

## 放水設備の準拠規格及び基準への適合性に関する補足説明（放水口）

## 1. 設計方針

放水口の設計は、「2.14.1 準拠規格及び基準への適合性」に基づき、コンクリート標準示方書（設計編；2012年制定）（公社）土木学会（以下、「2012コ示」という）に準拠し、許容応力度法により、曲げおよびせん断力に対する検討を行う。また、港湾の施設の技術上の基準・同解説 2018年（公社）日本港湾協会（以下、「H30 港湾基準」という）に準拠し、使用性に対する照査（曲げひび割れ幅、コンクリートの圧縮強度）および性能の経時変化に対する照査（塩化物イオン濃度）、放水口ケーソンの安定性に対する検討を実施する。

## 2. 設計検討ケース

設計検討ケースとしては、長期的に作用する常時荷重を考慮するケース、および短期的に作用する地震荷重を考慮するケースの2ケースとする。

## 2.1 長期

施工時を長期扱いとし、長期において検討するケースは、施工時および供用時とする。

施工時は、側部埋戻により発生する断面力は側壁を3辺固定版としてモデル化し、算定する。なお、埋戻により発生する応力は供用時に残留するため、施工時における応力照査は省略し、供用時における照査において埋戻による断面力を足し合わせる。よって、断面力の算定結果のみを示す。

供用時は、側壁の水平方向については水平力により発生する断面力に対して検討を行う。

なお、常時において水平力は作用しないため、施工時荷重（側部埋戻における打設圧）により発生する断面力を長期（常時）の断面力とする。

## 2.2 短期

短期においては、地震時荷重を考慮し、2.1の供用時に示す断面力に、地震時荷重（慣性力、動水圧）により発生する断面力を足し合わせ、水平方向の幅が大きい南北面の側壁を対象として検討を行う。

## 3. 設計条件

## 3.1 材料仕様

放水口に用いる材料のうち、コンクリート（高炉セメント B 種）の設計基準強度は  $30\text{N/mm}^2$ 、鉄筋は SD345 とする。各使用材料の許容応力度を表 2.14.1.7-1, 2 に示す。

表 2.14.1.7-1 コンクリートの許容応力度

設計基準強度	長期		短期	
	圧縮 (N/mm <sup>2</sup> )	せん断 (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮 (N/mm <sup>2</sup> )	せん断 (N/mm <sup>2</sup> )
30	11.0	0.50	16.5	0.75

表 2.14.1.7-2 鉄筋の許容応力度

使用材料	長期	短期
	引張 (N/mm <sup>2</sup> )	引張 (N/mm <sup>2</sup> )
SD345	200	300

### 3.2 土質定数

設計に用いた土質定数及び材料の単位体積重量を表 2.14.1.7-3 に示す。放水口は露岩域に設け、ケーソン周囲をコンクリートで埋戻すため、下部、側部ともに地盤は岩盤とする。

なお、放水口設置位置の海底面のレベルは T.P.-11.891 とする。

表 2.14.1.7-3 土質定数

層数	土質	層厚 (m)	単位体積 重量 (kN/m <sup>3</sup> )	水中単位 体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	粘着力 (kN/m <sup>2</sup> )	内部摩 擦角 (°)	変形係 数 (kN/m <sup>2</sup> )
1	泥岩	-	17.1	8.1	1,500	0	506,000

### 3.3 単位体積重量

設計に用いた単位体積重量を表 2.14.1.7-4 に示す。「H30 港湾基準」に準拠して設定している。

表 2.14.1.7-4 単位体積重量

材料	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )
鉄筋コンクリート	24.0
無筋コンクリート	22.6
水 (海水)	10.1

### 3.4 潮位

設計に用いた潮位は、福島第一原子力発電所 7/8 号機環境影響評価書 (H12.12) に基づき、表 2.14.1.7-5 に示す。なお、福島第一原子力発電所で使用している東京湾平均潮位面 T.P.と小名浜湾平均海面 O.P.は次式の関係にある。

$$T.P.(m) = O.P.(m) - 0.727m$$

表 2.14.1.7-5 福島第一原子力発電所の天文潮位

項目		単位	数値	単位	数値
期間最高潮面	HHWL	O.P.(m)	1.880	T.P.(m)	1.153
朔望平均満潮面	HWL	O.P.(m)	1.484	T.P.(m)	0.757
平均潮面	MWL	O.P.(m)	0.841	T.P.(m)	0.114
東京湾平均潮位面	T.P.	O.P.(m)	0.727	T.P.(m)	0.000
朔望平均干潮面	LWL	O.P.(m)	-0.051	T.P.(m)	-0.778
期間最低潮面	LLWL	O.P.(m)	-0.370	T.P.(m)	-1.097

### 3.5 波浪条件

波浪条件は以下のとおりとする。

50年確率波として、有義波高  $H_{1/3} = 7.0m$ 、周期  $T_{1/3} = 15.0s$  とする。

砕波を考慮し、最大波高は「H30 港湾基準」に示された砕波帯内の最高波高の算定図 (図 2.14.1.7-1) から求める。算定結果を以下に示す。なお、 $H_0' = 7.0m$  として算定する。

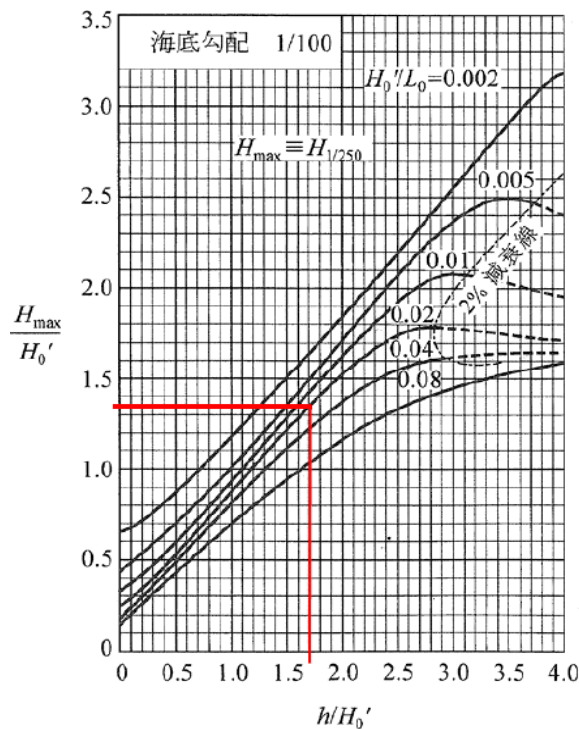


図 2.14.1.7-1 砕波帯内の最高波高算定図

$$h = 0.114 - (-11.891) = 12.0m, \quad h/H_0' = 12.0/7.0 = 1.7$$

$$L_0 = 1.56 \times 15^2 = 351m, \quad H_0'/L_0 = 7.0/351 = 0.02$$

$$H_{max}/H_0' = 1.35, \quad H_{max} = 1.35 \times 7.0 = 9.5m$$

### 3.6 荷重条件

#### 3.6.1 荷重の組合せ

断面力照査を実施する際の施工時、供用時における検討ケースおよび荷重の組合せを表 2.14.1.7-6 に示す。側部埋戻し後は、ケーソン本体には波浪が作用しないため、波浪時における部材の検討は行わない。

