

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

|                         |                 |
|-------------------------|-----------------|
| 柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料 |                 |
| 資料番号                    | KK7補足-019-2 改13 |
| 提出年月日                   | 2020年8月25日      |

資料2

津波への配慮に関する説明書に係る補足説明資料

2020年8月

東京電力ホールディングス株式会社

## 補足説明資料目次

### I. はじめに

#### 1. 入力津波の評価

- 1.1 潮位観測記録の評価について
- 1.2 遡上・浸水域の評価の考え方について
- 1.3 港湾内の局所的な海面の励起について
- 1.4 管路解析のモデルについて
- 1.5 入力津波の不確かさの考慮について
- 1.6 遡上解析のモデルについて

#### 2. 津波防護対象設備

- 2.1 津波防護対象設備の選定及び配置について
- 2.2 タービン建屋における耐震Sクラス設備の浸水影響について
- 2.3 耐津波設計における浸水防護重点化範囲との境界について

#### 3. 取水性に関する考慮事項

- 3.1 砂移動による影響確認について
- 3.2 原子炉補機冷却海水ポンプの波力に対する強度評価について
- 3.3 除塵装置の取水性への影響について
- 3.4 常用海水ポンプ停止手順について

#### 4. 漂流物に関する考慮事項

- 4.1 設計に用いる遡上波の流速について
- 4.2 漂流物による影響確認について
- 4.3 燃料等輸送船の係留索の耐力について
- 4.4 燃料等輸送船の喫水と津波高さの関係について
- 4.5 浚渫船の係留可能な限界流速について
- 4.6 漂流物の衝突荷重算定式の適用性について
- 4.7 漂流物衝突を考慮した津波防護施設の設計について

5. 浸水防護施設の設計における補足説明

- 5.1 耐津波設計における現場確認プロセスについて
- 5.2 津波監視設備の設備構成及び電源構成について
- 5.3 スロッシングによる海水貯留堰貯水量に対する影響評価について
- 5.4 浸水防護施設の漏えい試験について
- 5.5 津波による溢水に対して浸水対策を実施する範囲の考え方について
- 5.6 復水器水室出入口弁の津波に対する健全性について
- 5.7 タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の津波に対する健全性について

