うこととする。

東海第二発電所

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の適切な組合せ
に関する検討について
(耐震)

6. 水平2方向入力時の影響評価について（矩形配置されたボルト）

6.1 はじめに

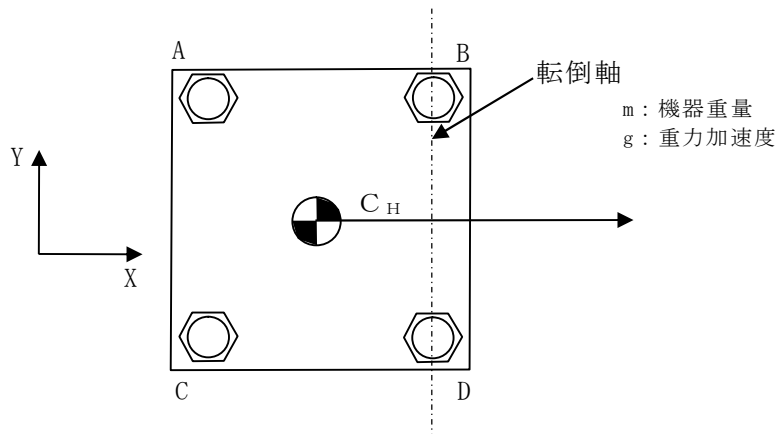
本項は、水平2方向に地震力が作用した場合の矩形配置されたボルトに対する影響検討結果をまとめたものである。強軸・弱軸が明確なものについては、弱軸方向に応答し水平2方向地震力による影響が軽微であるため、機器の形状を正方形として検討を行った。

6.2 引張応力への影響

水平1方向に地震力が作用する場合と水平2方向に地震力が作用する場合のボルトへの引張力の違いを考察する。なお、簡単のため機器の振動による影響は考えないこととする。

(1) 水平1方向に地震力が作用する場合

第6-1図のようにX方向に震度 C_H が与えられる場合を考慮する。



第6-1図 水平1方向の地震力による応答（概要）

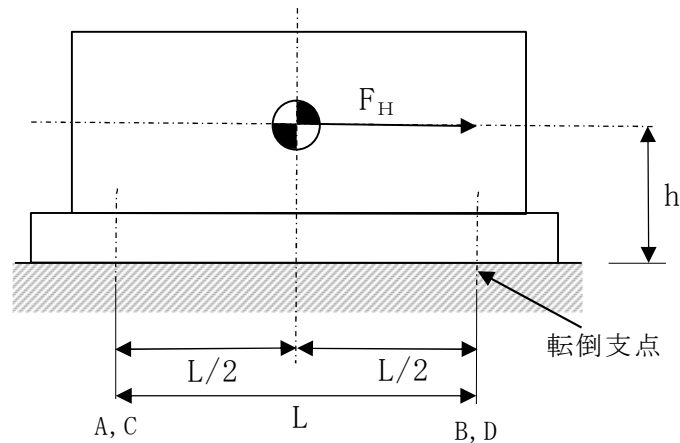
この場合、対象としている系の重心に作用する水平方向の力 F_H は、

$$F_H = mg C_H$$

と表せ、 F_H によるボルトBとボルトDの中心を結んだ軸を中心に転倒

モーメントを生じる。この転倒モーメントはボルト A, C により負担される。

このとき、系の重心に生じる力は、第 6-2 図に示すとおりである。



第 6-2 図 水平 1 方向の地震力による力

第 6-2 図より、水平方向地震動による引張力は

$$F_b = \frac{1}{L} (mgC_H h)$$

である。

ボルトに発生する引張応力 σ_b は全引張力を断面積 A_b のボルト n_f 本で受けると考え、

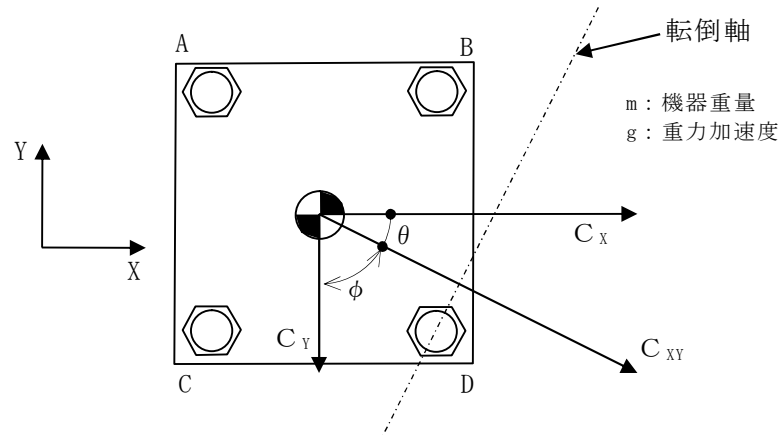
$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b}$$

となる。

(2) 水平 2 方向に地震力が作用する場合

第 6-3 図のように X 方向と Y 方向にそれぞれ震度 C_X , C_Y が作用する場合を考慮する。なお、本検討においては、X 方向と Y 方向に同時に最大

震度が発生する可能性は低いと考え、X方向の震度とY方向の震度を1:0.4
 ($0.4C_X = C_Y$)と仮定する。



第6-3図 水平2方向の地震力による応答（概要）

この時 $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{4}{10}\right)$ であることから、水平方向の震度 C_{XY} は

$$\begin{aligned} C_{XY} &= C_X \cos \theta + C_Y \cos \phi \\ &= \frac{5}{\sqrt{29}} C_X + 0.4 \times \frac{2}{\sqrt{29}} C_Y \\ &= \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_X \end{aligned}$$

と表される。この時、対象としている系の重心に作用する水平方向の力 F_H は、

$$F_H = mg C_{XY} = mg \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_X$$

となる。この F_H により、転倒軸を中心に転倒モーメントが生じ、ボルト A, B, C により負担される。

水平2方向の地震力を受け対角方向に応答する場合、各ボルトにかかる引

張力を F_A , F_B , F_C とし、第 6-4 図に示すようにボルト D の中心を通る直線を転倒軸とすると、

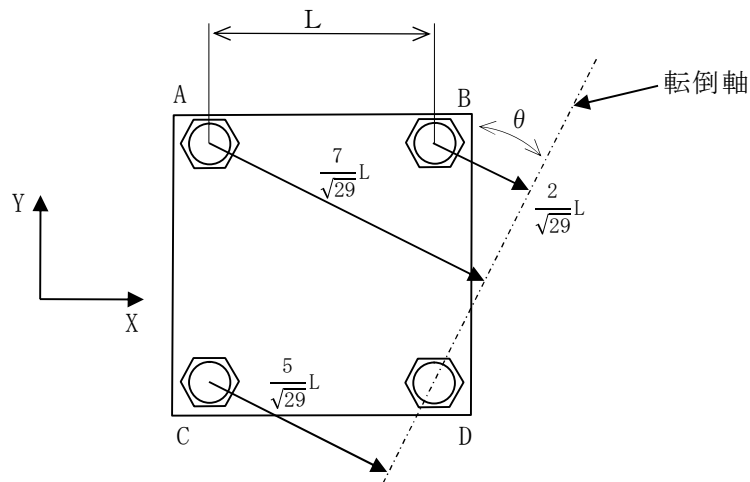
転倒軸からの距離により、

$$F_A : F_B : F_C = 7 : 2 : 5$$

であり、転倒軸周りのボルトの軸力により発生するモーメント M は、

$$\begin{aligned} M &= \frac{7}{\sqrt{29}}LF_A + \frac{2}{\sqrt{29}}LF_B + \frac{5}{\sqrt{29}}LF_C \\ &= \frac{7}{\sqrt{29}}L \times F_A + \frac{2}{\sqrt{29}}L \times \frac{2}{7}F_A + \frac{5}{\sqrt{29}}L \times \frac{5}{7}F_A \\ &= \frac{78}{7\sqrt{29}}LF_A \end{aligned}$$

である。



第 6-4 図 対角方向に応答する場合の転倒軸から距離

転倒しない場合、転倒軸周りのボルトの軸力により発生するモーメント M と水平方向地震力モーメントが釣り合っているので、

$$mg C_{XY} h = \frac{78}{7\sqrt{29}} LF_A$$

であり、引張力 F_A は以下のとおりとなる。

$$F_A = \frac{7\sqrt{29}}{78L} (mg C_{XY} h)$$

以上より、最も発生応力の大きいボルト A に発生する応力 σ_b' は

$$\sigma_b' = \frac{F_A}{A_b} = \frac{7\sqrt{29}}{78A_b L} (mg C_{XY} h)$$

であり、水平 1 方向地震動を考慮した場合のボルトにかかる応力 σ_b

$$\sigma_b = \frac{F_b}{2A_b} = \frac{1}{2A_b L} (mg C_H L)$$

に対して、震度 $C_{XY} = \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_H$ であることから

$$\begin{aligned} \sigma_b' &= \frac{7\sqrt{29}}{39 \times 2A_b L} (mg C_{XY} h) \\ &= \frac{7\sqrt{29}}{39 \times 2A_b L} \times \frac{5.8}{\sqrt{29}} (mg C_H h) \\ &= \frac{40.6}{39} \sigma_b \\ &= 1.04 \sigma_b \end{aligned}$$

となる。したがって、水平 2 方向入力時を考慮した場合、ボルトに発生する引張応力は増加するが、その影響は軽微と考えられる。

6.3 せん断応力への影響

せん断力は全基礎ボルト断面で負担するため、全ボルトに対するせん断力 T_b は、

$$T_b = F_H$$

であり、せん断応力 τ_b は断面積 A_b のボルト本数 n でせん断力 T_b を受けるため、

$$\tau_b = \frac{T_b}{nA_b}$$

となる。

水平 1 方向の地震力を考慮した場合のせん断力 T_b 及び水平 2 方向の地震力を考慮した場合のせん断力 T_b' はそれぞれ、

$$T_b = mg C_x$$

$$T_b' = mg \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_x = 1.08 mg C_x$$

$$= 1.08 T_b$$

となる。水平 1 方向及び水平 2 方向地震時に断面積 A_b 及びボルト全本数 n は変わらないため、水平 2 方向地震を考慮した場合、ボルトに発生するせん断応力は増加するが、その影響は軽微と考えられる。

水平 2 方向の震度比として 1:0.4 を用いる場合は、本手法を適用することの妥当性を確認した上で適用する。

東海第二発電所

屋外重要土木構造物の耐震評価における
断面選定について
(耐震)

2.3 屋外二重管の断面選定の考え方

屋外二重管は、Sクラス機器である残留熱除去系海水系配管、非常用ディーゼル発電機用海水系配管等の間接支持機能を有する。

屋外二重管は、延長約 215m、内径 2.0m 及び 1.8m の 2 本の鋼管の地中構造物である。構造物直下には液状化検討対象層である As 層、Ag1 層及び Ag2 層が分布している。なお、指針改訂に伴う耐震裕度向上工事として、平成 21 年に Ag2 層を対象とした地盤改良を実施している。

設置許可基準規則第 3 条第 1 項への適合性の観点から、本構造物は杭等を介して岩盤で支持する構造とする。

屋外二重管の平面図を第 2.3-1 図に、縦断面図を第 2.3-2 図に、横断面図を第 2.3-3 図に示す。

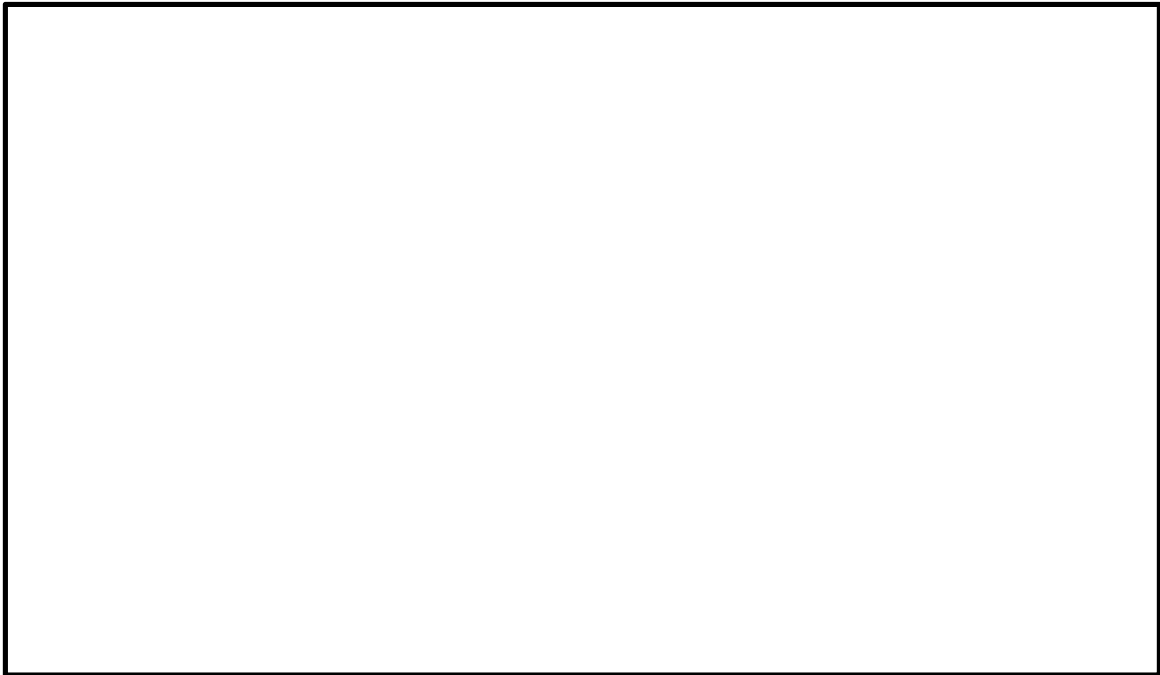
主な範囲においては、屋外二重管の直下に沈下防止を目的とした鋼製梁を設置して、鋼管杭を介して岩盤で支持させる。また、原子炉建屋近傍で、移設不可能な既設構造物（排気筒基礎等）や埋設物との干渉によって鋼管杭の打設が困難な箇所については、屋外二重管直下を地盤改良（セメント固化工法等）することにより補強する地盤に支持させる検討を行う。屋外二重管の基礎構造概要図を第 2.3-4 図に示す。