表 2.14.1.7-6 荷重条件

検討ケース	長期		短期
	施工時	供用時	地震時
自重	○	○	○
水圧（浮力）	-	○	○
打設圧	○	-	-
損失水頭による圧力	-	○	○
波力	-	-	-
地震時慣性力	-	-	○
動水圧	-	-	○
許容応力度の割増	1.0	1.0	1.5

#### 3.6.2 土圧

「H30 港湾基準」に準拠して土圧を算定した場合、周辺岩盤の粘着力が十分に大きいため常時、地震時ともに主働土圧は作用しない。従って、設計計算において主働土圧は考慮しないが、安定計算においては「H30 港湾基準」に準拠して算定した受働土圧を考慮する。

#### 3.6.3 損失水頭による圧力

開口部における損失水頭の算定結果を表 2.14.1.7-7 に示す。摩擦損失は軽微であるため、摩擦損失は無視し、急縮による損失と出口損失のみを考慮する。

平均流速は、最大流量  $6.0\text{m}^3/\text{s}$  の条件において、蓋開口部（寸法： $2.5\text{m}\times 2.5\text{m}$ ）に貝付着代  $10\text{cm}$  を考慮して算定した。

表 2.14.1.7-7 損失水頭

項目		単位	値
急縮による損失	損失係数	-	0.50
	平均流速	m/s	1.13
	重力加速度	m/s <sup>2</sup>	9.81
	損失水頭	m	0.033
出口損失	損失係数	-	1.00
	平均流速	m/s	1.13
	重力加速度	m/s <sup>2</sup>	9.81
	損失水頭	m	0.065
合計	損失水頭	m	0.098

### 3.6.4 波力

#### (1) 水平方向

波力はモリソン式に基づき算定する。

$$\vec{f}_n = \frac{1}{2} C_D \rho_0 |\vec{u}_n| \vec{u}_n D \Delta S + C_M \rho_0 \vec{a}_n A \Delta S$$

$\vec{f}_n$  : 部材軸方向の微小長さ  $\Delta S$  (m) に作用する, 部材軸と水粒子運動方向の共通面における部材軸に直角な方向の力 (kN)

$\vec{u}_n, \vec{a}_n$  : 部材軸と水粒子運動方向の共通面における, 部材軸直角方向 ( $\vec{f}_n$  と同じ方向) の水粒子速度成分 (m/s) および加速度成分 (m/s<sup>2</sup>) (部材によって乱されない入射波による成分)

$|\vec{u}_n|$  :  $\vec{u}_n$  の絶対値 (m/s)

$C_D$  : 抗力係数

$C_M$  : 慣性力係数

$D$  :  $\vec{f}_n$  の方向から見た部材軸直角方向の部材幅 (m)

$A$  : 部材軸に垂直な面で切った部材断面積 (m<sup>2</sup>)

$\rho_0$  : 海水の密度 (= 1.03t/m<sup>3</sup>)

#### (2) 鉛直方向

鉛直方向に作用する力として揚力を考慮する。揚力は「H30 港湾基準」に準拠して下式により算定し, 揚力係数  $C_L$  は 0.8 とする。

$$F_L = \frac{1}{2} C_L \rho_0 A_L U^2$$

$F_L$  : 物体に作用する流れと直角方向の揚力 (N)

$C_L$  : 揚力係数

$A_L$  : 流れと直角方向の物体の投影面積 (m<sup>2</sup>)

### 3.6.5 地震時慣性力

地震時慣性力は構造物の気中重量に設計震度 0.2 を乗じて算定する。

### 3.6.6 動水圧

放水口のうち海底面以深の部分に作用する動水圧は下式により算定する。海底面以浅の部材に作用する動水圧は境界要素法により算定する。

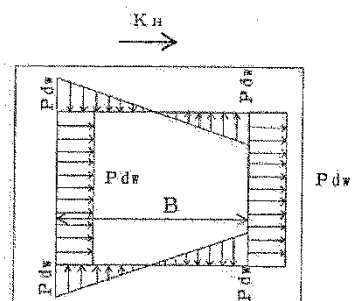
$$P_{dw} = \frac{1}{2} K_H \gamma_w B$$

$P_{dw}$  : 動水圧 (kN/m<sup>2</sup>)

$K_H$  : 水平震度

$\gamma_w$  : 内水の単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)

$B$  : 水路幅 (m)



### 3.7 部材の設計

部材の設計において、施工時においては側壁側部埋戻時を考慮し、供用時においては底板・側壁鉛直方向と側壁水平方向のそれぞれにおいて長期および短期の荷重を考慮する。以下、この分類に従い、供用時に長期と短期の設計内容を記載する。

#### 3.7.1 施工時：側壁側部埋戻時

##### (1) 解析モデル

側部埋戻により発生する断面力は側壁を3辺固定版としてモデル化し、算定する。なお、埋戻により発生する応力は供用時に残留するため、施工時における応力照査は省略し、供用時における照査において埋戻による断面力を足し合わせる。よって、ここでは、断面力の算定結果のみを示す。

解析モデルを図 2.14.1.7-2 に示す。

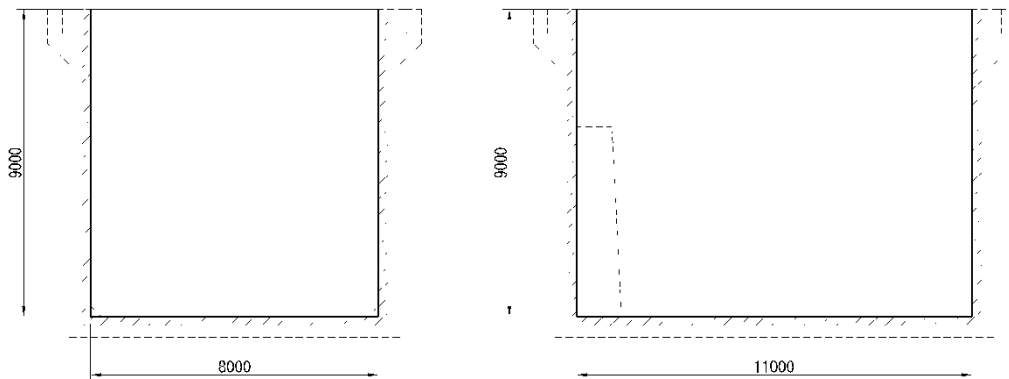


図 2.14.1.7-2 解析モデル図（側壁 側部埋戻時 左：東西面モデル 右：南北面モデル）

##### (2) 部材諸元

部材諸元を表 2.14.1.7-8 に示す。ヤング係数は、コンクリートの設計基準強度  $30\text{N/mm}^2$  から設定した（以下同様）。

表 2.14.1.7-8 部材諸元（側壁 側部埋戻時）

部材	ヤング係数 E (kN/m <sup>2</sup> )	厚さ H (m)
側壁	2.80E + 07	0.600

##### (3) 荷重算定結果

打設圧の算定結果を以下に示す。なお、1回あたり最大打設高さは 2.0m とする。

$$\text{最大打設圧} : 2.0\text{m} \times (22.6\text{kN/m}^3 - 10.1\text{kN/m}^3) = 25\text{kN/m}^2$$