6. 工事計画変更認可後の変更手続き

- 6.1 工事計画変更認可後の変更手続きの要否について

## 5.6 復水器水室出入口弁の津波に対する健全性について

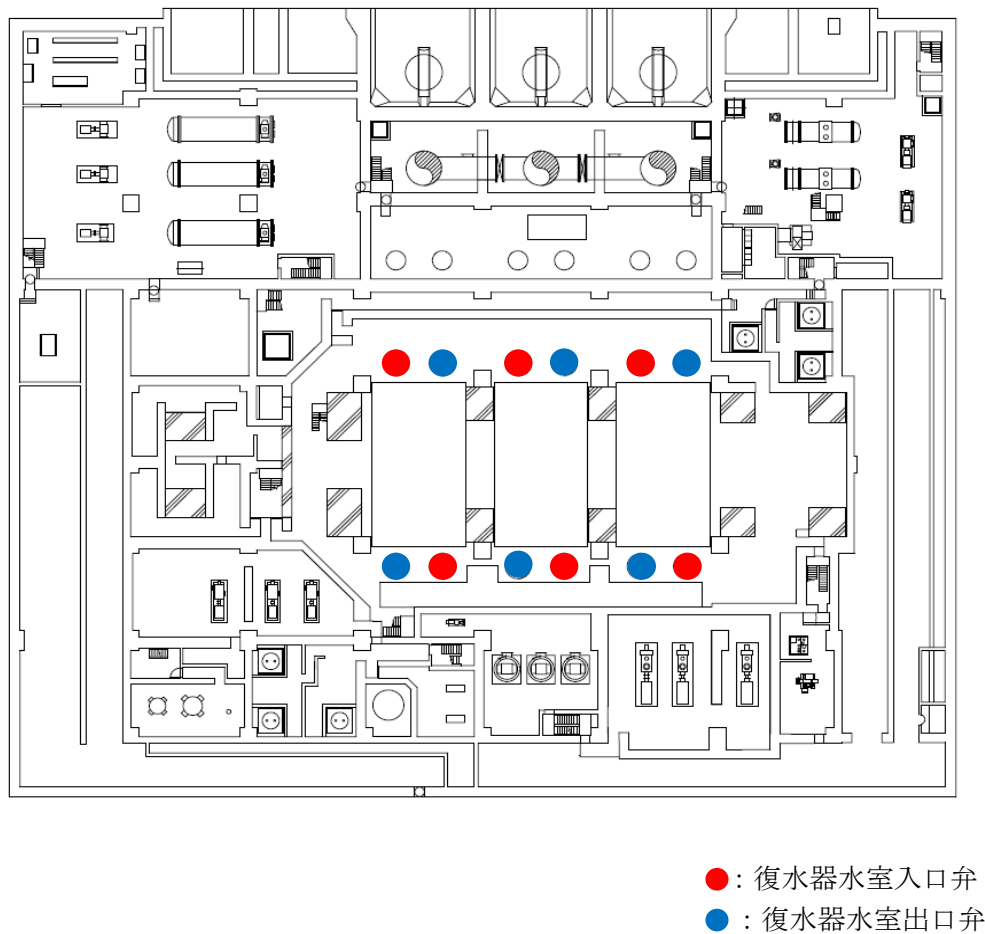
## 1. 概要

本資料は、内部溢水対策となる復水器水室出入口弁が、溢水発生後の津波による浸水荷重（以下「津波荷重」という。）及び余震を考慮した荷重に対し、構造健全性を有することを確認するものである。

## 2. 一般事項

### 2.1 配置計画

対象施設となる復水器水室出入口弁の配置計画を図2-1に示す。



タービン建屋 T.M.S.L. -5100mm

図2-1 配置計画

## 2.2 構造計画

復水器水室出入口弁は、電動バタフライ弁であり、弁体を回転し弁座に密着することで止水する。電動バタフライ弁の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

| 設備名称      | 計画の概要    |                                 |                       | 概略構造図                        |
|-----------|----------|---------------------------------|-----------------------|------------------------------|
|           | 型式       | 主体構造                            | 支持構造                  |                              |
| 復水器水室出入口弁 | 電動バタフライ弁 | 弁体を含む弁本体, 弁体を電動にて駆動する駆動部で構成される。 | 循環水配管に設置され, 配管に支持される。 | <p>A-A 断面図</p> <p>弁設置位置図</p> |

### 3. 評価震度

#### 3.1 評価震度の解析方法

解析モデルは、V-2-別添 2-5「復水器水室出入口弁の耐震性についての計算書」と同一とする。

#### 3.2 設計震度の計算条件

##### (1) 設計条件

| 評価対象     | 最高使用<br>圧力 (MPa) | 最高使用<br>温度<br>(°C) | 外径<br>(mm) | 配管厚さ<br>(mm) | 材料    | 縦弾性係数<br>(MPa) |
|----------|------------------|--------------------|------------|--------------|-------|----------------|
| 復水器水室入口弁 | 0.37             | 40                 | 2626.0     | 13.0         | SS400 | 201667         |
| 復水器水室出口弁 | 0.35             | 40                 | 2626.0     | 13.0         | SS400 | 201667         |

##### (2) 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線はV-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定した弾性設計用地震動 (Sd) のものを用いる。また、減衰定数はV-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

| 建屋・構築物 | 標高                   | 減衰定数 (%) |
|--------|----------------------|----------|
| タービン建屋 | T. M. S. L. -5100 mm | 0.5      |

### 3.3 設計震度の計算結果

復水器水室入口弁弁体部の評価震度を以下に示す。

| 適用する地震動等           | S d                  |      |                      |
|--------------------|----------------------|------|----------------------|
|                    | 応答水平震度* <sup>1</sup> |      | 応答鉛直震度* <sup>1</sup> |
| 動的解析結果             | X 方向                 | Z 方向 | Y 方向                 |
|                    |                      | 1.79 | 1.82                 |
| 動的震度* <sup>2</sup> | 0.48                 |      | 0.44                 |