屋外二重管のうち二重管部分は管軸方向に対して一様の断面形状を示す線形の構造物であり、横断方向（管周方向）が弱軸方向である。また、一般的な地中埋設管路の設計では管軸方向が弱軸として設計されることを考慮し、管軸方向断面についても評価対象とする。なお、延長上の複数箇所に可とう管を設置することから、管軸方向の評価においては、可とう管の配置を踏まえた検討を実施する。

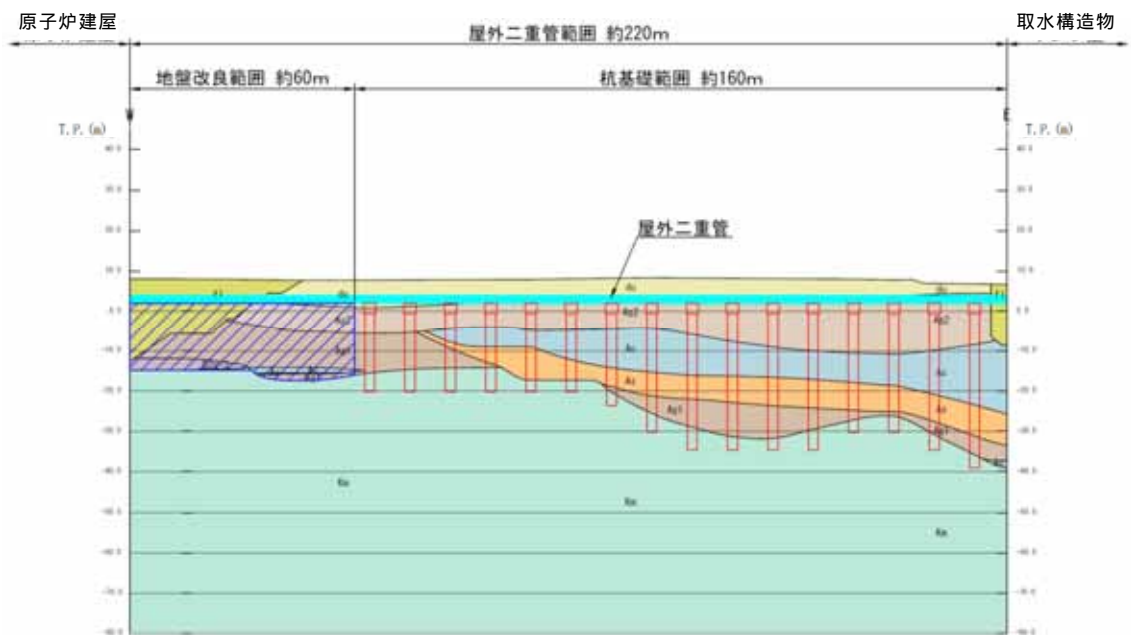
屋外二重管の耐震評価では、上述の構造的特徴があること、周辺の地盤構造、隣接する構造物の状況を踏まえ、可とう管及び杭基礎部分への影響につ

いても考慮し、耐震安全上最も厳しくなる断面にて基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。

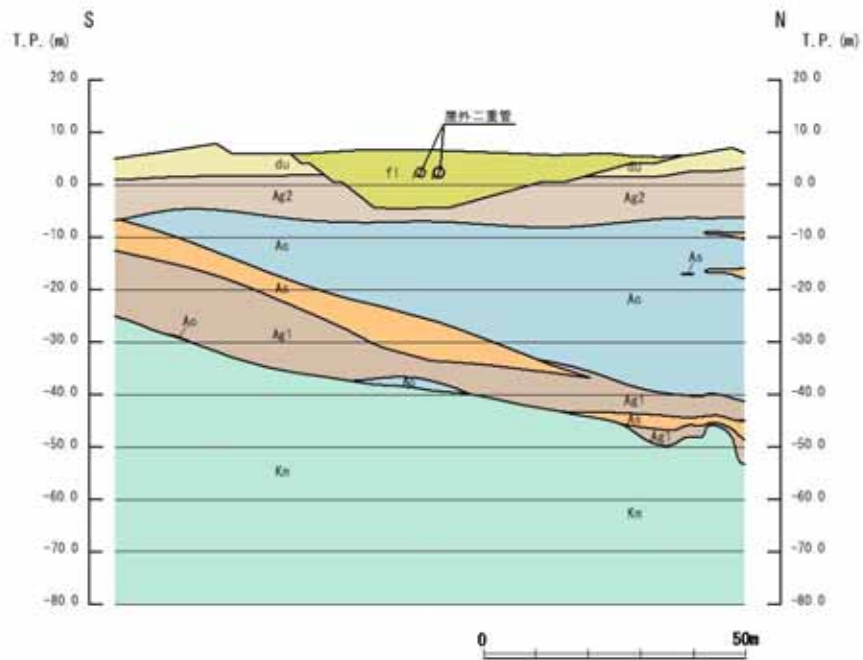
また、屋外二重管には残留熱除去系海水系配管、非常用ディーゼル発電機用海水系配管等が設置されることから、これら配管系への影響も踏まえた断面を選定し、地震応答解析を実施する。



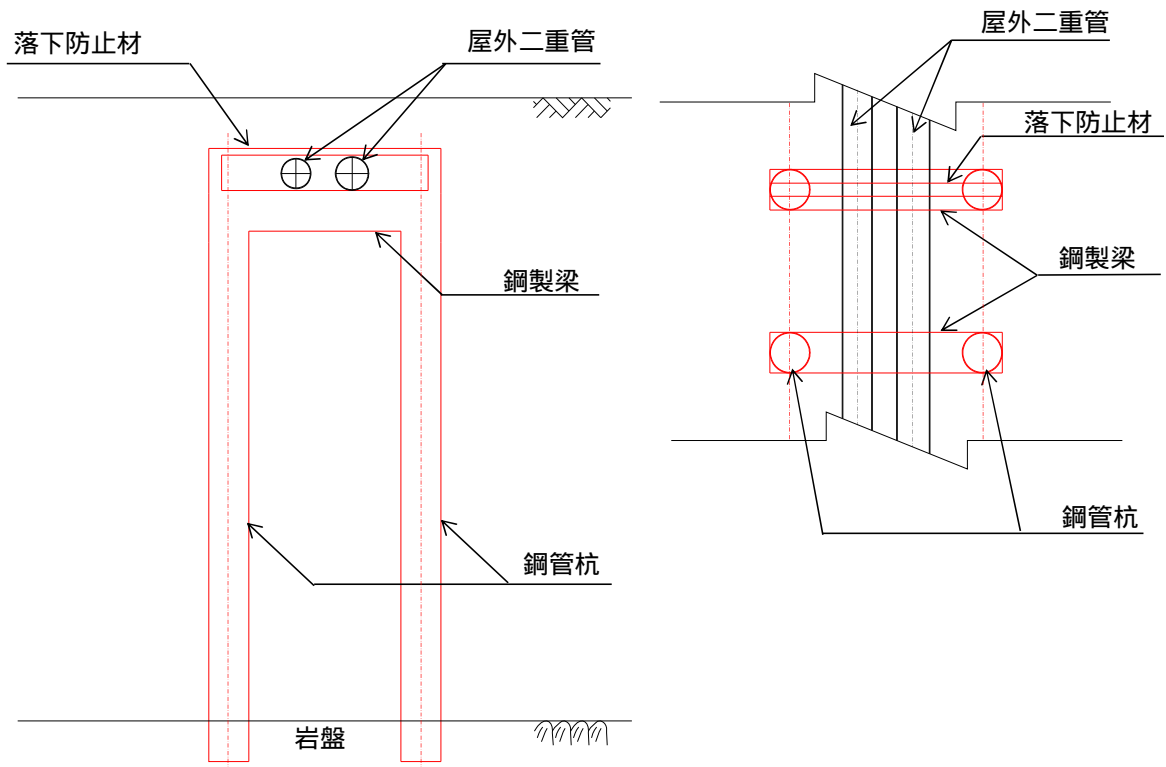
第 2.3-1 図 屋外二重管 平面図



第 2.3-2 図 屋外二重管 縦断面図 (A-A断面)



第 2.3-3 図 屋外二重管 横断面図 (B-B 断面)



基礎構造 (管軸直角方向イメージ)

基礎構造 (平面イメージ)

第 2.3-4 図 基礎構造概要図

3.4 常設低圧代替注水系配管カルバートの断面選定の考え方

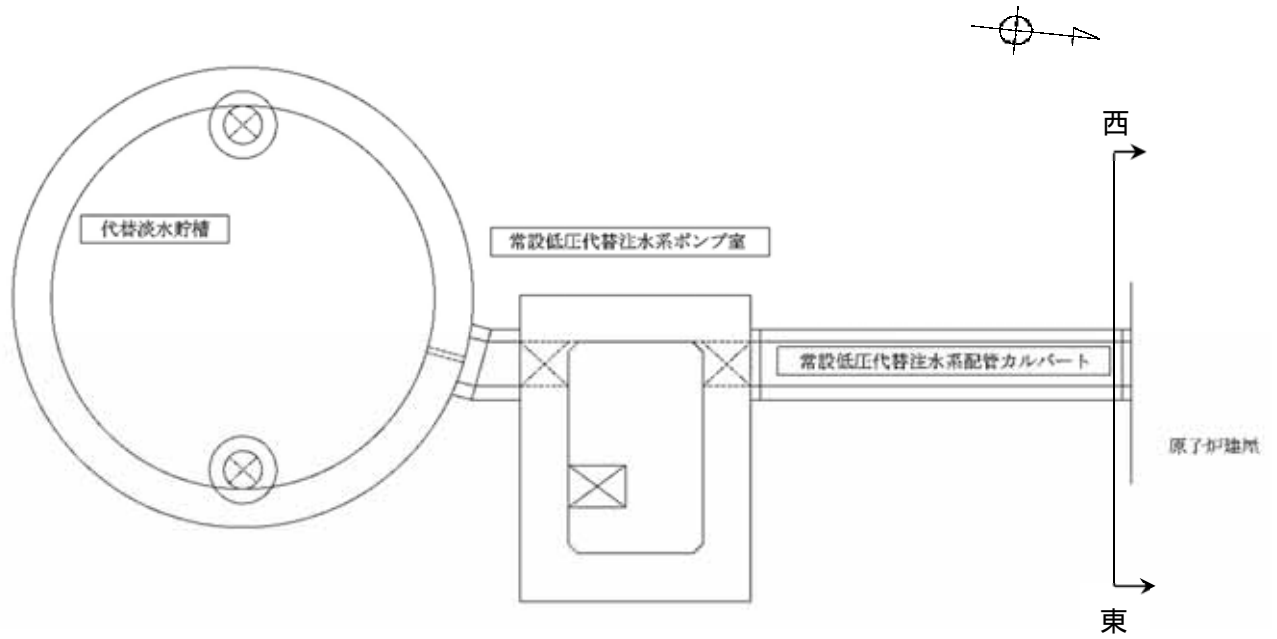
常設低圧代替注水系配管カルバートの平面図を第 3.4-1 図に，断面図を第 3.4-2 図に示す。

常設低圧代替注水系配管カルバートは常設重大事故等対処施設であり，常設低圧代替注水系配管を内包する。

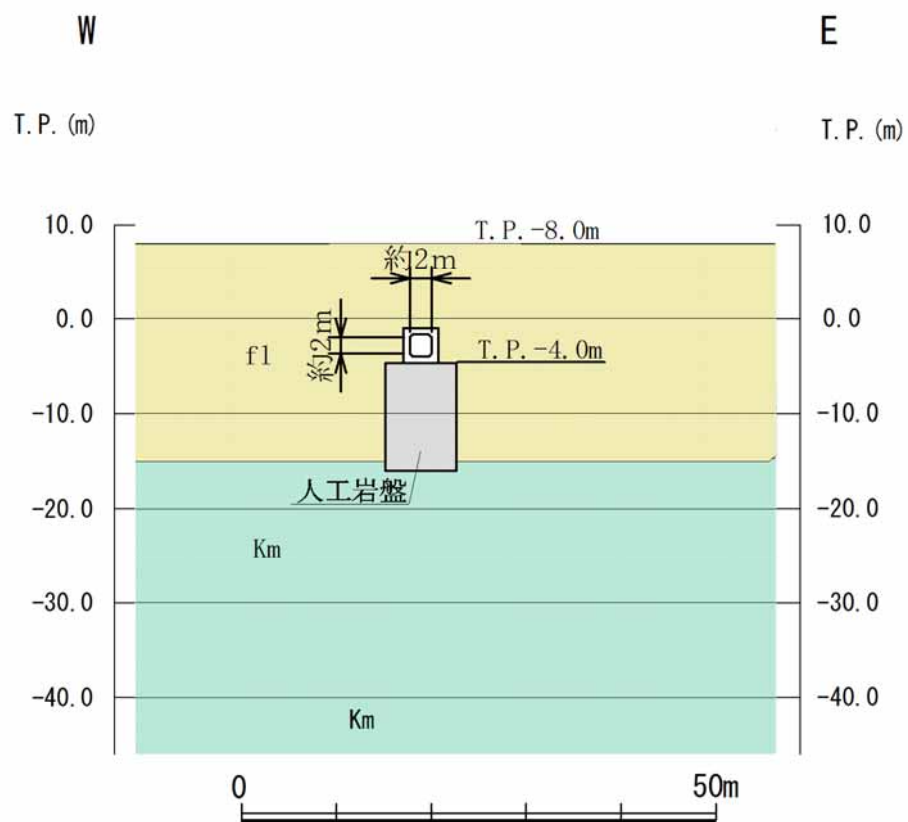
常設低圧代替注水系配管カルバートは，延長約 22m，内空幅約 2m，内空高さ約 2m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり，軸方向（配管方向）に対して内空寸法が一様で，人工岩盤を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置される。