荷重図を図 2.14.1.7-3 に示す。

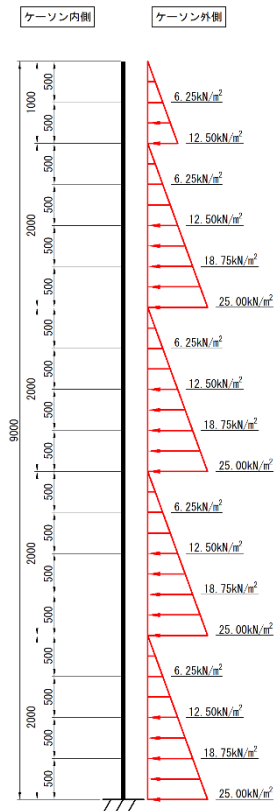


図 2.14.1.7-3 荷重図（側部埋戻時）

### 3.7.2 供用時：底版・側壁鉛直方向

#### (1) 解析モデル

解析モデルを図 2.14.1.7-4 に示す。なお、ケーソン本体への蓋を介した荷重伝達を考慮していることから、蓋を構造部材として考慮する。

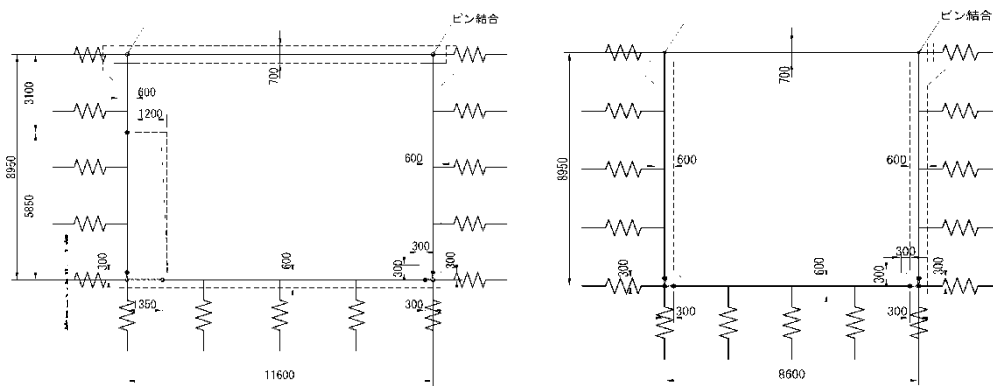


図 2.14.1.7-4 解析モデル図

（底版・側壁鉛直方向 左：東西方向モデル 右：南北方向モデル）



(2) 断面性能

断面性能は、奥行き 1m あたりでモデル化する。断面性能を表 2.14.1.7-9 に示す。

表 2.14.1.7-9 部材諸元（底版・側壁鉛直方向）

部材	ヤング 係数 $E$ (kN/m <sup>2</sup> )	幅 $B$ (m)	高さ $H$ (m)	断面積 $A$ (m <sup>2</sup> )	断面2次 モーメント $I$ (m <sup>4</sup> )
底版	2.80E+07	1.000	0.600	6.00E-01	1.80E-02
側壁	2.80E+07	1.000	0.600	6.00E-01	1.80E-02
側壁(孔口コンクリート部)	2.80E+07	1.000	1.800	1.80E+00	4.86E-01
蓋	2.80E+07	1.000	0.700	7.00E-01	2.86E-02

(3) 剛域

剛域は「2012 コ示」に準拠し、図 2.14.1.7-5 の通り設定する。

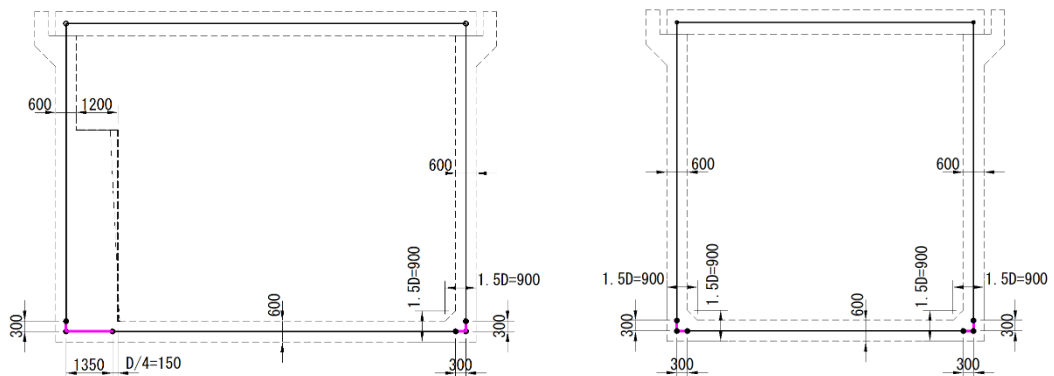


図 2.14.1.7-5 剛域の設定

(底版・側壁鉛直方向 左：東西方向モデル 右：南北方向モデル)

(4) 地盤ばね

地盤ばねは、道路橋示方書・同解説 IV下部構造編 2012年（公社）日本道路協会（以下、「H24 道示IV」という）に準拠し設定する。なお、側面はコンクリートで埋め戻すが安全側に現地盤（岩盤）相当として地盤ばねを設定する。

地盤ばねの算定結果を表 2.14.1.7-10, 11 に示す。係数  $a$  については、H24 道示IVに基づき、長期（常時）で 1.0、短期（地震時）は 2.0 と設定する。

表 2.14.1.7-10 地盤ばね 東西方向モデル

		長辺 $B_1$ m	短辺 $B_2$ m	換算載荷幅 $B$ m	地盤の 変形係数 $E_0$ kN/m <sup>2</sup>	$\alpha$ ※ -	$k_0$ kN/m <sup>3</sup>	地盤反力係数 $k$ kN/m <sup>3</sup>
底版	常時	12.200	9.200	10.59	506000	1.0	1686667	116466
	地震時					2.0	3373333	232931
側壁	常時	9.200	9.000	9.10	506000	1.0	1686667	130494
	地震時					2.0	3373333	260987

表 2.14.1.7-11 地盤ばね 南北方向モデル

		長辺 $B_1$ m	短辺 $B_2$ m	換算載荷幅 $B$ m	地盤の 変形係数 $E_0$ kN/m <sup>2</sup>	$\alpha$ ※ -	$k_0$ kN/m <sup>3</sup>	地盤反力係数 $k$ kN/m <sup>3</sup>
底版	常時	12.200	9.200	10.59	506000	1.0	1686667	116466
	地震時					2.0	3373333	232931
側壁	常時	12.200	9.000	10.48	506000	1.0	1686667	117381
	地震時					2.0	3373333	234763

(5) 荷重の算定

① 死荷重

死荷重の算定結果を以下に示す。なお、側壁頂部の蓋掛部は、影響が軽微であるため、海底面まで0.6m厚の部材であるものとした。荷重図を図 2.14.1.7-6 に示す。

ケーソン

- ・標準部 :  $24.0\text{kN/m}^3 \times 0.6\text{m} = 14.4\text{kN/m}^2$  (底版, 側壁とも)
- ・坑口コン :  $24.0\text{kN/m}^3 \times 1.2\text{m} = 28.8\text{kN/m}^2$  (標準部からの増分)