注記\*1：動的解析から得られる各方向の震度。

\*2：剛領域の振動モードの影響を考慮する観点から設置床の最大応答加速度を 1.2 倍した震度 (1.2ZPA)

復水器水室出口弁弁体部の評価震度を以下に示す。

| 適用する地震動等           | S d                  |      |                      |
|--------------------|----------------------|------|----------------------|
|                    | 応答水平震度* <sup>1</sup> |      | 応答鉛直震度* <sup>1</sup> |
| 動的解析結果             | X 方向                 | Z 方向 | Y 方向                 |
|                    |                      | 1.79 | 1.82                 |
| 動的震度* <sup>2</sup> | 0.48                 |      | 0.44                 |

注記\*1：動的解析から得られる各方向の震度。

\*2：剛領域の振動モードの影響を考慮する観点から設置床の最大応答加速度を 1.2 倍した震度 (1.2ZPA)

各モードの固有周期及び刺激係数

(1) 復水器水室入口弁及び循環水配管

| モード | 固有周期(s) | 刺激係数* |       |       |
|-----|---------|-------|-------|-------|
|     |         | X 方向  | Y 方向  | Z 方向  |
| 1 次 | 0.113   | 0.832 | 0.086 | 0.461 |
| 2 次 | 0.110   | 0.520 | 0.000 | 0.937 |

注記\*：刺激係数は、固有ベクトルの最大値を 1 で正規化して得られる値を示す。

(2) 復水器水室出口弁及び循環水配管

| モード | 固有周期(s) | 刺激係数* |       |       |
|-----|---------|-------|-------|-------|
|     |         | X 方向  | Y 方向  | Z 方向  |
| 1 次 | 0.112   | 0.828 | 0.086 | 0.459 |
| 2 次 | 0.110   | 0.520 | 0.000 | 0.938 |

注記\*：刺激係数は、固有ベクトルの最大値を 1 で正規化して得られる値を示す。



#### 4. 構造強度評価

##### 4.1 荷重の設定

###### (a) 突き上げ津波荷重 ( $P_t$ )

突き上げ津波荷重として、津波流入を想定した流速成分による荷重と、経路からの津波に伴う水位を用いた静水圧を考慮し、以下の式より算出する。

$$P_t = 1/2 \cdot C_p \cdot \rho_0 \cdot U^2 + \rho_0 \cdot g \cdot H$$

$P_t$  : 突き上げ津波荷重

$\rho_0$  : 海水の密度

$U$  : 流速 (津波流速を保守側に設定)

$C_p$  : 抗力係数 (2.01\*)

$g$  : 重力加速度

$H$  : 評価高さ (最高津波高さ－設置位置高さ)

\* 出典: 津波漂流物対策ガイドライン 表-3.4.7 抗力係数 (H26.3 沿岸技術研究センター)

###### (b) 余震荷重 ( $K S_d$ )

余震荷重は、弾性設計用地震動  $S_d$  に伴う力とする。

余震に伴う加速度で弁体に発生する慣性力と、余震による動水圧荷重を考慮し、以下の式より算出する。弁体 (閉止状態) 及び配管の内面に加わる圧力荷重として評価。

$$K S_d = m \cdot g \cdot \alpha_v / A + \rho_0 \cdot \alpha_v \cdot g \cdot H$$

$K S_d$  : 余震荷重

$m$  : 弁体部質量

$g$  : 重力加速度

$\alpha_v$  : 弁体部の鉛直方向余震震度

$A$  : 弁体受圧面投影面積 ( $= \pi D_i^2 / 4$       $D_i$  : 配管内径)

$\rho_0$  : 海水の密度

$H$  : 評価高さ (最高津波高さ－設置位置高さ)

###### (c) 固定荷重 ( $D$ )

常時作用する荷重として、弁体の自重を考慮する。

#### 4.2 荷重の組合せ

復水器水室出入口弁の強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 4-1 に示す。

表 4-1 復水器水室出入口弁の強度評価にて考慮する荷重の組合せ

| 施設区分   | 機器名称      | 荷重の組合せ                   |
|--------|-----------|--------------------------|
| 浸水防護施設 | 復水器水室出入口弁 | $D + P_t + K S_d^{*1*2}$ |