常設低圧代替注水系配管カルバートの縦断方向（軸方向）は，加振方向と平行に配置される側壁を耐震設計上見込むことができるため，強軸方向となる。一方，横断方向（軸方向に対し直交する方向）は，配管が配置されるため，加振方向と平行に配置される構造部材がないことから，弱軸方向となる。

常設低圧代替注水系配管カルバートは全区間同一断面であり，周辺地盤も同じ構成であることから，耐震評価では，構造の安全性に支配的な弱軸方向である横断方向の断面を選定し，基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。



第 3.4-1 図 常設低圧代替注水系配管カルバート 平面図



第 3.4-2 図 常設低圧代替注水系配管カルバート 断面図 (東西断面)

3.6 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの断面選定の考え方

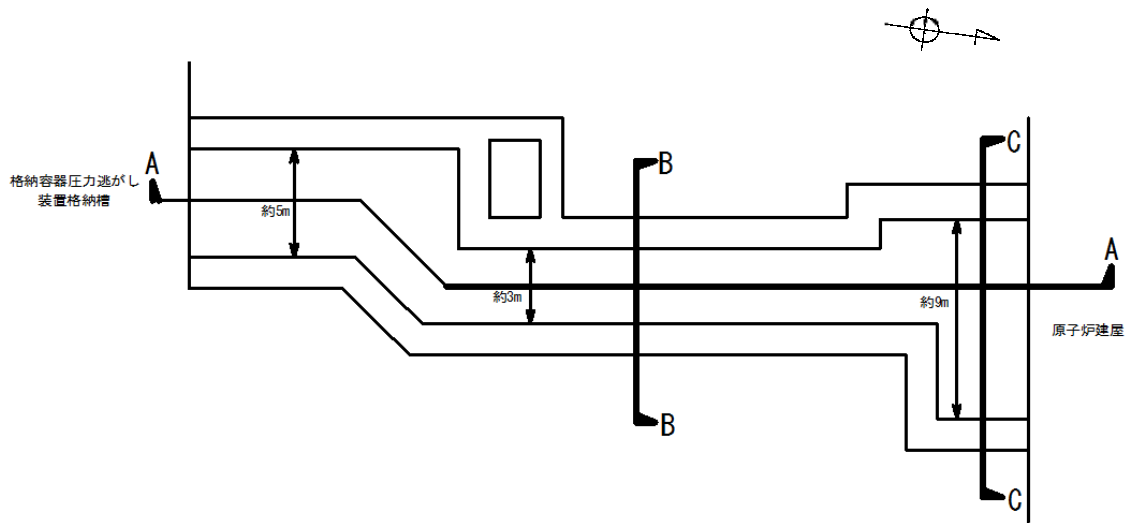
格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの平面図を第 3.6-1 図に、縦断面図を第 3.6-2 図に、横断面図を第 3.6-3 図に示す。

格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートは常設重大事故等対処施設であり、格納容器圧力逃がし装置用配管を内包する。

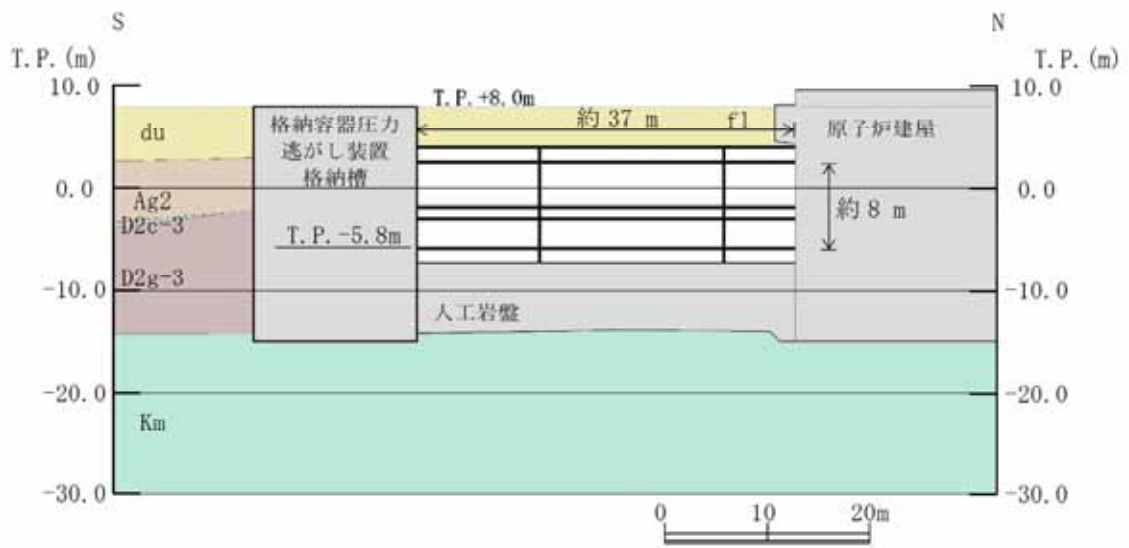
格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートは、延長約 37m、内空幅約 3m（一部約 5m 及び約 9m）、内空高さ約 8m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、人工岩盤を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置される。

格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの縦断方向（軸方向）は、加振方向と平行に配置される側壁を耐震設計上見込むことができるため、強軸方向となる。一方、横断方向（軸方向に対し直交する方向）は、配管が一様に配置されるため、加振方向と平行に配置される構造部材が少ないことから、弱軸方向となる。

格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート周辺の地質構造は縦断方向に対して一様であるが、格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートは縦断方向に対して複数の断面形状を示すことから、上述の断面を含めた複数の断面を耐震評価候補断面として整理し、耐震安全上最も厳しくなる断面にて基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。

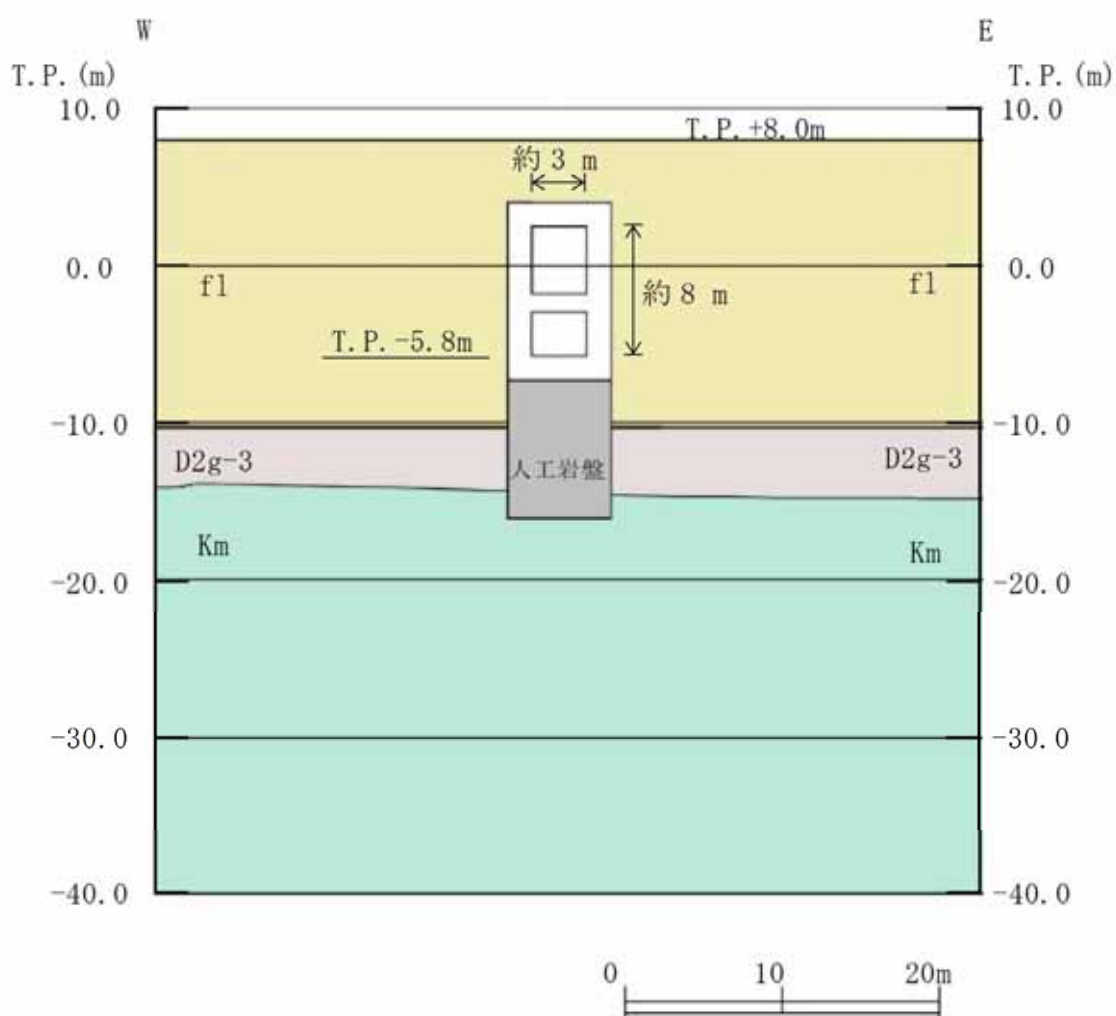


第 3.6-1 図 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート 平面図



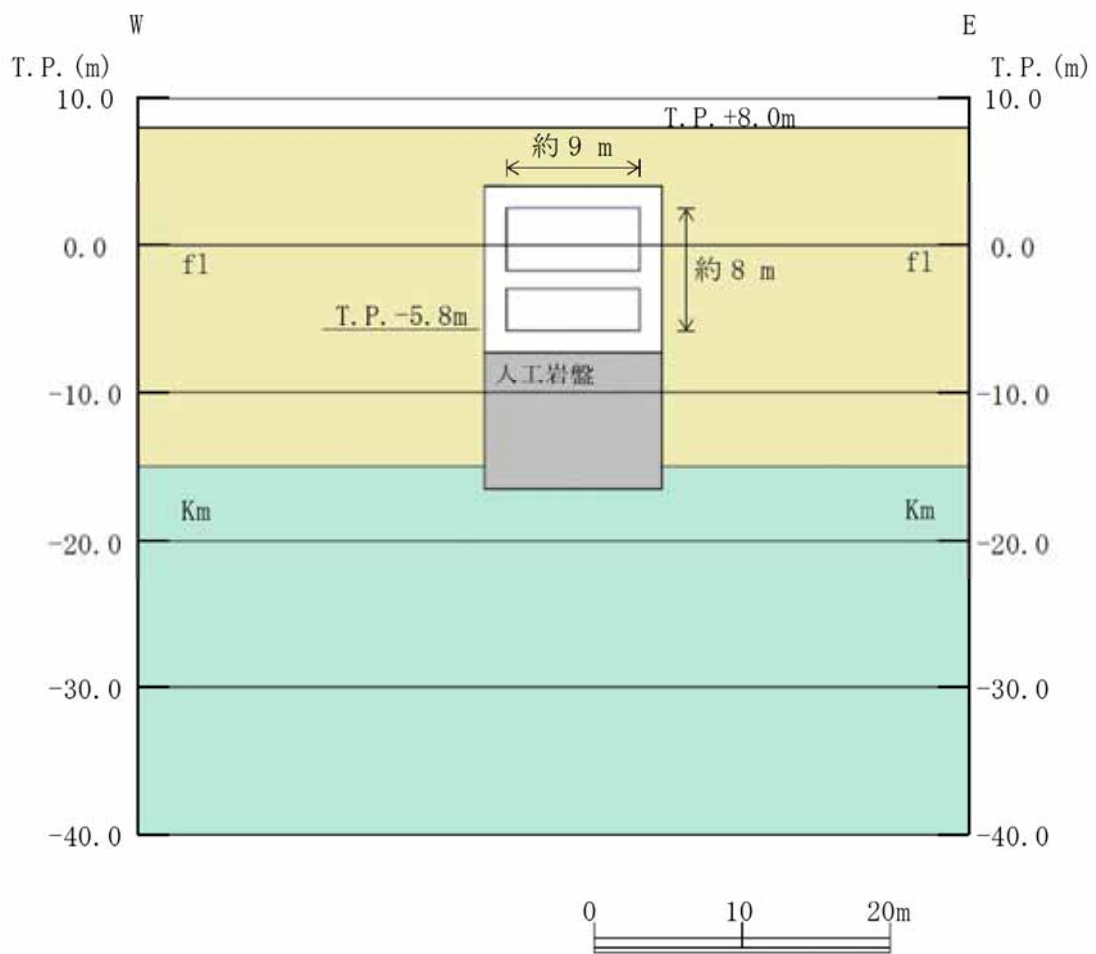
第 3.6-2 図 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート 縦断面図

(A-A断面)



第 3.6-3 (1) 図 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート 断面図

(B-B 断面)



第 3.6-3 (2) 図 格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート 断面図

(C-C 断面)