放水蓋

- ・自重 :  $24.0\text{kN/m}^3 \times 0.7\text{m} = 16.8\text{kN/m}^2$

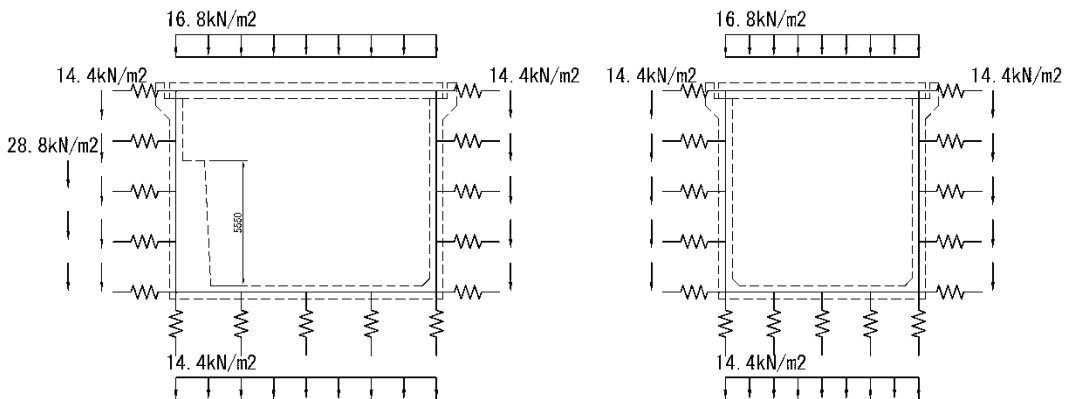


図 2.14.1.7-6 荷重図 自重 (左: 東西方向モデル 右: 南北方向モデル)

② 水圧（浮力）

水圧（浮力）の算定結果を以下に示す。側壁頂部の蓋掛部は、影響が軽微であるため、海底面まで0.6m厚の部材であるものとした。荷重図を図2.14.1.7-7に示す。

ケーソン

- ・標準部 :  $10.1\text{kN/m}^3 \times 0.6\text{m} = 6.1\text{kN/m}^2$  (底版, 側壁とも)
- ・坑口コン :  $10.1\text{kN/m}^3 \times 1.2\text{m} = 12.1\text{kN/m}^2$  (標準部からの増分)

放水蓋

- ・浮力 :  $10.1\text{kN/m}^3 \times 0.7\text{m} = 7.1\text{kN/m}^2$

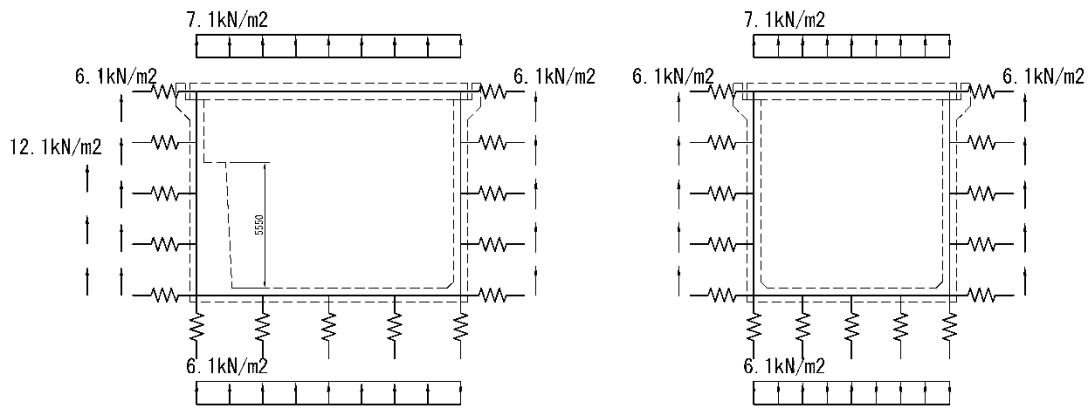


図 2.14.1.7-7 荷重図 浮力 (左: 東西方向モデル 右: 南北方向モデル)

③ 損失による圧力

損失による圧力を以下に示す。また、荷重図を図2.14.1.7-8に示す。

損失による圧力 :  $10.1\text{kN/m}^3 \times 0.098\text{m} = 1.0\text{kN/m}^2$

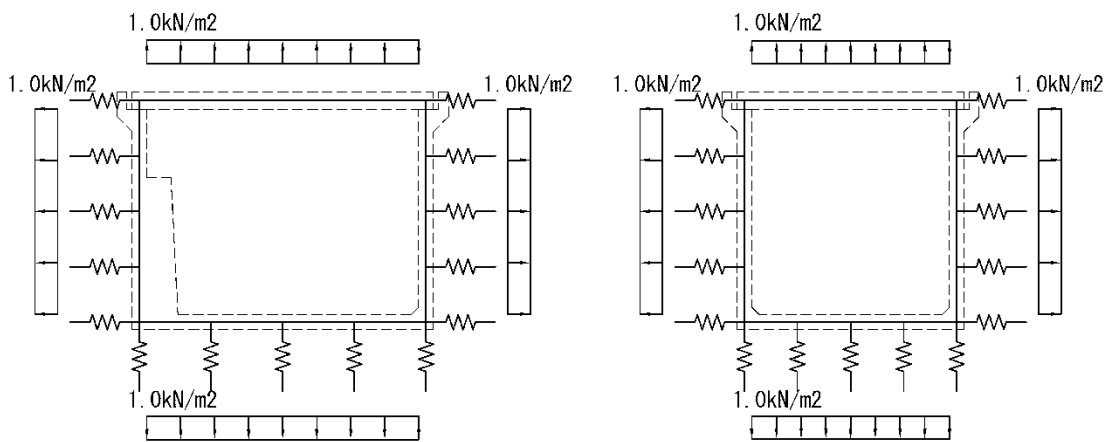


図 2.14.1.7-8 荷重図 損失 (左: 東西方向モデル 右: 南北方向モデル)

④ 地震時慣性力

地震時慣性力の算定結果を以下に示す。また、荷重図を図 2.14.1.7-9 に示す。

ケーソン

- ・標準部 :  $14.4\text{kN/m}^2 \times 0.20 = 2.9\text{kN/m}^2$  (底版, 側壁とも)
- ・坑口コン :  $28.8\text{kN/m}^2 \times 0.20 = 5.8\text{kN/m}^2$  (標準部からの増分)

放水蓋

- ・地震時慣性力 :  $16.8\text{kN/m}^2 \times 0.20 = 3.4\text{kN/m}^2$

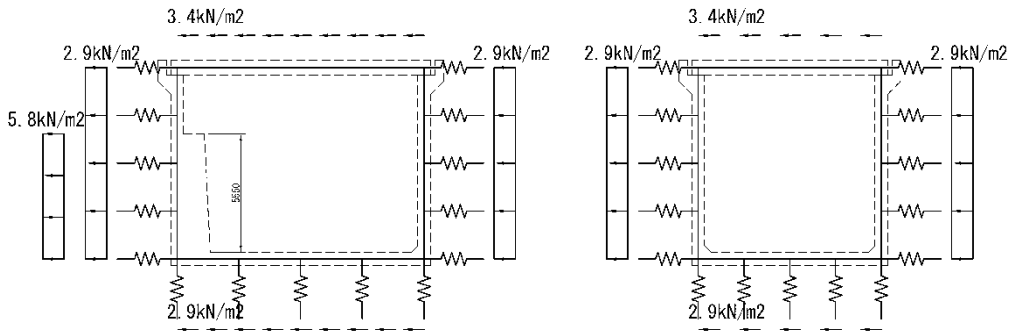


図 2.14.1.7-9 荷重図 地震時慣性力 (左: 東西方向モデル 右: 南北方向モデル)