注記\*1 : Dは固定荷重,  $P_t$ は突き上げ津波荷重,  $K S_d$ は余震荷重を示す。

\*2 : 固定荷重 (D) 及び余震荷重 ( $K S_d$ ) の組み合わせが, 強度評価上, 突き上げ津波荷重 ( $P_t$ ) を緩和する方向に作用する場合, 保守的にこれらを組み合わせない評価を実施する。

#### 4.3 許容限界

復水器水室出入口弁については, 水圧試験により確認した圧力を許容値として用いる。

表 4-2 復水器水室出入口弁 許容限界

| 評価部位     | 水圧試験の圧力 (MPa) |
|----------|---------------|
| 復水器水室入口弁 | 0.37          |
| 復水器水室出口弁 | 0.35          |

#### 4.4 計算条件

復水器水室出入口弁の構造健全性評価に用いる計算条件を表 4-3～表 4-5 に示す。

表 4-3 復水器水室出入口弁の構造健全性評価に用いる計算条件

| 弁体の材質 | 弁体の質量<br>$m_1$<br>(kg) | 弁体受圧面の外径<br>(配管内径)<br>$D_1$<br>(mm) |
|-------|------------------------|-------------------------------------|
| SS400 | 4000                   | 2600                                |

| 重力加速度<br>$g$<br>( $m/s^2$ ) | 海水の密度<br>$\rho_0$<br>( $kg/m^3$ ) |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| 9.80665                     | 1030                              |

表 4-4 復水器水室出入口弁の構造健全性評価に用いる流速条件

|                       | 復水器水室入口弁 | 復水器水室出口弁 |
|-----------------------|----------|----------|
| 突き上げ津波荷重評価流速 $U(m/s)$ | 2.0      | 1.0      |

注記：復水器水室出入口弁が閉止されている状態では、弁体部に流れはないが、保守側に取放水路の立抗部開放空間の水位上昇速度を用いる。

表 4-5 復水器水室出入口弁の構造健全性評価に用いる評価高さ

|          | T. M. S. L. (m) |          |
|----------|-----------------|----------|
|          | 復水器水室入口弁        | 復水器水室出口弁 |
| 最高津波高さ*1 | 7.2             | 10.3     |
| 設置位置高さ*2 | -5.1            | -5.1     |
| 評価高さ $H$ | 12.3            | 15.4     |

注記\*1：「取水路からの津波の流入評価結果」のうち循環水系取水路点検用立抗の入力津波高さ、及び「放水路からの津波の流入評価結果」のうち循環水系放水庭の入力津波高さ(V-1-1-3-2-4 入力津波による津波防護対象設備への影響評価)。

\*2：保守的に復水器水室出入口弁を設置する床高さとする。

## 5. 評価結果

### 5.1 評価結果

#### (1) 構造健全性評価

復水器水室出入口弁の構造健全性評価結果を表5-1に示す。発生圧力が、有意な変形及び著しい漏えいがないことを確認した水圧試験圧力以下であることから、評価部位である復水器水室出入口弁の弁体部が構造健全性を有することを確認した。

表5-1 復水器水室出入口弁の構造健全性評価結果

| 評価部位     | 発生圧力<br>(MPa) | 水圧試験の圧力<br>(MPa) |
|----------|---------------|------------------|
| 復水器水室入口弁 | 0.18          | 0.37             |
| 復水器水室出口弁 | 0.22          | 0.35             |