3.7 緊急用海水取水管の断面選定の考え方

緊急用海水取水管の平面図を第 3.7-1 図に、縦断面図を第 3.7-2 図に、横断面図を第 3.7-3 図に示す。

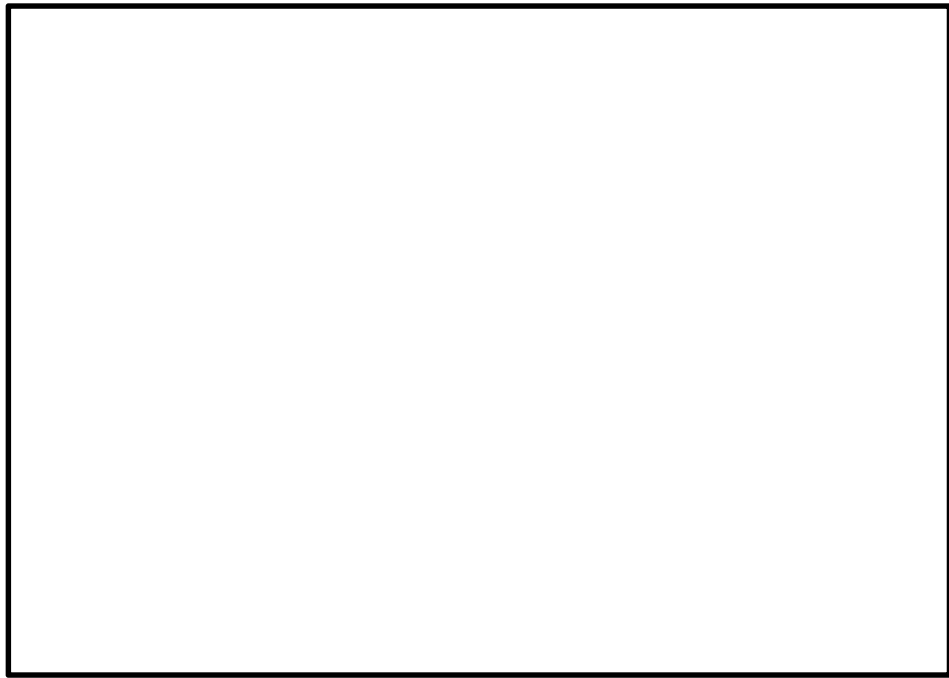
緊急用海水取水管は常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備である。また、非常用取水設備であり、通水性能が要求される。

緊急用海水取水管は、S A用海水ピットと緊急用海水ポンプピットを接続する延長約 168m で内径 1.2m の鋼管の地中構造物であり、十分な支持性能を有する岩盤に設置される。

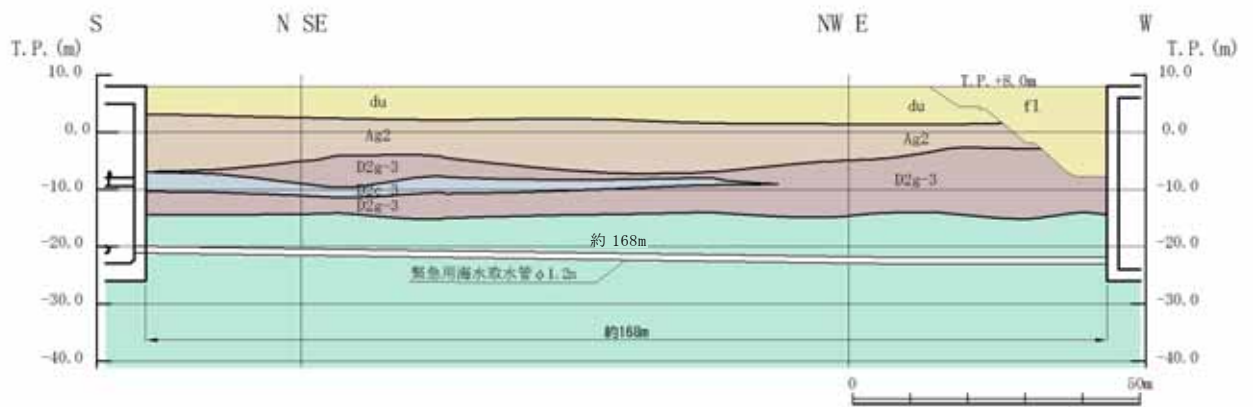
緊急用海水取水管は管軸方向に対して一様の断面形状を示す線状の構造物であり、横断方向（管周方向）が弱軸方向である。また、一般的な地中埋設管路の設計では管軸方向を弱軸として設計されることを考慮し、管軸方向断面についても評価対象断面とする。なお、延長上の複数箇所にて可とう管を設置することから、管軸方向の評価においては、可とう管の配置を踏まえた検討を実施する。

緊急用海水取水管は、全長を岩盤に設置されており、周辺の地盤が構造物に与える影響はどの断面でも大きな差はなく、上載荷重の影響が支配的であると考えられることから、耐震評価では、構造の安全性に支配的な弱軸方向である横断方向のうち、土被りが最も大きくなる A-A 断面を選定し、基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。

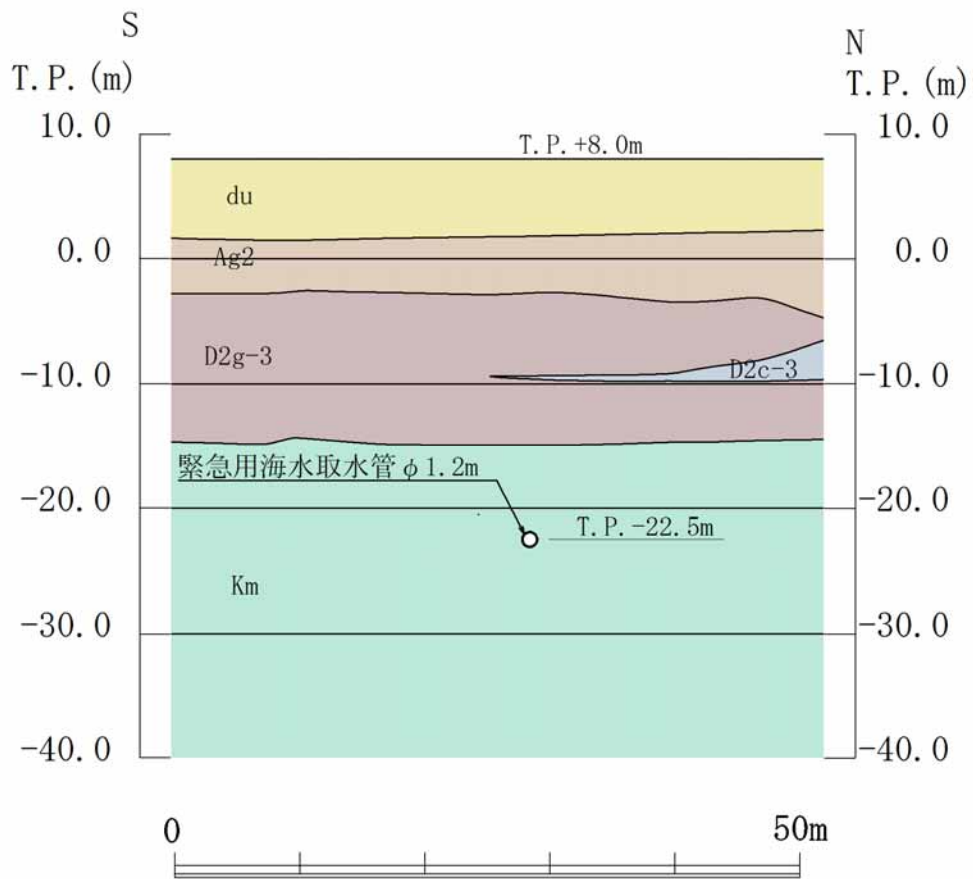
なお、周辺地質状況の相違による影響を確認するため、管軸方向における複数地点にて一次元波動論における地震応答解析を実施し、管路の上端と下端の相対変位を確認する。



第 3.7-1 図 緊急用海水取水管 平面図



第 3.7-2 図 緊急用海水取水管 縦断面図



第 3.7-3 図 緊急用海水取水管 横断面図 (A-A断面)

3.9 海水引込み管の断面選定の考え方

海水引込み管の平面図を第 3.9-1 図に、縦断面図を第 3.9-2 図に、横断面図を第 3.9-3 図に示す。

海水引込み管は常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備である。また、非常用取水設備であり、通水性能が要求される。

海水引込み管は、SA用海水ピット取水塔とSA用海水ピットを接続する延長約 154m、内径 1.2m の鋼管の地中構造物であり、十分な支持性能を有する岩盤に設置される。

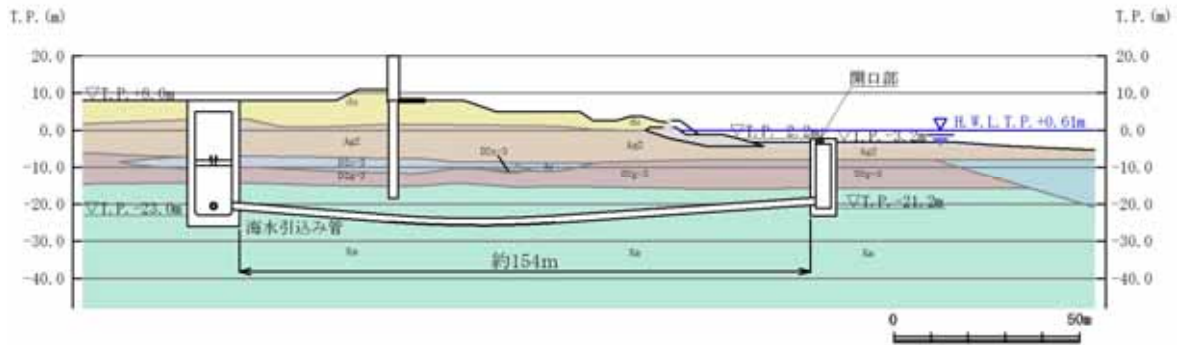
海水引込み管は管軸方向に対して一様の断面形状を示す線状の構造物であり、横断方向（管周方向）が弱軸方向である。また、一般的な地中埋設管路の設計では管軸方向を弱軸として設計されることを考慮し、管軸方向断面についても評価対象断面とする。なお、延長上の複数箇所にて可とう管を設置することから、管軸方向の評価においては、可とう管の配置を踏まえた検討を実施する。

海水引込み管は、全長とも岩盤に設置されており、周辺の地盤が構造物に与える影響はどの断面でも大きな差はなく、上載荷重の影響が支配的であると考えられることから、耐震評価では、構造の安全性に支配的な弱軸方向である横断方向のうち、土被りが最も大きくなる A-A 断面を選定し、基準地震動 S_s による耐震評価を実施する。

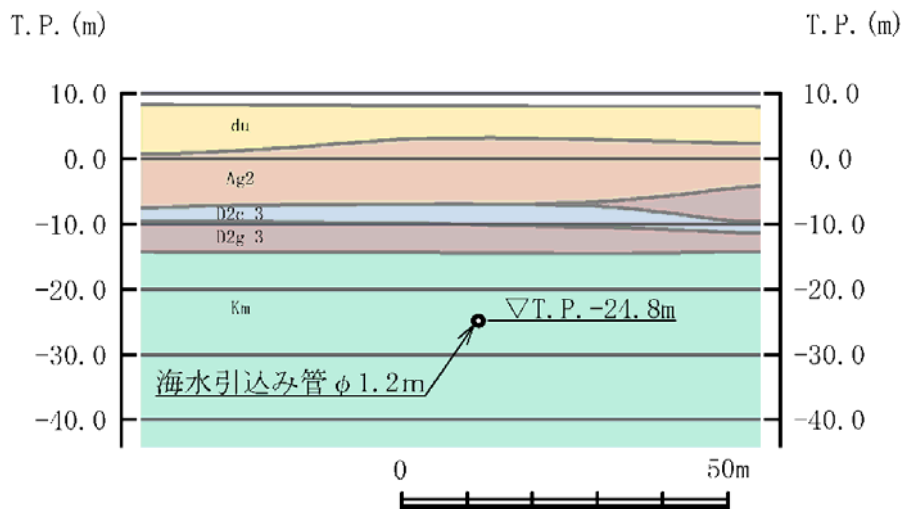
なお、周辺地質状況の相違による影響を確認するため、管軸方向における複数地点にて一次元波動論における地震応答解析を実施し、管路の上端と下端の相対変位を確認する。



第 3.9-1 図 海水引込み管 平面図



第 3.9-2 図 海水引込み管 縦断面図



第 3.9-3 図 海水引込み管 横断面図 (A-A断面)

東海第二発電所

動的機能維持評価の検討方針について (耐震)

1. はじめに

本資料では、実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈等における動的機能保持に関する評価に係る一部改正（以下「技術基準規則解釈等の改正」という）を踏まえて、動的機能維持が必要な設備の検討方針を示す。

2. 動的機能維持のための新たな検討又は詳細検討が必要な設備の検討方針

J E A G 4601 に定められた適用範囲から外れ新たな検討が必要な設備又は評価用加速度が機能維持確認済加速度を超えるため詳細検討が必要な設備を抽出するとともに、抽出された設備における動的機能維持のための検討方針を示す。

2.1 動的機能維持のための新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出

(1) 検討対象設備

検討対象設備は、耐震Sクラス並びに常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備とし、動的機能が必要な設備としてJ E A G 4601で適用範囲が定められている機種（立形ポンプ、横形ポンプ、電動機等）とする。なお、加振試験により機能維持を確認する設備J E A G 4601にて評価用加速度が機能維持確認済加速度を超えた場合の詳細検討の具体的手順が定められている設備については検討から除外する。