⑤ 動水圧

動水圧の算定結果を以下に示す。また、荷重図を図 2.14.1.7-10 に示す。

東西方向

- ・動水圧 :  $10.1\text{kN/m}^3 \times 11\text{m} \div 2 \times 0.20 = 11.1\text{kN/m}^2$

南北方向

- ・動水圧 :  $10.1\text{kN/m}^3 \times 8\text{m} \div 2 \times 0.20 = 8.1\text{kN/m}^2$

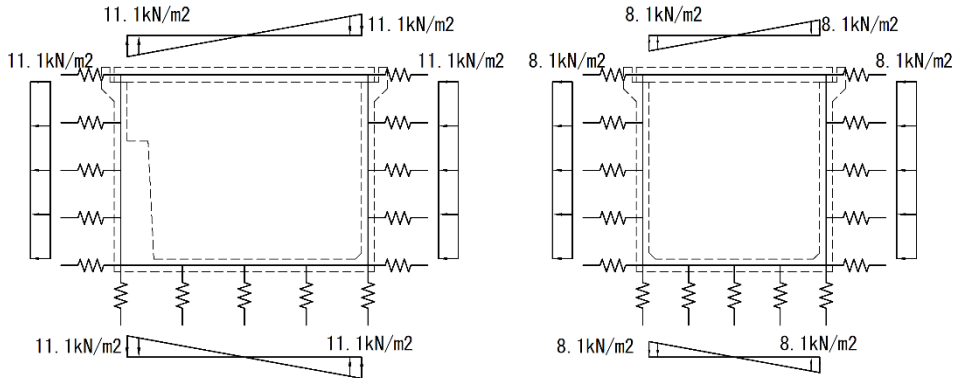


図 2.14.1.7-10 荷重図 動水圧 (左: 東西方向モデル 右: 南北方向モデル)

### 3.7.3 供用時（側壁水平方向）

#### (1) 解析モデル

地震時荷重により発生する断面力は南北面の側壁を対象として、東西面の側壁および底板を固定、放水蓋部を単純支持とした3辺固定、1辺単純支持版としてモデル化する。解析モデルを図2.14.1.7-11に示す。

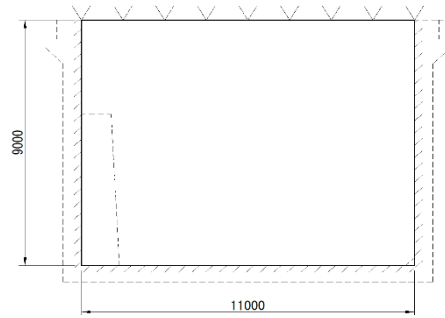


図 2.14.1.7-11 解析モデル図（側壁 供用時 南北面モデル）

#### (2) 部材諸元

部材諸元を表2.14.1.7-12に示す。

表 2.14.1.7-12 部材諸元（側壁 供用時）

部材	ヤング係数 E (kN/m <sup>2</sup> )	厚さ H (m)
側壁	2.80E+07	0.600

#### (3) 荷重の算定

##### ① 地震時慣性力

地震時慣性力の算定結果を以下に示す。

・地震時慣性力 :  $24.0\text{kN/m}^3 \times 0.6\text{m} \times 0.2 = 2.9\text{kN/m}^2$

##### ② 動水圧

動水圧の算定結果を以下に示す。

・動水圧（東西面） :  $10.1\text{kN/m}^3 \times 11.0\text{m} \div 2 \times 0.2 = 11.1\text{kN/m}^2$

・動水圧（南北面） :  $10.1\text{kN/m}^3 \times 8.0\text{m} \div 2 \times 0.2 = 8.1\text{kN/m}^2$

#### 4. 算定結果

##### 4.1 部材の照査

作用応力を許容応力と比較し、作用応力/許容応力の比が最大となる部位および荷重ケースの照査結果を表 2.14.1.7-13 に示す。常時荷重および地震時荷重に対して、許容応力度以内であること（作用応力/許容応力<1）を確認した。

表 2.14.1.7-13 応力度照査の結果

検討部位	荷重ケース	対象材料	応力	作用応力 (N/mm <sup>2</sup> )	許容応力 (N/mm <sup>2</sup> )	作用応力/ 許容応力
底版	長期	コンクリート	せん断力	0.23	0.50	0.46
側壁	長期	コンクリート	せん断力	0.24	0.50	0.48

##### 4.2 断面力の算定結果

表 2.14.1.7-13 に示す荷重ケースの断面力について、算定結果をそれぞれ、底版を表 2.14.1.7-14、側壁を表 2.14.1.7-15 に示す。また、断面力図を図 2.14.1.7-12 に示す。

表 2.14.1.7-14 底版の断面力算定結果（長期（常時）せん断力）

検討 ケース	荷重の種類	単位	東西方向 (放水トンネル軸方向)	南北方向 (放水トンネル軸直角方向)
供用時 常時	施工時打設圧	kN	0	0
	自重・水圧	kN	100	76
	合計	kN	<b>100</b>	<b>76</b>
供用時 地震時 (西⇒東)	施工時打設圧	kN	0	—
	自重・水圧・慣性力・動水圧	kN	105	—
	合計	kN	<b>105</b>	—
供用時 地震時 (東⇒西)	施工時打設圧	kN	0	—
	自重・水圧・慣性力・動水圧	kN	103	—
	合計	kN	103	—
供用時 地震時 (南北)	施工時打設圧	kN	—	0
	自重・水圧・慣性力・動水圧	kN	—	85
	合計	kN	—	<b>85</b>

表 2.14.1.7-15 側壁（鉛直方向）の断面力算定結果（長期（常時）せん断力）

検討 ケース	荷重の種類	単位	鉛直方向		
			東西面 (放水トンネル軸方向断面)		南北面 (放水トンネル軸直角方向断面)
			孔口コンクリート部	標準部	標準部
供用時 常時	施工時打設圧	kN	41	41	57
	自重・水圧	kN	61	53	40
	合計	kN	<b>102</b>	<b>94</b>	<b>97</b>
供用時 地震時 (西→東)	施工時打設圧	kN	41	41	—
	自重・水圧・慣性力・動水圧	kN	98	96	—
	合計	kN	<b>139</b>	<b>137</b>	—
供用時 地震時 (東→西)	施工時打設圧	kN	41	41	—
	自重・水圧・慣性力・動水圧	kN	80	67	—
	合計	kN	121	108	—
供用時 地震時 (南北)	施工時打設圧	kN	—	—	57
	自重・水圧・慣性力・動水圧	kN	—	—	58
	合計	kN	—	—	<b>115</b>