## 5.7 タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の津波に対する健全性について

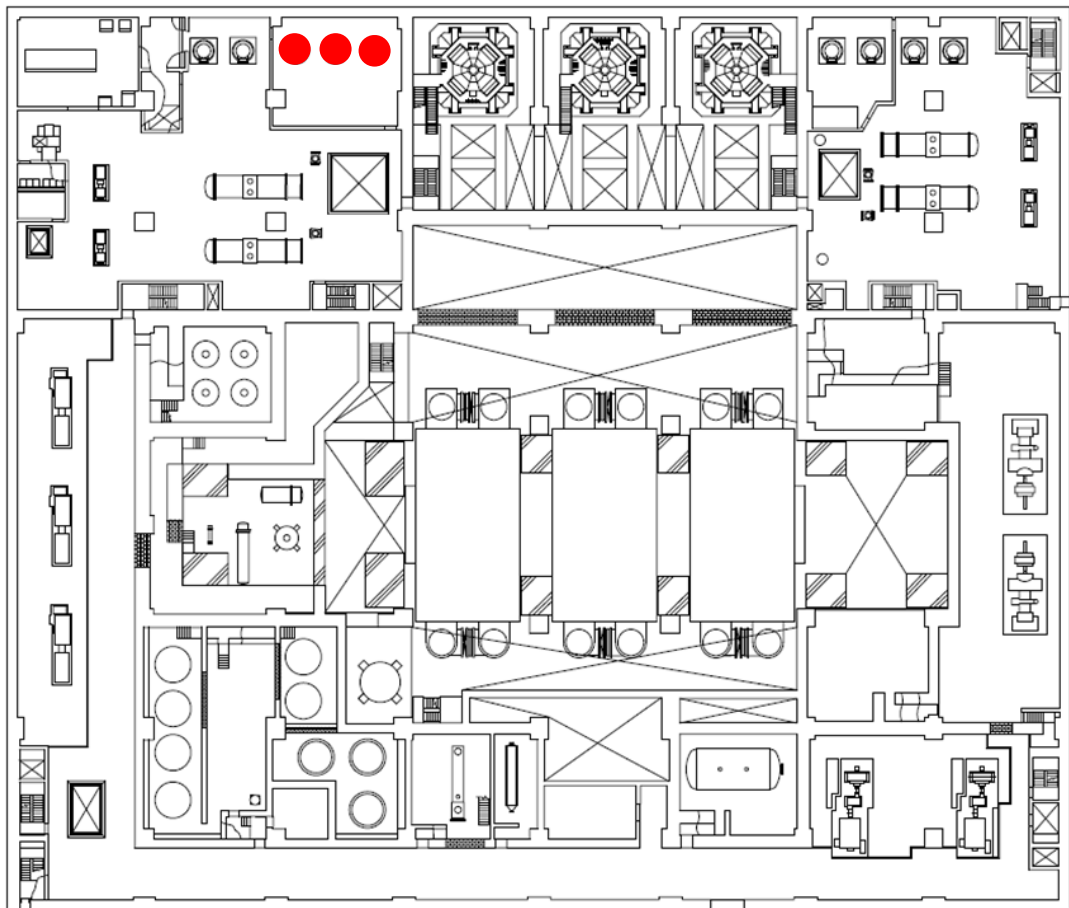
## 1. 概要

本資料は、内部溢水対策となるタービン補機冷却海水ポンプ吐出弁が、溢水発生後の津波による浸水荷重（以下「津波荷重」という。）及び余震を考慮した荷重に対し、構造健全性を有することを確認するものである。

## 2. 一般事項

### 2.1 配置計画

強度評価の対象施設となるタービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の配置計画を図2-1に示す。  
また、タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁設置エリアと浸水防護重点化範囲の関係について図2-2に示す。



●:タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁

\* 設置床高さは T. M. S. L. 3500mm

タービン建屋 T. M. S. L. 4900mm

図2-1 配置計画

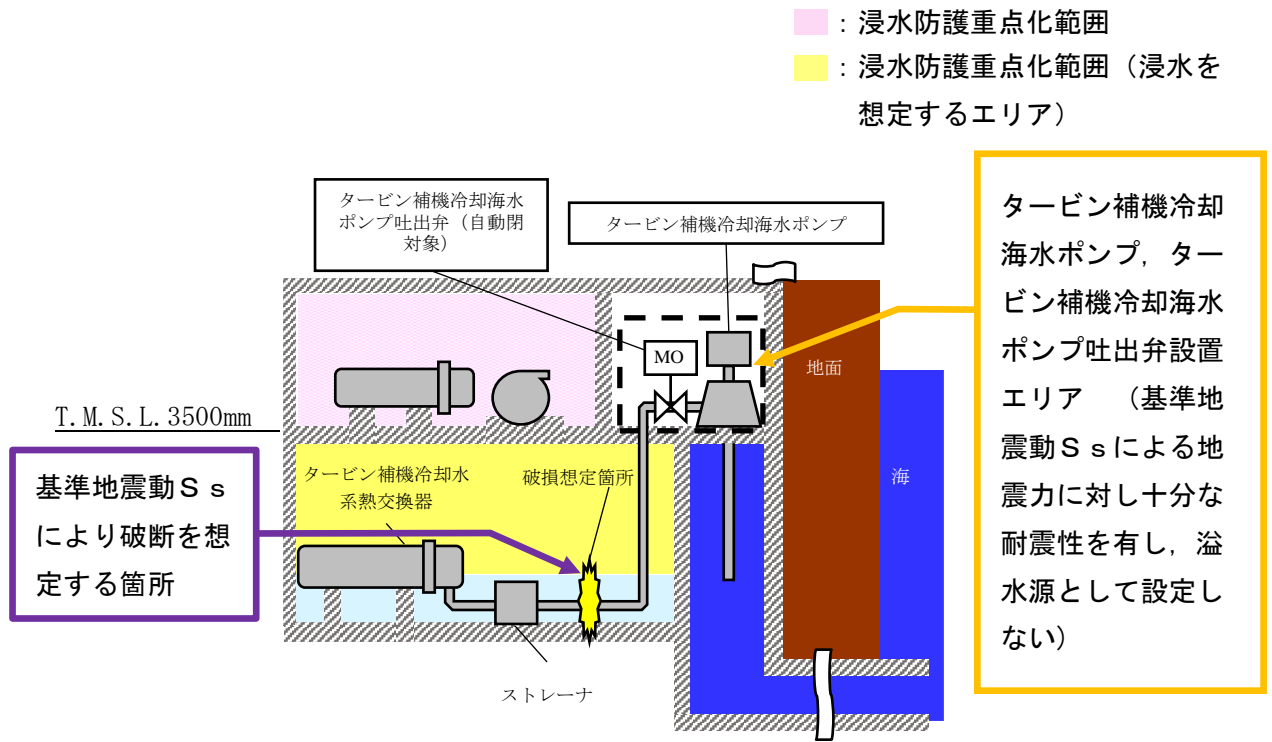
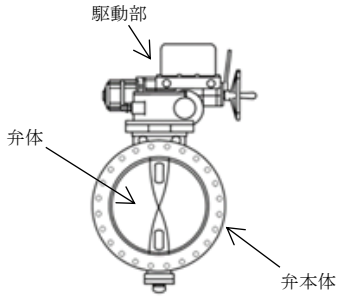
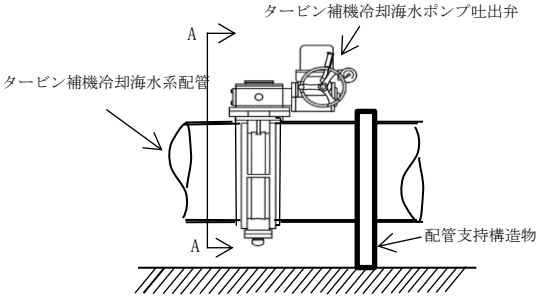


図 2-2 タービン補機冷却海水系 浸水防護重点化範囲 説明図

## 2.2 構造計画

タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁は、電動バタフライ弁であり、弁体を回転し弁座に密着することで止水する。電動バタフライ弁の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

| 設備名称             | 計画の概要    |                                 |  | 概略構造図   |
|------------------|----------|---------------------------------|--|---|
|                  | 型式       | 主体構造                            | 支持構造   |   |
| タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁 | 電動バタフライ弁 | 弁体を含む弁本体, 弁体を電動にて駆動する駆動部で構成される。 | タービン補機冷却海水系配管に設置され, 配管にて支持される。<br>配管については, 支持構造物にて支持される。 |  <p>A-A 断面図</p>  <p>弁設置位置図</p> |



### 3. 評価震度

#### 3.1 評価震度の解析方法

解析モデルは、V-2-別添 2-7「タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の耐震性についての計算書」と同一とする。