(2) 新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出

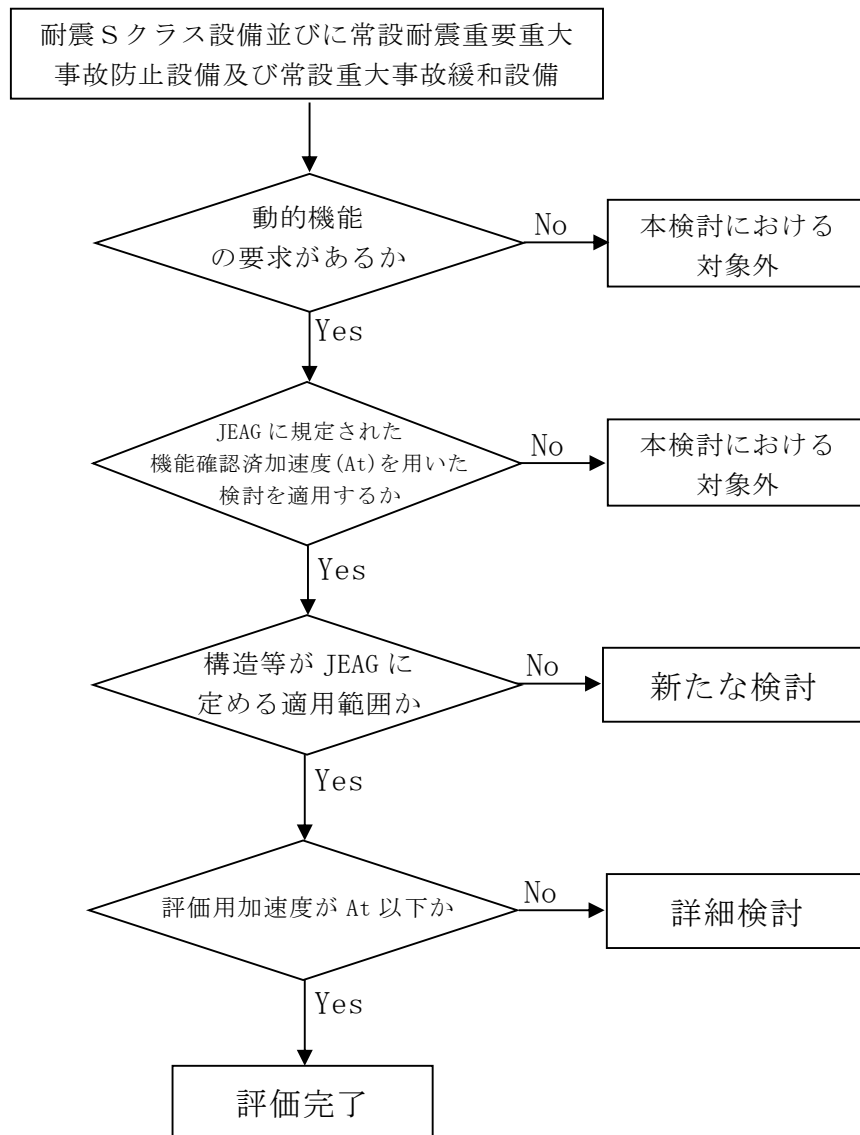
第1図に抽出フローを示す。検討対象設備について、J E A G 4601に定める適用機種に対して構造、作動原理等が同じであることを確認する。同じであることが確認できない場合は、新たな検討が必要な設備として抽出する。

さらに評価用加速度がJ E A G 4601及び既往の研究等^{*}により妥当性が確認されている値に定める機能確認済加速度以内であることの確認を行い、

機能確認済加速度を超える設備については詳細検討が必要な設備として抽出する。

上記の整理結果として別表 1 に検討対象設備を示すとともに、新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出のための情報として J E A G 4601 に該当する機種名等を整理した。

※ 電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究（平成 10 年度～平成 13 年度）」



第 1 図 検討が必要な設備の抽出フロー

(3) 抽出結果

第1表に新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出結果を示す。

新たな検討が必要となる設備として、Vベルトの方式の遠心ファン（以下「Vベルト式ファン」という。）となる中央制御室換気系空気調和機ファン、中央制御室換気系フィルタ系ファン及び非常用ガス処理系排風機並びに横形スクリー式ポンプ（以下「スクリー式ポンプ」という。）、横形ギヤ式ポンプ（以下「ギヤ式ポンプ」という。）として非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ、常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ及び緊急時対策所用発電機給油ポンプが該当する。

新たな検討が必要となる設備のうち、Vベルト式ファンについては、遠心直結式ファン又は遠心直動式ファンへの構造変更を行うため、動的機能維持評価のための新たな検討は不要となる。

また、評価用加速度が機能確認済加速度を超える設備として残留熱除去系海水系ポンプ、非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ並びにこれらポンプ用の電動機が該当する。

第1表(1) 新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出結果

機種名	設備名称	J E A G 4601 適用範囲 ○：可 ×：否（新たな 検討が必要）	At 確認 ○：OK ×：NG（詳細 検討が必要）
立形ポンプ	残留熱除去系ポンプ	○	○
	高圧炉心スプレイ系ポンプ	○	○
	低圧炉心スプレイ系ポンプ	○	○
	残留熱除去系海水系ポンプ	○	×
	非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ	○	×
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用 海水ポンプ	○	×
	緊急用海水ポンプ	○	○注1
横形ポンプ	原子炉隔離時冷却系ポンプ	○	○
	非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ	×	—
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃 料移送ポンプ	×	—
	常設低圧代替注水系ポンプ	○	○注1
	代替燃料プール冷却系ポンプ	○	○
	格納容器圧力逃がし装置移送ポンプ	○	○注1
	代替循環冷却系ポンプ	○	○
	常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ	×	—
	緊急時対策所用発電機給油ポンプ	×	—
ポンプ駆動用 タービン	原子炉隔離時冷却系ポンプ用駆動タービ ン	○	○
電動機	残留熱除去系ポンプ用電動機	○	○
	高圧炉心スプレイ系ポンプ用電動機	○	○
	低圧炉心スプレイ系ポンプ用電動機	○	○
	残留熱除去系海水系ポンプ用電動機	○	×
	ほう酸水注入ポンプ用電動機	○	○
	中央制御室換気系空気調和機ファン用電 動機	○	○

注1) 今後の設計進捗によって、評価用加速度の変更により At 確認結果が変更する可能性が有る。

第1表(2) 新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出結果

機種名	設備名称	J E A G 4601 適用範囲 ○：可 ×：否（新たな 検討が必要）	At 確認 ○：OK ×：NG（詳細 検討が必要）
電動機	中央制御室換気系フィルタ系ファン用電動機	○	○
	非常用ガス処理系排風機用電動機	○	○
	非常用ガス再循環系排風機用電動機	○	○
	可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ用電動機	○	○
	非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ用電動機	○	○注1
	非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ用電動機	○	×
	高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ用電動機	○	○注1
	高圧炉心スプレィ系ディーゼル発電機用海水ポンプ用電動機	○	×
	常設低圧代替注水系ポンプ用電動機	○	○注1
	代替燃料プール冷却系ポンプ用電動機	○	○
	格納容器圧力逃がし装置移送ポンプ用電動機	○	○注1
	代替循環冷却系ポンプ用電動機	○	○
	緊急用海水ポンプ用電動機	○	○注1
	緊急時対策所非常用送風機用電動機	○	○注1
	常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ用電動機	○	○注1
	緊急時対策所用発電機給油ポンプ用電動機	○	○注1
ファン	中央制御室換気系空気調和機ファン	×	—
	中央制御室換気系フィルタ系ファン	×	—
	非常用ガス処理系排風機	×	—
	非常用ガス再循環系排風機	○	○
	可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ	○	○
	緊急時対策所非常用送風機	○	○注1

注1) 今後の設計進捗によって、評価用加速度の変更により At 確認結果が変更する可能性が有る。

第1表(3) 新たな検討又は詳細検討が必要な設備の抽出結果

機種名	設備名称	J E A G 4601 適用範囲 ○：可 ×：否（新たな 検討が必要）	At 確認 ○：OK ×：NG（詳細 検討が必要）
非常用ディーゼル発電機	非常用ディーゼル発電機	○	○
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機	○	○
	非常用ディーゼル発電機調速装置及び非常用ディーゼル発電機非常調速装置	○	○
	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機調速装置及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機非常調速装置	○	○
往復動式ポンプ	ほう酸水注入ポンプ	○	○
制御棒	制御棒挿入性	○	○注2

注2) 地震応答解析結果から求めた燃料集合体変位が加振試験により確認された制御棒挿入機能に支障を与えない変位に対して下回ることを確認

2.2. 動的機能維持の検討

2.2.1 新たな検討が必要な設備の検討

(1) 新たな検討が必要な設備における動的機能維持の検討方針

新たな検討が必要な設備における動的機能維持の検討方針としては、技術基準規則解釈等の改正を踏まえて、公知化された検討として（社）日本電気協会 電気技術基準調査委員会の下に設置された原子力発電耐震設計特別調査委員会（以下「耐特委」という。）により取り纏められた類似機器における検討をもとに実施する。

具体的には、耐特委では動的機能の評価においては、対象機種ごとに現実的な地震応答レベルでの異常のみならず、破壊に至るような過剰な状態を念頭に地震時に考え得る異常状態を抽出し、その分析により動的機能上の評価点を検討し、機能維持を評価する際に確認すべき事項として、基本評価項目を選定している。

今回新たな検討が必要な設備については、基本的な構造は類似している機種／型式に対する耐特委での検討を参考に、型式による構造の違いを踏まえた上で地震時異常要因分析を実施し、基本評価項目を選定し機能維持評価を実施する。

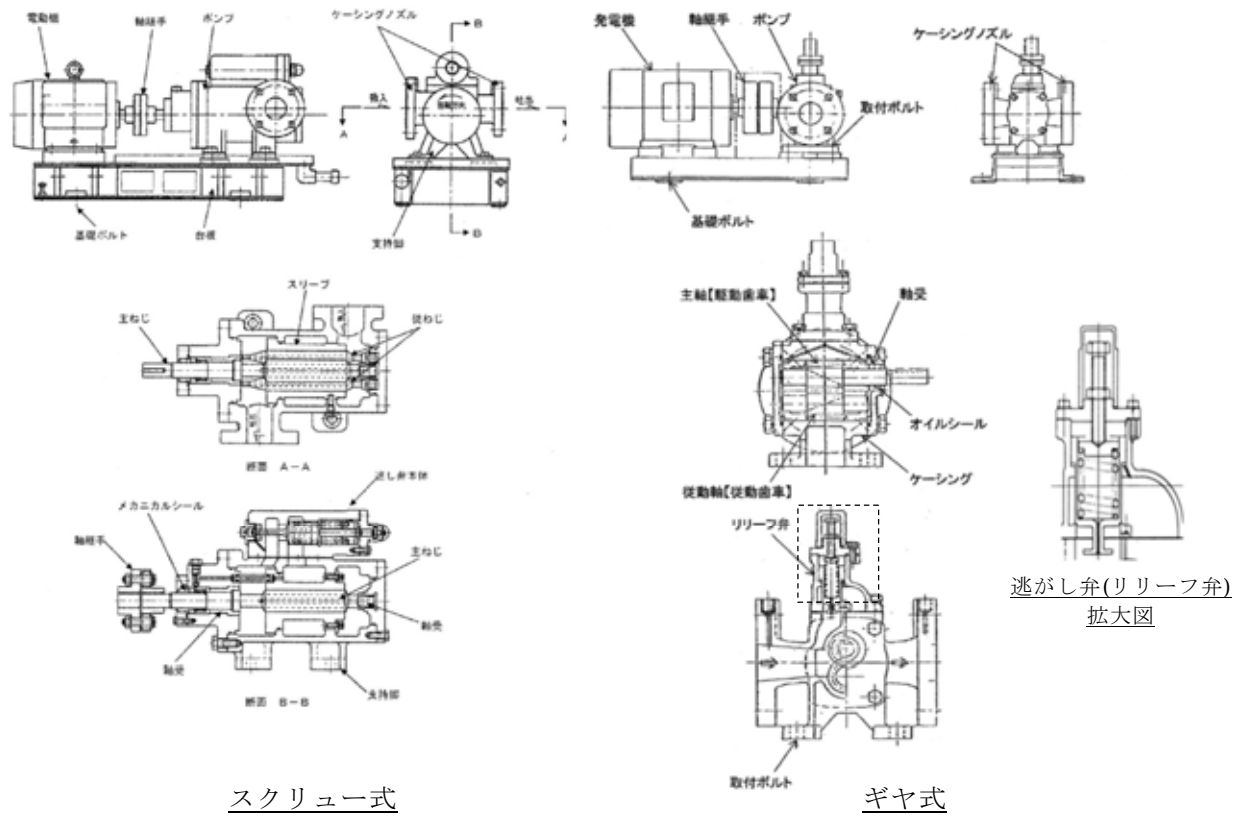
新たな検討が必要な設備において、参考とする機種／型式を第2表に示すとともに、第2図及び第3図に今回工認にて新たな検討が必要な設備及び耐特委で検討され新たな検討において参考とする設備の構造概要図を示す。

スクリー式及びギヤ式ポンプは、遠心式横形ポンプ（以下「遠心式ポンプ」という。）と内部流体の吐出構造が異なるが、電動機からの動力を軸継手を介してポンプ側に伝達する方式であること及びケーシング内にて軸系が回転し内部流体を吐出する機構を有しており基本構造が同じといえる。このため、スクリー式及びギヤ式ポンプについては、遠心式横形ポンプを参考とし、地震時異常要因分析を実施する。なお、非常用ディーゼ