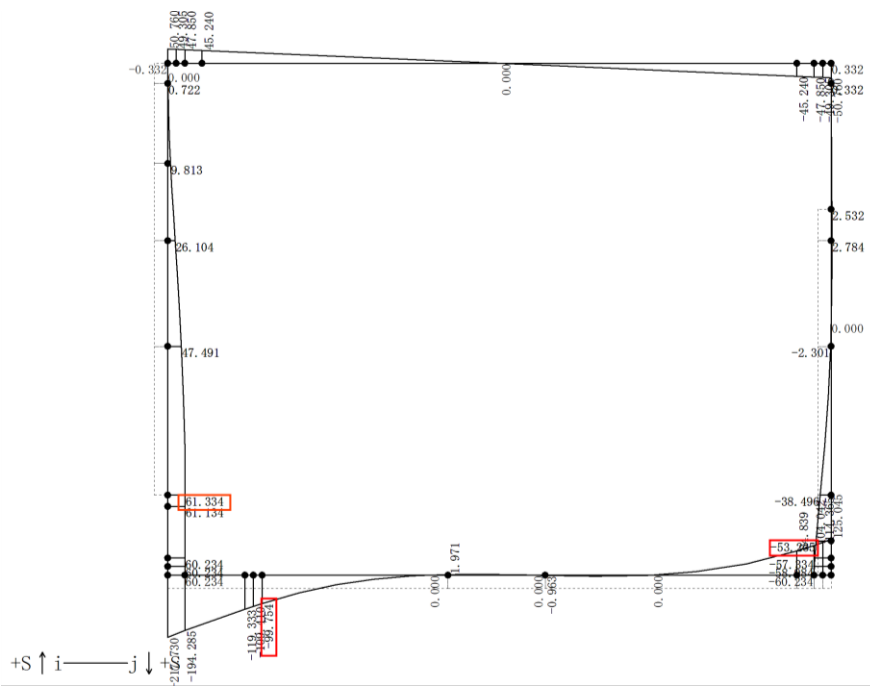


図 2.14.1.7-12 断面力図（長期（常時）せん断力 東西方向）

### 4.3 応力度の照査結果

表 2.14.1.7-13 に示す荷重ケースの応力度の照査結果について、底版を 2.14.1.7-16 に、側壁を表 2.14.1.7-17 に示す。

表 2.14.1.7-16 底版の応力度照査結果（長期（常時）せん断力）

検査ケース				東西方向 (放水トンネル軸方向)	南北方向 (放水トンネル軸直角方向)		
				常時	常時		
諸元	部材幅	$B_w$	mm	1000	1000		
	部材高さ	$H$	mm	600	600		
	有効高さ	$d$	mm	485.0	460.0		
	設計基準強度	$f_{ck}$	N/mm <sup>2</sup>	30	30		
	全圧縮応力の作用点から 引張鉄筋の図心までの距離	$z$	mm	426.2	401.8		
発生値	発生せん断力	$V$	kN	100	76		
	平均せん断応力度	$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	0.23	0.19		
コンクリートのみで負担できる許容せん断応力度				$\tau_{a1}$	N/mm <sup>2</sup>	0.500	0.500
照査 ( $\tau/\tau_{a1}$ )				—	—	0.46	0.38
判定				—	—	OK	OK

表 2.14.1.7-17 側壁（鉛直方向）の応力度照査結果（長期（常時）せん断力）

検査ケース				東西面鉛直方向 (放水トンネル軸方向断面)		南北面鉛直方向 (放水トンネル軸直角方向断面)		
				孔口コンクリート部	標準部	標準部		
				常時	常時	常時		
諸元	部材幅	$B_w$	mm	1000	1000	1000		
	部材高さ	$H$	mm	1500	600	600		
	有効高さ	$d$	mm	1365.0	465.0	465.0		
	設計基準強度	$f_{ck}$	N/mm <sup>2</sup>	30	30	30		
	全圧縮応力の作用点から 引張鉄筋の図心までの距離	$z$	mm	1231.7	406.1	406.1		
発生値	発生せん断力	$V$	kN	102	94	97		
	平均せん断応力度	$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	0.08	0.23	0.24		
コンクリートのみで負担できる許容せん断応力度				$\tau_{a1}$	N/mm <sup>2</sup>	0.500	0.500	0.500
照査 ( $\tau/\tau_{a1}$ )				—	—	0.16	0.46	0.48
判定				—	—	OK	OK	OK



## 5. 耐久性の照査

### 5.1 照査の方法

#### (1) 曲げひび割れ幅

ひび割れに対する照査は、発生曲げひび割れ幅  $w$  が許容曲げひび割れ幅  $w_a$  以下であることを確認する。照査式および算定式を以下に示す。

$$w / w_a \leq 1.0$$

$$w = 1.1k_1k_2k_3 \{4c + 0.7(c_s - \phi)\} \left[ \frac{\sigma_{se}}{E_s} \left( \text{または} \frac{\sigma_{pe}}{E_p} \right) + \varepsilon'_{csd} \right]$$

$w$  : 曲げひび割れ幅 (mm)

$k_1$  : 鉄筋の表面形状がひび割れ幅に及ぼす影響を表す係数 (=1.0)

$k_2$  : コンクリートの品質がひび割れ幅に及ぼす影響を表す係数

$$k_2 = 15 / (f_c + 20) + 0.7$$

$f_c$  : コンクリートの圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$k_3$  : 引張鉄筋の段数の影響を表す係数

$$k_3 = 5 (n+2) / (7n+8)$$

$n$  : 引張鉄筋の段数

$c$  : かぶり (mm) ・ ・ ・ ・ 主鉄筋までのかぶりとする

$c_s$  : 鉄筋の中心間隔 (mm)

$\phi$  : 引張鉄筋径で、最小鉄筋の公称径 (mm)

$\varepsilon'_{csd}$  : コンクリートの収縮及びクリープ等によるひび割れ幅の増加を考慮するための  
数値 (鋼材の腐食に対する照査を行う場合、 $\varepsilon'_{csd}$  の値は  $100 \times 10^{-6}$  程度)

$\sigma_{se}$  : 表面に近い位置にある鉄筋応力度の増加量 (N/mm<sup>2</sup>)

$E_s$  : 鉄筋のヤング係数 (N/mm<sup>2</sup>)

#### (2) 塩害

「H30 港湾基準」を参考に耐久性の照査を行い、照査の基本的な考え方を以下に示す。

- 与えられた環境条件のもと、塩害の照査を満足するために、かぶりの設計値  $C_d$  と塩化物イオンに対する設計拡散係数  $D_d$  の組合せを適切に設定する。
- 設定した設計拡散係数  $D_d$  満足させるために、曲げひび割れ幅  $w$  とコンクリートの水セメント比  $W/C$  の組合せを適切に設定する。

① 照査式

鉄筋位置の塩化物イオン濃度の設計値  $C_d$  を算定し、それが鋼材腐食発生限界濃度  $C_{lim}$  に達していないことを次式により照査する。

$$\gamma_i \cdot C_d / C_{lim} \leq 1.0$$

$\gamma_i$  : 構造物係数 (=1.0 とする)

$C_d$  : 鉄筋位置における塩害の設計用値 ( $\text{kg/m}^3$ )

$C_{lim}$  : 鉄筋腐食発生限界濃度 ( $\text{kg/m}^3$ )

② 鉄筋位置における塩害の設計用値  $C_d$

次式により算定する。

$$C_d = \gamma_{cl} \cdot C_0 \cdot \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{0.1 \cdot C_d}{2 \cdot \sqrt{D_d \cdot t}} \right) \right\} + C_i$$

$\gamma_{cl}$  :  $C_d$  のばらつきを考慮した安全係数

$C_0$  : コンクリート表面における塩害 ( $\text{kg/m}^3$ )