#### 3.2 設計震度の計算条件

##### (1) 設計条件

| 評価対象             | 最高使用圧力 (MPa) | 最高使用温度 (°C) | 外径 (mm) | 配管厚さ (mm) | 材料     | 縦弾性係数 (MPa) |
|------------------|--------------|-------------|---------|-----------|--------|-------------|
| タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁 | 0.65         | 40          | 609.6   | 9.5       | SM400B | 202333      |

##### (2) 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線はV-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定した弾性設計用地震動 (Sd) のものを用いる。また、減衰定数はV-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

| 建屋・構築物 | 標高                   | 減衰定数 (%) |
|--------|----------------------|----------|
| タービン建屋 | T. M. S. L. 12300 mm | 2.0      |
| タービン建屋 | T. M. S. L. 4900 mm  | 2.0      |
| タービン建屋 | T. M. S. L. -1100 mm | 2.0      |
| タービン建屋 | T. M. S. L. -5100 mm | 2.0      |

### 3.3 設計震度の計算結果

タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁弁体部の評価震度を以下に示す。

| 適用する地震動等           | S d                  |       |                      |
|--------------------|----------------------|-------|----------------------|
|                    | 応答水平震度* <sup>1</sup> |       | 応答鉛直震度* <sup>1</sup> |
| 動的解析結果             | X 方向                 | Z 方向  | Y 方向                 |
|                    |                      | 0.033 | 0.003                |
| 動的震度* <sup>2</sup> | 0.67                 |       | 0.48                 |

注記\*1：動的解析から得られる各方向の震度。

\*2：剛領域の振動モードの影響を考慮する観点から設置床の最大応答加速度を 1.2 倍した震度 (1.2ZPA)

#### 各モードの固有周期及び刺激係数

タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁及び配管

| モード | 固有周期(s) | 刺激係数* |       |       |
|-----|---------|-------|-------|-------|
|     |         | X 方向  | Y 方向  | Z 方向  |
| 1 次 | 0.102   | 0.233 | 0.032 | 1.038 |
| 2 次 | 0.081   | 0.437 | 1.104 | 0.401 |
| 3 次 | 0.065   | 0.219 | 1.010 | 0.018 |
| 4 次 | 0.064   | 0.152 | 1.079 | 0.673 |
| 5 次 | 0.062   | 1.038 | 0.357 | 0.184 |
| 6 次 | 0.061   | 0.869 | 0.434 | 0.090 |
| 7 次 | 0.058   | 0.436 | 1.268 | 0.767 |
| 8 次 | 0.055   | 0.403 | 0.530 | 0.186 |

注記\*：刺激係数は、固有ベクトルの最大値を 1 で正規化して得られる値を示す。

#### 4. 構造強度評価

##### 4.1 荷重の設定

###### (a) 突き上げ津波荷重 ( $P_t$ )

突き上げ津波荷重として、津波流入を想定した流速成分による荷重と、経路からの津波に伴う水位を用いた静水圧を考慮し、以下の式より算出する。

$$P_t = 1/2 \cdot C_p \cdot \rho_0 \cdot U^2 + \rho_0 \cdot g \cdot H$$

$P_t$  : 突き上げ津波荷重

$\rho_0$  : 海水の密度

$U$  : 流速 (津波流速を保守側に設定)

$C_p$  : 抗力係数 (2.01\*)

$g$  : 重力加速度

$H$  : 評価高さ (最高津波高さ－設置位置高さ)

\*出典:津波漂流物対策ガイドライン 表-3.4.7 抗力係数 (H26.3 沿岸技術研究センター)

###### (b) 余震荷重 ( $K S_d$ )

余震荷重は、V-3-別添 3-1-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり、弾性設計用地震動  $S_d$  に伴う力とする。

余震に伴う加速度で弁体に発生する慣性力と、余震による動水圧荷重を考慮し、以下の式より算出する。弁体 (閉止状態) 及び配管の内面に加わる圧力荷重として評価。

$$K S_d = m \cdot g \cdot \alpha_H / A + \rho_0 \cdot \alpha_v \cdot g \cdot H$$

$K S_d$  : 余震荷重

$m$  : 弁体部質量

$g$  : 重力加速度

$\alpha_H$  : 弁体部の配管軸方向余震震度

$A$  : 弁体受圧面投影面積 ( $= \pi D_i^2 / 4$       $D_i$  : 配管内径)