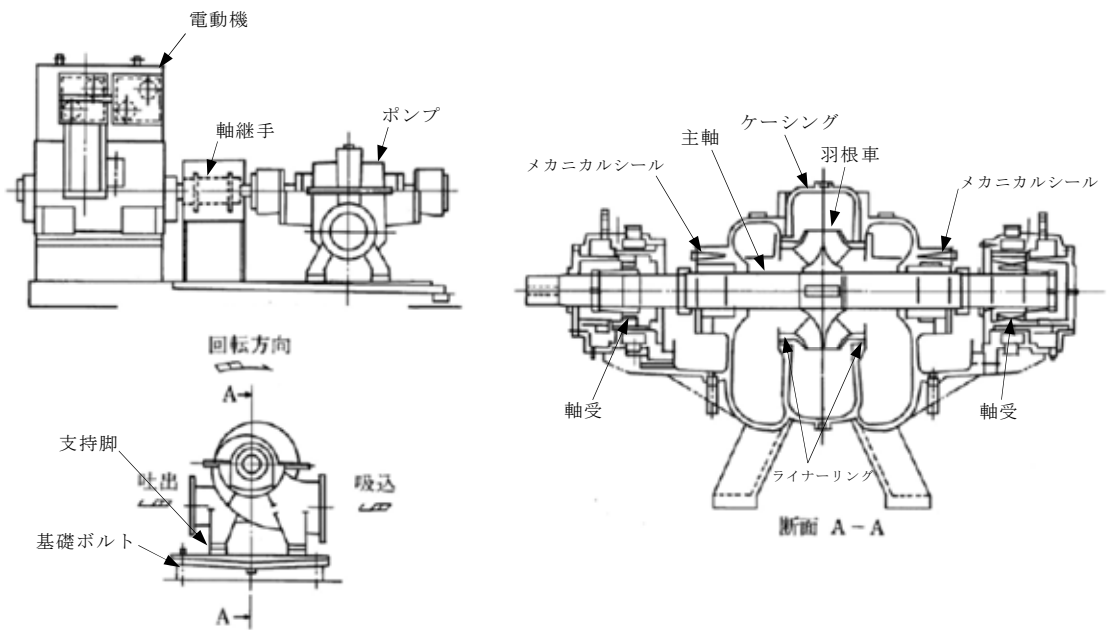
ル発電機燃料移送ポンプ，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ，常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ及び緊急時対策所用発電機給油ポンプについては，新規制基準により新たに動的機能要求が必要となり，評価する設備となる。

第2表 新たな検討が必要な設備において参考とする機種／型式

新たな検討が必要な設備	機種／型式	参考とする機種／型式
<ul style="list-style-type: none"> ・ 非常用ディーゼル発電機燃料移送ポンプ ・ 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機燃料移送ポンプ ・ 常設代替高圧電源装置燃料移送ポンプ 	横形ポンプ／スクリー式	横形ポンプ／単段遠心式
<ul style="list-style-type: none"> ・ 緊急時対策所用発電機給油ポンプ 	横形ポンプ／ギヤ式	



第2図 スクリュー式，ギヤ式ポンプ構造概要図

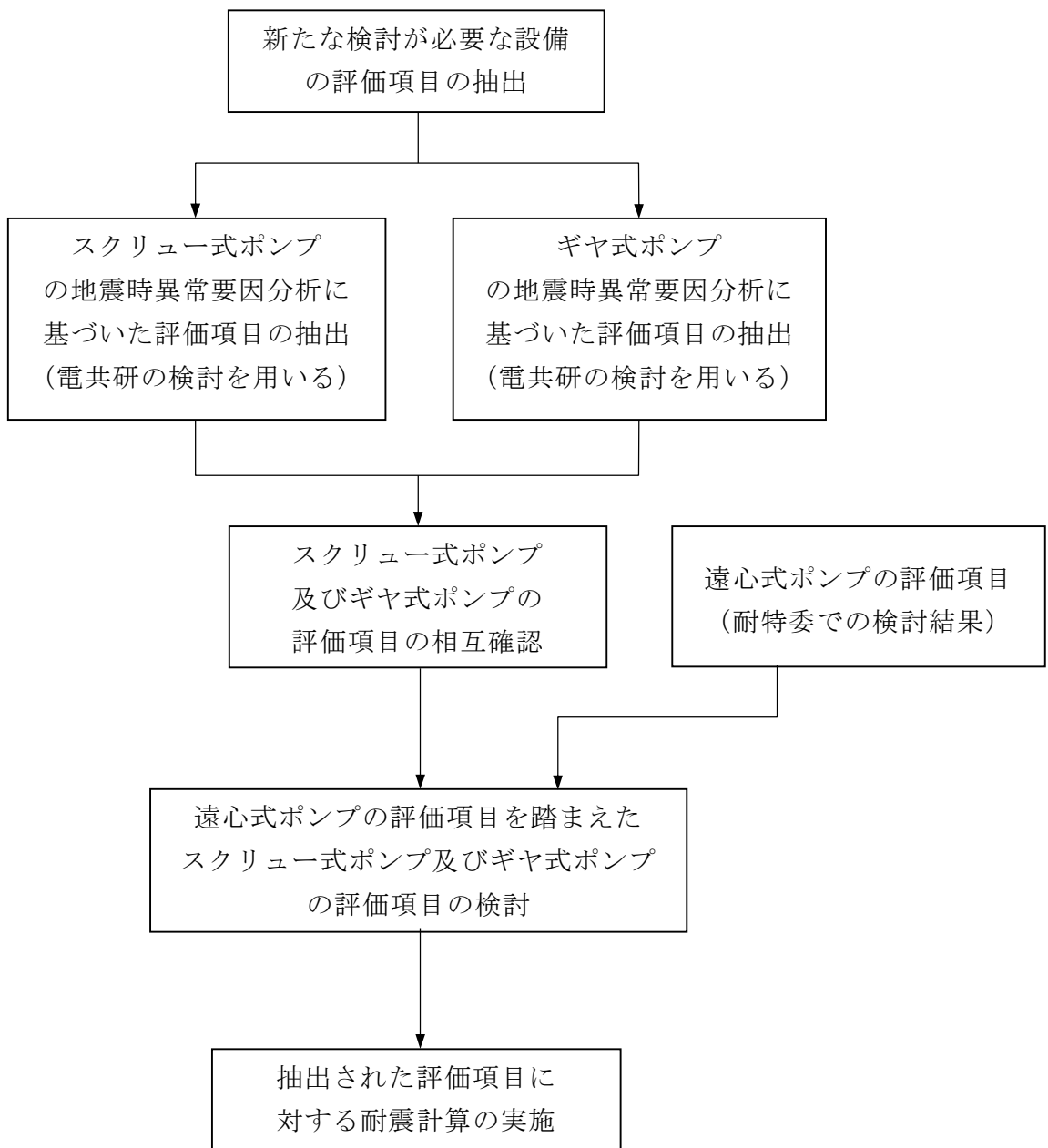


第3図 遠心式ポンプ構造概要図

4条-別紙13-10

(2) 新たな検討が必要な動的機能維持評価の評価項目の抽出

新たな検討が必要な設備として、スクリー式ポンプ及びギヤ式ポンプに対する地震時異常要因分析を踏まえて評価項目を抽出する。また当該検討において参考とする耐特委での機種／型式に対する評価項目を踏まえた検討を行う。動的機能維持評価のための評価項目の抽出フローを第4図に示す。



第4図 動的機能維持評価のための評価項目の抽出フロー

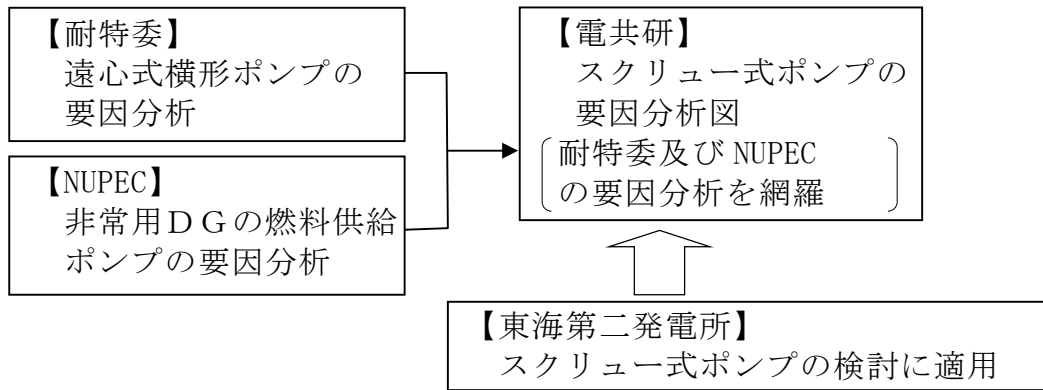
a. スクリュー式ポンプ及びギヤ式ポンプの地震時異常要因分析による評価項目の抽出

(a) スクリュー式ポンプの評価項目の抽出

スクリュー式ポンプの地震時異常要因分析図（以下「要因分析図」という。）及び評価項目は、電共研[※]での検討内容を用いる。電共研では第5図に示すとおり、耐特委における遠心式横形ポンプ及びNUPECにおける非常用DGの燃料供給ポンプに対する異常要因分析結果（非常用ディーゼル発電機システム耐震実証試験（1992年3月））を網羅するように、スクリュー式ポンプに対する地震時異常要因分析を行い、評価項目を抽出している。

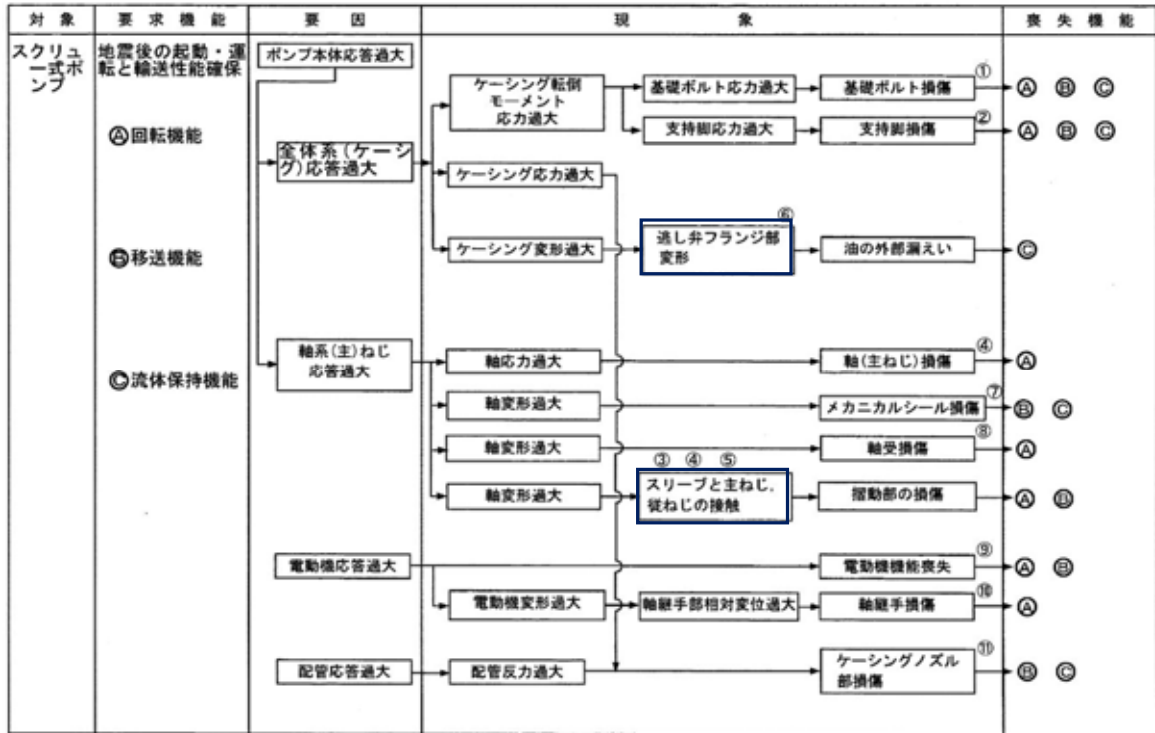
スクリュー式ポンプの要因分析図を第6図に示す。要因分析図に基づき抽出される評価項目は第3表のとおりである。