$D_d$  : 設計拡散係数

③ 設計拡散係数  $D_d$

次式により算定する。

$$D_d = \gamma_c \cdot D_k + \lambda \cdot \left( \frac{w}{l} \right) \cdot D_0$$

$\gamma_c$  : コンクリートの材料係数 (=1.0)

$D_k$  : コンクリートの塩化物イオンに対する拡散係数特性値 ( $\text{cm}^2/\text{年}$ )

$D_0$  : コンクリート中の塩化物イオンの移動に及ぼすひび割れの影響を表す係数  
( $\text{cm}^2/\text{年}$ ) (=400 $\text{cm}^2/\text{年}$ )

$w/l$  : ひび割れ幅とひび割れ間隔の比

$\lambda$  : ひび割れの存在が拡散係数に及ぼすひび割れの影響を表す係数

④ かぶりの設計値  $cd$

施工誤差  $\Delta c_e$  を予め考慮して次式で求める。

$$cd = c - \Delta c_e$$

$c$  : 設計図面上のかぶり

⑤ コンクリート表面における塩害  $C_0$

「H30 港湾基準」に基づき、次式により設定する。

$$C_0 = -6.0x + 15.1$$

$C_0$  : 表面塩化物イオン量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) で  $6.0\text{kg}/\text{m}^3$  を下回らないものとする。

$x$  : 海水面 (H.W.L) から部材下面までの距離 (m)

放水口は、水面下に設置することから、 $C_0 = 15.1 \text{ kg}/\text{m}^3$  とする。

⑥ 鋼材腐食発生限界濃度  $C_{lim}$

「H30 港湾基準」に基づき、 $C_{lim} = 2.0 \text{ kg}/\text{m}^3$  とする。

⑦ コンクリートの塩化物イオンに対する拡散係数  $D_k$

水セメント比およびセメントの種類に応じて見かけの拡散係数との予測式より求める。

放水口においては高炉セメント B 種を適用し、 $D_k$  は次式により求める。

$$\log_{10} D_k = 2.5(W/C) - 1.8$$

⑧ 構造物の環境条件

ひび割れ幅の限界値は次のように設定する。

・ 躯体内面 :  $0.0035c$

・ 躯体外面 :  $0.004c$

$c$  は純かぶりを示す。

⑨ 耐用年数

30 年とする。

なお、コンクリートの最小かぶりは「H30 港湾基準」を参考に 70mm とする。

#### 4.2.2 照査結果

ひび割れ幅および塩害の照査の結果、供用期間中の耐久性が確保されることを確認した。

##### (1) ひび割れ幅

放水口の発生曲げひび割れ幅を許容曲げひび割れ幅と比較し、発生曲げひび割れ幅/許容曲げひび割れ幅の比が最大となる部位の照査結果を表 2.14.1.7-18 に示す。

表 2.14.1.7-18 ひび割れ幅の照査結果

検討部位	発生曲げひび割れ幅 (mm)	許容曲げひび割れ幅 (mm)	発生曲げひび割れ幅 /許容曲げひび割れ幅
底版	0.262	0.4	0.66
側壁	0.302	0.4	0.76

表 2.14.1.7-18 に示すひび割れ幅の照査結果について、底版を表 2.14.1.7-19 に、側壁を表 2.14.1.7-20 に示す。

表 2.14.1.7-19 ひび割れ幅に対する照査結果（底版）

対象部材			東西方向（放水口軸方向）				南北方向（放水口軸直角方向）					
			ハンチ部		標準部		ハンチ部		標準部			
検討ケース			外側	内側	外側	内側	外側	内側	外側	内側		
環境条件			常時	常時	常時	常時	常時	常時	常時	常時		
			腐食性環境	特に厳しい腐食性環境	腐食性環境	特に厳しい腐食性環境	腐食性環境	特に厳しい腐食性環境	腐食性環境	特に厳しい腐食性環境		
諸元	梁幅	$B$ mm	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000		
	梁高さ	$H$ mm	700	700	600	600	700	700	600	600		
	有効高さ	$d$ mm	585.0	492.0	485.0	492.0	560.0	470.0	460.0	470.0		
	主鉄筋の段数	— 段	1	1	1	1	1	1	1	1		
	主鉄筋の純かぶり	$c$ mm	102.5	197.0	102.5	97.0	127.5	219.0	127.5	119.0		
	主鉄筋1段目	呼び径	—	D25	D22	D25	D22	D25	D22	D25	D22	
		本数	— 本	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	
		中心間隔	$c_s$ mm	125	125	125	125	125	125	125	125	
	主鉄筋の鉄筋量	$A_s$ mm <sup>2</sup>	4,053.6	3,096.8	4,053.6	3,096.8	4,053.6	3,096.8	4,053.6	3,096.8		
	鉄筋のヤング係数	$E_s$ kN/mm <sup>2</sup>	200	200	200	200	200	200	200	200		
	設計基準強度	$f_{ck}$ N/mm <sup>2</sup>	30	30	30	30	30	30	30	30		
	コンクリートのヤング係数	$E_c$ kN/mm <sup>2</sup>	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0		
曲げひび割れ幅に対する照査	発生値	鉄筋形状の影響係数	$k_1$ —	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
		コンクリート品質の影響係数	$k_2$ —	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
		引張鉄筋の段数の影響係数	$k_3$ —	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
		曲げモーメント	$M_d$ kN・m	-109	0	-140	32	-126	0	-101	62	
		軸方向力	$N_d$ kN	0	0	0	0	0	0	0	0	
		鉄筋応力度の増加量	$\sigma_{se}$ N/mm <sup>2</sup>	49.5	0.0	79.4	23.1	58.7	0.0	60.3	46.2	
		収縮・クリープ等によるひずみ	$\epsilon'_{csd}$ ×10 <sup>-6</sup>	100	100	100	100	100	100	100	100	
		曲げひび割れ幅	$w$ mm	0.183	0.095	0.262	0.109	0.251	0.104	0.256	0.200	
		限界値	ひび割れ幅の限界値	$w_a$ mm	0.400	0.350	0.400	0.340	0.400	0.350	0.400	0.350
		構造物係数	$\gamma_i$ —	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
	照査	$\gamma_i \cdot w/w_a$ —	—	—	0.46	0.27	0.66	0.32	0.63	0.30	0.64	0.57
判定	$\gamma_i \cdot w/w_a \leq 1.0$ —	—	—	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK		
コンクリートの圧縮応力度に対する照査	発生値	コンクリートの圧縮応力度	$\sigma'_c$ N/mm <sup>2</sup>	2.7	—	4.4	1.1	3.3	—	3.5	2.4	
	限界値	$0.4f'_{ck}$ —	—	—	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	
	照査	$\sigma'_c/0.4f'_{ck}$ —	—	—	0.23	—	0.37	0.09	0.28	—	0.29	0.20
	判定	$\sigma'_c/0.4f'_{ck} \leq 1.0$ —	—	—	OK	—	OK	OK	OK	—	OK	OK