$\rho_0$  : 海水の密度

$\alpha_v$  : 評価部位の鉛直方向震度

$H$  : 評価高さ (最高津波高さ－設置位置高さ)

###### (c) 固定荷重 ( $D$ )

常時作用する荷重として、弁本体及び配管の自重を考慮する。

(弁体は水平配管に設置されるため、弁体の配管軸方向荷重評価 (内圧と重畳する方向) については 0 となる。)

#### 4.2 荷重の組合せ

タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の強度評価にて考慮する荷重の組合せを表 4-1 に示す。

表 4-1 タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の強度評価にて考慮する荷重の組合せ

| 施設区分   | 機器名称                 | 荷重の組合せ                 |
|--------|----------------------|------------------------|
| 浸水防護施設 | タービン補機冷却海水ポンプ<br>吐出弁 | $D + P_t + K S_d$ *1*2 |

注記\*1 : Dは固定荷重,  $P_t$ は突き上げ津波荷重,  $K S_d$ は余震荷重を示す。

\*2 : 固定荷重 (D) 及び余震荷重 ( $K S_d$ ) の組み合わせが, 強度評価上, 突き上げ津波荷重 ( $P_t$ ) を緩和する方向に作用する場合, 保守的にこれらを組み合わせない評価を実施する。

#### 4.3 許容限界

タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁については, 水圧試験により確認した圧力を許容値として用いる。

表 4-2 タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁 許容限界

| 評価部位             | 水圧試験の圧力 (MPa) |
|------------------|---------------|
| タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁 | 0.65          |

#### 4.4 計算条件

タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の構造健全性評価に用いる計算条件を表 4-3～表 4-5 に示す。

表 4-3 タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の構造健全性評価に用いる計算条件

| 弁体の材質  | 弁体の質量<br>$m_1$<br>(kg) | 弁体受圧面の外径<br>(配管内径)<br>$D_1$<br>(mm) |
|--------|------------------------|-------------------------------------|
| FCD450 | 110                    | 600                                 |

| 重力加速度<br>$g$<br>( $m/s^2$ ) | 海水の密度<br>$\rho_0$<br>( $kg/m^3$ ) |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| 9.80665                     | 1030                              |

表 4-4 タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の構造健全性評価に用いる流速条件

|                       | タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁 |
|-----------------------|------------------|
| 突き上げ津波荷重評価流速 $U(m/s)$ | 1.0              |

注記：タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁が閉止されている状態では、弁体部に流れはないが、保守側に補機取水槽の水位上昇速度を用いる。

表 4-5 タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の構造健全性評価に用いる評価高さ

|          | T. M. S. L. (m)  |
|----------|------------------|
|          | タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁 |
| 最高津波高さ*1 | 8.2              |
| 設置位置高さ*2 | 3.5              |
| 評価高さ $H$ | 4.7              |

注記\* \*1：「取水路の管路解析の結果」のうちタービン補機冷却海水ポンプが設置されている補機取水槽（B系南）TSWと（C系）の最高水位（KK7補足-019-2 津波への配慮に関する説明書に係る補足説明資料 1.5 入力津波の不確かさの考慮について）。

\*2：保守的にタービン補機冷却海水ポンプ吐出弁を設置する床高さとする。

## 5. 評価結果

### 5.1 評価結果

#### (1) 構造健全性評価

タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の構造健全性評価結果を表 5-1 に示す。発生圧力が、有意な変形及び著しい漏えいがないことを確認した水圧試験圧力以下であることから、評価部位であるタービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の弁体部が構造健全性を有することを確認した。

表5-1 タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の構造健全性評価結果

| 評価部位             | 発生圧力<br>(MPa) | 水圧試験の圧力<br>(MPa) |
|------------------|---------------|------------------|
| タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁 | 0.08          | 0.65             |