※ 動的機器の地震時機能維持の耐震余裕に関する研究（平成25年3月）



第5図 地震時異常要因分析の適用（スクリュー式ポンプ）

スクリー式ポンプとして抽出された評価項目



第 6 図 スクリュー式ポンプの地震時異常要因分析図

第3表 スクリュー式ポンプ要因分析図から抽出した評価項目

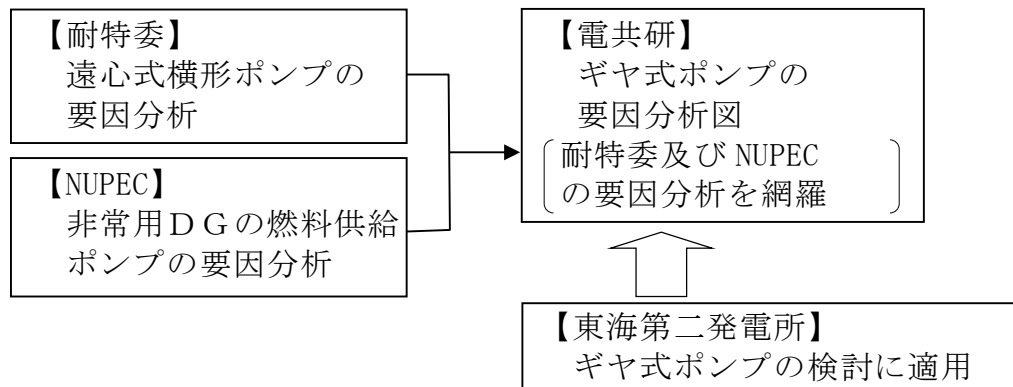
	評価項目	異常要因
①	基礎ボルト (取付ボルト含む)	ポンプ全体系の応答が過大となることで、転倒モーメントにより基礎ボルト(取付ボルトを含む)の応力が過大となり損傷に至り、全体系が転倒することで機能喪失する。
②	支持脚	ポンプ全体系の応答が過大となることで、転倒モーメントにより支持脚の応力が過大となり損傷に至り、全体系が転倒することで機能喪失する。
③ ④ ⑤	摺動部 (③スリーブ④主ねじ ⑤従ねじのクリアランス)	ポンプ全体系の応答が過大となることで、軸変形が過大となることによりスリーブと主ねじ又は従ねじが接触し、摺動部が損傷に至り回転機能及び移送機能が喪失する。
④	軸系(主ねじ)	軸応力が過大となり、軸が損傷することにより回転機能及び移送機能が喪失する。
⑥	逃がし弁	ケーシングの応答が過大となり逃がし弁フランジ部変形し油の外部漏えいに至る。
⑦	メカニカルシール	軸系ねじの応答過大により軸変形に至りメカニカルシールが損傷することにより移送機能及び流体保持機能が喪失する。
⑧	軸受	軸変形が過大となり、軸受が損傷することで回転機能及び移送機能が喪失する。
⑨	電動機	電動機の応答が過大になり電動機の機能が喪失することで、回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑩	軸継手	電動機の変形過大により軸受部の相対変位が過大となり、軸継手が損傷することで回転機能が喪失する。
⑪	ケーシングノズル	接続配管の応答が過大となり、ケーシングノズルが損傷することで移送機能及び流体保持機能が喪失する。

(b) ギヤ式ポンプの評価項目の抽出

ギヤ式ポンプの要因分析図及び評価項目は、電共研[※]での検討内容を用いる。電共研での検討内容を用いる。電共研では、第7図に示すとおり耐特委における遠心式横形ポンプ及びNUPECにおける非常用DGの燃料供給ポンプに対する異常要因分析結果（非常用ディーゼル発電機システム耐震実証試験（1992年3月））を網羅するように、ギヤ式ポンプに対する異常要因分析を行い、評価項目を抽出している。

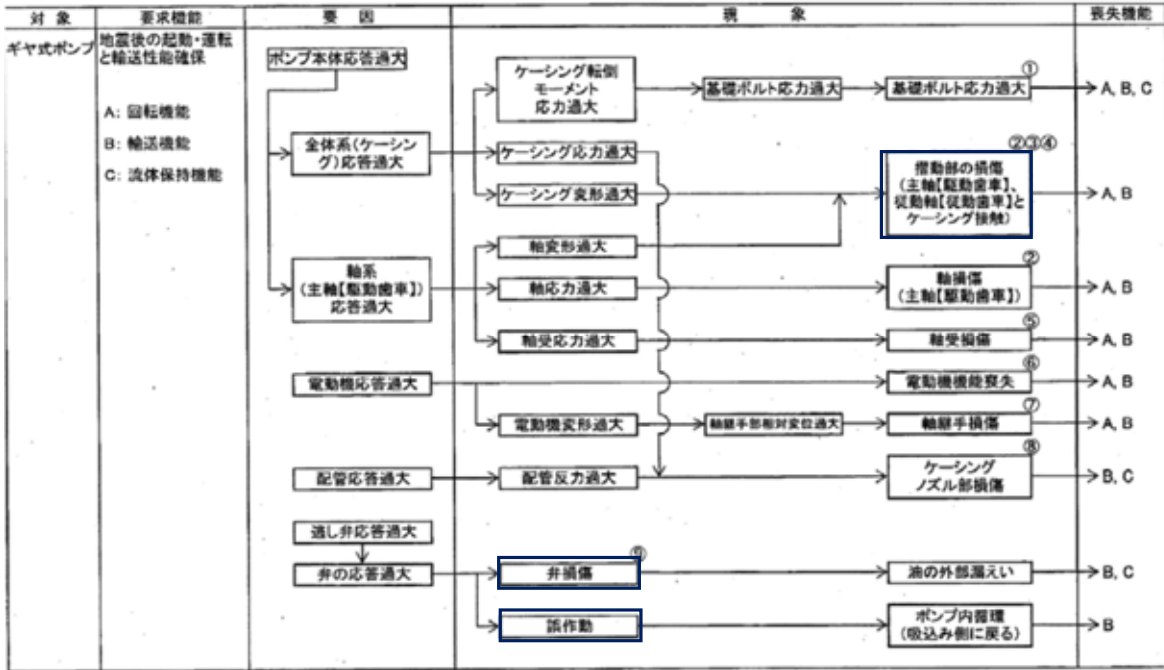
ギヤ式ポンプの要因分析図を第8図に示す。要因分析図に基づき抽出される評価項目は第4表のとおりである。

※ 動的機器の地震時機能維持の耐震余裕に関する研究（平成25年3月）



第7図 地震時異常要因分析の適用（ギヤ式ポンプ）

ギヤ式ポンプとして抽出された評価項目



第 8 図 ギヤ式ポンプの地震時異常要因分析図

第4表 ギヤ式ポンプ要因分析図から抽出した評価項目

	評価項目	異常要因
①	基礎ボルト (取付ボルト含む)	ポンプ全体系の応答が過大となることで、転倒モーメントにより基礎ボルト(取付ボルトを含む)の応力が過大となり損傷に至り、全体系が転倒することにより機能喪失する。
② ③ ④	摺動部 (②主軸又は③従動軸 と④ケーシングのクリアランス)	ポンプ全体系の応答が過大となることで、主軸(主動歯車)及び従動軸(従動歯車)の応答が過大となり軸部の変形により、ギヤがケーシングと接触することで損傷に至り、回転機能及び輸送機能が喪失する。
②	軸	軸応力が過大となり、軸が損傷することにより回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑤	軸受	軸受荷重が過大となり、軸受が損傷することで回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑥	電動機	電動機の応答が過大になり電動機の機能が喪失することで、回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑦	軸継手	被駆動機軸と電動機軸の相対変位が過大となり、軸継手が損傷することで回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑧	ケーシングノズル	接続配管の応答が過大となり、ケーシングノズルが損傷することで輸送機能及び流体保持機能が喪失する。
⑨	逃がし弁	弁の応答が過大となり、弁が損傷又は誤作動することで外部漏えい、ポンプ内循環が発生し、輸送機能及び流体保持機能が喪失する。

(c) スクリュー式ポンプ及びギヤ式ポンプの抽出した評価項目に対する相互確認

スクリュー式ポンプ及びギヤ式ポンプは、ポンプ構造が類似していることを踏まえて、各ポンプの評価項目の抽出結果を比較することにより、その検討結果について相互の確認を行う。

i) スクリュー式ポンプで抽出した評価項目に対してギヤ式ポンプで抽出されなかった評価項目

① 支持脚

ギヤ式ポンプはポンプケーシングに取付ボルト用のフランジが

直接取り付けられており構造上存在しない。

② メカニカルシール

ギヤ式ポンプはメカニカルシールを有しない構造である。

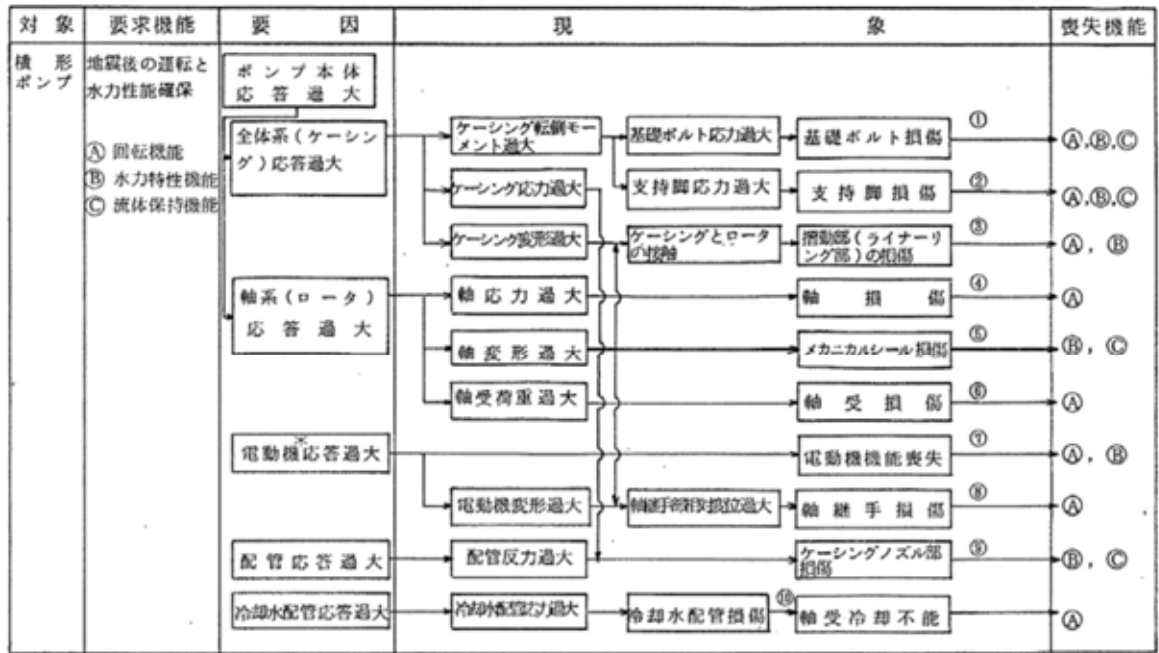
- ii) ギヤ式ポンプで抽出した評価項目に対してスクリー式ポンプで抽出されなかった評価項目

③ 逃がし弁（移送機能）

スクリー式ポンプについても逃がし弁が設置されており，誤作動すればギヤ式ポンプと同様に移送機能に影響を与えることからスクリー式ポンプについても評価項目として選定する。

- b. 耐特委で検討された遠心式ポンプの地震時異常要因分析による評価項目

新たな検討が必要な設備としてスクリー式ポンプ及びギヤ式ポンプの評価項目の検討において，公知化された検討として参考とする耐特委での遠心式ポンプの要因分析図を第9図に，要因分析図から抽出される評価項目を第5表に示す。



* 駆動用タービンの場合も同様。また、増速機も含む。

第9図 遠心式ポンプの地震時異常要因分析図

第5表 遠心式ポンプ要因分析図から抽出した評価項目

	評価項目	異常要因
① ②	基礎ボルト(取付ボルト含む), 支持脚	ポンプ全体系の応答が過大となることで, 転倒モーメントにより基礎ボルト(取付ボルト含む)の応力が過大となり損傷に至り, 全体系が転倒することにより機能喪失する。 またポンプ全体系の応答が過大となることで, 支持脚の応力が過大となり損傷に至り, ポンプが転倒することにより機能喪失する。
③	摺動部 (インペラとライナーリングのクリアランス)	軸変形が過大となり, インペラがライナーリングと接触することで損傷に至り, 回転機能及び輸送機能が喪失する。
④	軸	軸応力が過大となり, 軸が損傷することにより回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑤	メカニカルシール	軸変形が過大となり, メカニカルシールが損傷することにより流体保持機能が喪失する。
⑥	軸受	軸受荷重が過大となり, 軸受が損傷することで回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑦	電動機	電動機の応答が過大になり電動機の機能が喪失することで, 回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑧	軸継手	被駆動器軸と電動機軸の相対変位が過大となり, 軸継手が損傷することで回転機能及び輸送機能が喪失する。
⑨	ケーシングノズル	接続配管の応答が過大となり, ケーシングノズルが損傷することで輸送機能及び流体保持機能が喪失する。
⑩	軸冷却水配管	冷却水配管の応答が過大となり, 損傷することで軸冷却不能に至り, 回転機能が喪失する。

c. 遠心式ポンプの評価項目を踏まえたスクリー式ポンプ及びギヤ式ポンプの評価項目の検討

(a) スクリー式ポンプの評価項目の検討

スクリー式ポンプの要因分析結果について, 耐特委における遠心式ポンプの要因分析結果と同様に整理した結果, スクリー式ポンプの評価項目は, 遠心式ポンプとほぼ同様となった。スクリー式ポンプの動的機能維持の評価項目の抽出にあたり, 遠心式ポンプの耐特委における評価項目

に加え、構造の差異により抽出されたスクリー式ポンプの評価項目を加えて検討を行う。なお、構造の差異として抽出された評価項目は下記の通りである。

- ・逃がし弁（遠心式ポンプの評価項目になくスクリー式ポンプのみで抽出）
- ・摺動部（スクリー式ポンプ及び遠心式ポンプの両方で抽出された評価項目であるが、構成部品が異なる。）
- ・軸冷却水配管（スクリー式ポンプの評価項目になく遠心式ポンプのみで抽出）

耐特委で検討された遠心式ポンプは、大型のポンプであり軸受としてすべり軸受を採用していることから、軸受の冷却が必要となる。このため、地震により軸冷却水配管の損傷に至ればポンプの機能維持に影響を及ぼすため、軸冷却水配管を評価項目として抽出している。一方でスクリー式ポンプの標準設計として、軸冷却水配管を有していない。軸冷却水配管は軸受の冷却のため設置されるが、スクリー式ポンプの軸受は内部流体で冷却が可能であるため、軸冷却水配管は設置されていない。

① 基礎ボルト（取付ボルトを含む）の評価

スクリー式ポンプは遠心式ポンプと同様に、基礎ボルトで固定された架台の上に、駆動機器及び被駆動機器が取付ボルトに設置されており、地震時に有意な荷重がかかることから動的機能維持の評価項目として選定する。

② 支持脚部の評価

支持脚部については、スクリー式ポンプと遠心式ポンプとで構造に大きな違いはなく、高い剛性を有するためにケーシング定着部に荷重がかかる構造となっている。このため、取付ボルト及び基礎ボルトが評価上

厳しい部位であるため、取付ボルト及び基礎ボルトの評価で代表できる。

③ 摺動部の評価

摺動部の損傷の観点より、遠心式ポンプの検討におけるケーシングと接触して損傷するライナーリング部の評価を行うのと同様に、スクリー式ポンプにおける評価項目を以下のとおり選定する。

スクリー式ポンプのスクリー部は、構造が非常に剛であり、地震応答増幅が小さく動的機能評価上重要な部分の地震荷重が通常運転荷重に比べて十分小さいと考えられる。また、スリーブ部については、ケーシング部に設置されている。

主ねじ又は従ねじについては、損傷によってスリーブ部と接触することで回転機能及び輸送機能が喪失に至ることが考えられるため、動的機能維持の評価項目として選定する。

④ 軸系の評価

スクリー式ポンプは主ねじ及び従ねじを有する構造であり、一軸構造の遠心式ポンプとは軸の構造が異なるが、軸系の損傷によってポンプとしての機能を喪失することは同様である。このため、スクリー式ポンプにおいても、遠心式ポンプと同様に、軸損傷が発生しないことを確認するため、軸系の評価を動的機能維持の評価項目として選定する。

⑥ 逃がし弁の評価

逃がし弁はばね式であり、フランジ部の構造評価に対する確認も含め、弁に作用する最大加速度が、安全弁の動的機能維持確認済加速度以下であることを確認する。

⑦ メカニカルシール

メカニカルシールは、高い剛性を有するケーシングに固定されており、地震時に有意な変位が生じない。また軸封部は軸受近傍に位置し、軸は地震時でも軸受で支持されており、有意な変位は生じることはなく、軸

封部との接触は生じないため、計算書の対象外とする。

⑧ 軸受の評価

ポンプにおいて、軸受の役割は回転機能の保持であり、その役割はスクリー式ポンプも遠心式ポンプも同じである。当該軸受が損傷することにより、ポンプの機能喪失につながるため、動的機能維持の評価項目として選定する。また、評価においては発生する荷重としてスラスト方向及びラジアル方向の荷重を考慮して評価を行う。

⑨ 電動機の評価

スクリー式ポンプの電動機は横向きに設置されるころがり軸受を使用する電動機であり、耐特委（J E A G 4601）で検討されている横型ころがり軸受電動機の適用範囲内であることから、動的機能維持済加速度との比較により評価を行う。

⑩ 軸継手の評価

スクリー式ポンプは、遠心式ポンプと同様に、軸受でスラスト荷重を受け持つこと及びフレキシブルカップリングを採用していることから、軸継手にはスラスト荷重による有意な応力が発生しないため、計算書の評価対象外とする。

⑪ ケーシングノズルの評価

スクリー式ポンプのケーシングノズル部は、遠心式ポンプと同様に、ポンプケーシングと配管の接続部であるが、ノズル出入口配管のサポートについて適切に配管設計することで、ノズル部に過大な配管荷重が伝わらないため、計算書の評価対象外とする。

以上から、スクリー式ポンプにおいて抽出される動的機能維持の評価項目のうち、計算書の評価対象とするものは以下の通りである。

- ・基礎ボルト及び取付ボルトの評価

- ・摺動部（軸系）の評価
- ・軸系としてねじの評価
- ・逃がし弁の評価
- ・軸受の評価
- ・電動機の評価

(b) ギヤ式ポンプの評価項目の検討

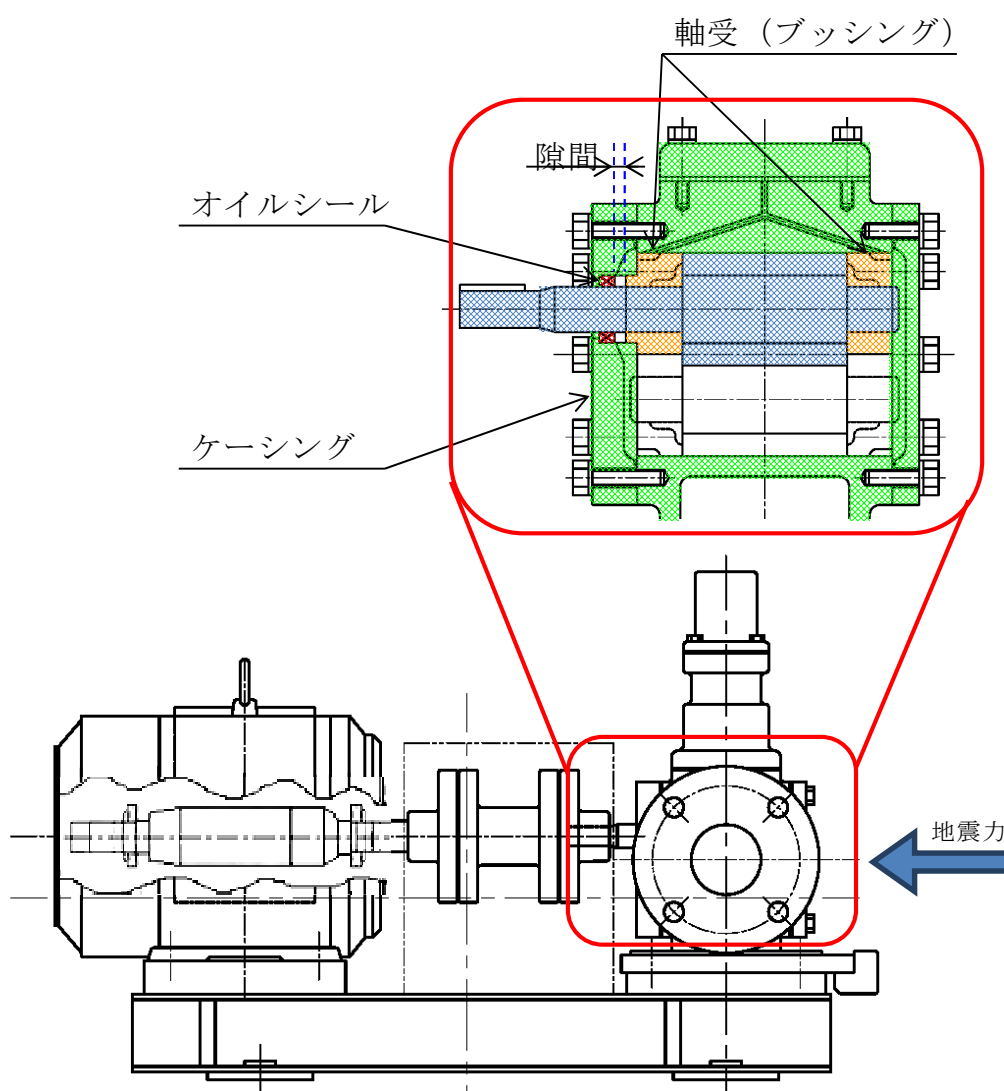
ギヤ式ポンプの要因分析結果について、耐特委における遠心式ポンプの要因分析結果と同様に整理した結果、ギヤ式ポンプの評価項目は、遠心式ポンプとほぼ同様となる。ギヤ式ポンプの動的機能維持の評価項目の抽出にあたり、遠心式ポンプの耐特委における評価項目に加え、構造の差異により抽出されたギヤ式ポンプの評価項目を加えて検討を行う。なお、構造の差異として抽出された評価項目は下記の通りである。

- ・逃がし弁（遠心式ポンプの評価項目になくギヤ式ポンプのみで抽出）
- ・摺動部（ギヤ式ポンプと遠心式ポンプの両方で抽出された評価項目であるが、構成部品が異なる。）
- ・メカニカルシール（ギヤ式ポンプの評価項目になく遠心式ポンプのみで抽出）
- ・軸冷却水配管（ギヤ式ポンプの評価項目になく遠心式ポンプのみで抽出）

耐特委で検討された遠心式ポンプは、大型のポンプであり軸受としてすべり軸受を採用していることから、軸受の冷却が必要となる。このため、地震により軸冷却水配管の損傷に至ればポンプの機能維持に影響を及ぼすため、軸冷却水配管を評価項目として抽出している。一方でスクリー式ポンプの標準設計として、軸冷却水配管を有していない。軸冷却水配管は軸受の冷却のため設置されるが、スクリー式ポンプの軸受は内部流体で

冷却が可能であるため、軸冷却水配管は設置されていない。

また、ギヤ式ポンプは軸封部の標準設計としてオイルシールを採用している（第 10 図参照）。オイルシールはケーシングと軸受（ブッシング）で形成される隙間部に挿入される形態で取り付けられており、オイルシールとブッシングの間には隙間がある構造であるため、地震荷重は軸受（ブッシング）を通してケーシングに伝達されることから、ケーシングと軸受（ブッシング）が健全であれば、オイルシールが損傷することはないことから、地震時異常要因分析による評価項目に選定されていない。



設計進捗により構造変更の可能性有り。

第 10 図 ギヤ式ポンプの標準的な構造概要図

① 基礎ボルト（取付ボルトを含む）の評価

ギヤ式ポンプは遠心式ポンプと同様に、基礎ボルトで固定された架台の上に、駆動機器及び被駆動機器が取付ボルトに設置されており、地震時に有意な荷重がかかることから動的機能維持の評価項目として選定する。

②③④ 摺動部の評価

摺動部の損傷の観点より、遠心式ポンプの検討におけるケーシングと接触して損傷するライナーリング部の評価を行うのと同様に、ギヤ式ポンプにおける評価項目を以下のとおり選定する。

ギヤ式ポンプのギヤ部は、構造が非常に剛であり、地震応答増幅が小さく動的機能評価上重要な部分の地震荷重が通常運転荷重に比べて十分小さいと考えられる。また、ケーシングについては、横形ポンプと同様に耐圧構造であり、使用圧力に耐えられる強度の肉厚を有している。

主軸又は従動軸については、損傷によってギヤがケーシングと接触することで回転機能及び輸送機能が喪失に至ることが考えられる。主軸の重量は、従動軸の重量に比べ大きく、軸を支持する距離は双方の軸で同じであるため、評価項目は、主軸（ギヤ部）を対象として行う。

② 主軸の評価

ギヤ式ポンプは二軸（主軸及び従動軸）構造であり、一軸構造の横形ポンプとは軸の構造が異なるが、主軸の重量は、従動軸に比べ大きく、軸を支持する距離は双方の軸で同じであるため、主軸の健全性確認を行うことによって、一軸構造の横形ポンプと同様の見解が適用できるものである。そのため、ギヤ式ポンプにおいても、遠心式ポンプと同様に、軸損傷が発生しないことを確認するため、主軸の評価を動的機能維持の評価項目として選定する。

⑤ 軸受の評価

ポンプにおいて、軸受の役割は「回転機能の保持」であり、その役割は遠心ポンプもギヤ式ポンプも同じである。

当該軸受が損傷することにより、ポンプの機能喪失につながるため、動的機能維持の評価項目として選定する。また、評価においては発生する荷重としてスラスト方向及びラジアル方向の荷重を考慮して評価を行う。

なお、遠心式ポンプは「ころがり軸受」を用いており、「回転機能の保持」という役割を果たすために、ベアリング内外輪間に鋼球を装備した回転機構を有する構造となっている。

一方、ギヤ式ポンプは「ブッシング」を用いており、「ころがり軸受」と同様に「回転機能の保持」という役割を果たすために、軸とブッシング間に形成された油膜によるスベリ支持を有する構造となっている。

⑥ 電動機の評価

ギヤ式ポンプの電動機は横向きに設置されるころがり軸受を使用する電動機であり、耐特委（JEAG4601）で検討されている横型ころがり軸受電動機の適用範囲内であることから、動的機能維持済加速度との比較により評価を行う。

⑦ 軸継手の評価

ギヤ式ポンプは、遠心式ポンプと同様に、軸受でスラスト荷重を受け持つこと及びフレキシブルカップリングを採用していることから、軸継手にはスラスト荷重による有意な応力が発生しないため、計算書の評価対象外とする。

⑧ ケーシングノズルの評価

ギヤ式ポンプのケーシングノズル部は、遠心式ポンプと同様に、機器と配管の接続部であるが、ノズル出入口配管のサポートについて適切に配管設計することで、ノズル部に過大な配管荷重が伝わらないため、計算

書の評価対象外とする。

⑨ 逃がし弁の評価

逃がし弁はばね式であるため、弁に作用する最大加速度が、安全弁の動的機能維持確認済加速度以下であることを確認する。

以上から、ギヤ式ポンプにおいて抽出される動的機能維持の評価項目のうち、計算書の評価対象とするものは以下の通りである。

- ・基礎ボルト（取付ボルトを含む）の評価
- ・主軸（ギヤ部）の評価
- ・主軸の評価
- ・軸受の評価
- ・電動機の評価
- ・逃がし弁の評価

(3) まとめ

新たな検討が必要な設備について、地震時要因分析を行い、基本的な機構造が類似している機種／型式に対する耐特委での検討を参考に、型式による構造の違いを踏まえた上で地震時異常要因分析を行い、評価項目の抽出を行った。

また、耐特委における遠心式ポンプの評価項目に対して、スクリー式ポンプ及びギヤ式ポンプは、一部構造の異なる部位があるが、これら部位に対する評価方法については、耐特委で検討された遠心式ポンプにおける評価手法と同様であること、既往の評価方法を踏まえて実施が可能であることから、耐特委の検討をもとに参考とする遠心式ポンプをベースとした評価は可能であると考える。