注) 発生曲げモーメントは、内側曲げを正とする。軸力は、圧縮を正とする。

表 2.14.1.7-20 ひび割れ幅に対する照査結果（側壁）

対象部材				南北面鉛直方向（放水口軸直角方向断面）				
				ハンチ部		標準部		
				外側	内側	外側	内側	
検討ケース				常時	常時	常時	常時	
環境条件				腐食性環境	特に厳しい腐食性環境	腐食性環境	特に厳しい腐食性環境	
諸元	梁幅	$B$	mm	1,000	1,000	1,000	1,000	
	梁高さ	$H$	mm	700	700	600	600	
	有効高さ	$d$	mm	565.0	480.0	465.0	480.0	
	主鉄筋の段数	—	段	1	1	1	1	
	主鉄筋の純かぶり	$c$	mm	122.5	210.5	122.5	110.5	
	主鉄筋 1段目	呼び径	—	—	D25	D19	D25	D19
		本数	—	本	8.000	8.000	8.000	8.000
		中心間隔	$c_s$	mm	125	125	125	125
	主鉄筋の鉄筋量	$A_s$	mm <sup>2</sup>	4,053.6	2,292.0	4,053.6	2,292.0	
	鉄筋のヤング係数	$E_s$	kN/mm <sup>2</sup>	200	200	200	200	
	設計基準強度	$f_{ck}$	N/mm <sup>2</sup>	30	30	30	30	
	コンクリートのヤング係数	$E_c$	kN/mm <sup>2</sup>	28.0	28.0	28.0	28.0	
曲げ ひび割れ幅 に対する 照査	発生値	鉄筋形状の影響係数	$k_1$	—	1.00	1.00	1.00	1.00
		コンクリート品質の影響係数	$k_2$	—	1.00	1.00	1.00	1.00
		引張鉄筋の段数の影響係数	$k_3$	—	1.00	1.00	1.00	1.00
		曲げモーメント	$M_d$	kN・m	-145	0	-132	29
		軸方向力	$N_d$	kN	0	0	0	0
		鉄筋応力度の増加量	$\sigma_{se}$	N/mm <sup>2</sup>	68.0	0.1	78.0	28.0
		収縮・クリープ等によるひずみ	$\epsilon'_{csd}$	$\times 10^{-6}$	100	100	100	100
	曲げひび割れ幅	$w$	mm	0.271	0.101	0.302	0.136	
	限界値	ひび割れ幅の限界値	$w_a$	mm	0.400	0.350	0.400	0.350
	構造物係数	$\gamma_i$	—	1.00	1.00	1.00	1.00	
	照査	$\gamma_i \cdot w/w_a$	—	—	0.68	0.29	0.76	0.39
判定	$\gamma_i \cdot w/w_a \leq 1.0$	—	—	OK	OK	OK	OK	
コンクリートの 圧縮 応力度 に対する 照査	発生値	コンクリートの圧縮応力度	$\sigma'_c$	N/mm <sup>2</sup>	3.7	—	4.5	1.2
	限界値	$0.4f'_{ck}$	—	N/mm <sup>2</sup>	12.0	12.0	12.0	12.0
	照査	$\sigma'_c/0.4f'_{ck}$	—	—	0.31	—	0.38	0.10
	判定	$\sigma'_c/0.4f'_{ck} \leq 1.0$	—	—	OK	—	OK	OK

注) 発生曲げモーメントは、内側曲げを正とする。軸力は、圧縮を正とする。

(2) 塩害

放水口における塩化物イオン濃度を鉄筋腐食発生限界濃度と比較し、鉄筋位置における塩化物イオン濃度/鉄筋腐食発生限界濃度の比が最大となる部位の照査結果を表 2.14.1.7-21 に示す。

表 2.14.1.7-21 塩害に対する照査結果

検討部位	鉄筋位置における 塩化物イオン濃度 (kg/m <sup>3</sup> )	鉄筋腐食発生限界 濃度 (kg/m <sup>3</sup> )	鉄筋位置における塩 化物イオン濃度/鉄筋 腐食発生限界濃度
底版	1.93	2.00	0.97
側壁	1.95	2.00	0.98

表 2.14.1.7-21 に示す塩害の照査結果について、底版を表 2.14.1.7-22 に、側壁を表 2.14.1.7-23 に示す。

表 2.14.1.7-22 塩害に対する照査結果（底版）

対象部材				東西方向（放水口 <sup>注</sup> 軸方向）				南北方向（放水口 <sup>注</sup> 軸直角方向）				
				ハンチ部		標準部		ハンチ部		標準部		
				外側	内側	外側	内側	外側	内側	外側	内側	
検討ケース				常時	常時	常時	常時	常時	常時	常時	常時	
設計供用期間		<i>t</i>	年	30	30	30	30	30	30	30	30	
諸元	セメントの種類	—	—	高炉セメント	高炉セメント	高炉セメント	高炉セメント	高炉セメント	高炉セメント	高炉セメント	高炉セメント	
	水セメント比	<i>W/C</i>	—	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	
	最外縁鉄筋のかぶりの設計値	<i>c</i>	mm	102.5	197.0	102.5	97.0	102.5	197.0	102.5	97.0	
塩害に対する照査	拡散係数	コンクリートの拡散係数の特性値	<i>D<sub>k</sub></i>	cm <sup>2</sup> /年	0.282	0.282	0.282	0.282	0.282	0.282	0.282	
		塩化物イオンの移動に及ぼすひび割れの影響を表す定数	<i>D<sub>o</sub></i>	cm <sup>2</sup> /年	400	400	400	400	400	400	400	
		コンクリートの材料係数	<i>γ<sub>c</sub></i>	—	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
		ひび割れ幅の存在が拡散係数に及ぼす影響を表す係数	<i>λ</i>	—	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	
		ひび割れ幅とひび割れ間隔の比	<i>w/l</i>	—	0.00035	0.00010	0.00050	0.00022	0.00039	0.00010	0.00040	0.00033
		塩化物イオンに対する設計拡散係数	<i>D<sub>d</sub></i>	cm <sup>2</sup> /年	0.492	0.342	0.582	0.414	0.516	0.342	0.522	0.480
	発生値	表面塩化物イオン濃度	<i>C<sub>o</sub></i>	kg/m <sup>3</sup>	15.10	15.10	15.10	15.10	15.10	15.10	15.10	15.10
		初期塩化物イオン濃度	<i>C<sub>i</sub></i>	kg/m <sup>3</sup>	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
		安全係数	<i>γ<sub>cl</sub></i>	—	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30
		鉄筋位置における塩化物イオン濃度	<i>C<sub>d</sub></i>	kg/m <sup>3</sup>	1.46	0.30	1.93	1.31	1.58	0.30	1.62	1.69
	限界値	鉄筋腐食発生限界濃度	<i>C<sub>lim</sub></i>	kg/m <sup>3</sup>	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	
	構造物係数	<i>γ<sub>i</sub></i>	—	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
	判定	$γ_i \cdot C_d / C_{lim}$	—	—	0.73	0.15	0.97	0.66	0.79	0.15	0.81	0.85
	照査	$γ_i \cdot C_d / C_{lim} \leq 1.0$	—	—	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	

表 2.14.1.7-23 塩害に対する照査結果（側壁）

対象部材				水平方向		
				外側	内側	
検討ケース				常時	常時	
設計供用期間		<i>t</i>	年	30	30	
諸元	セメントの種類	—	—	高炉セメント	高炉セメント	
	水セメント比	<i>W/C</i>	—	0.50	0.50	
	最外縁鉄筋のかぶりの設計値	<i>c</i>	mm	103.5	91.5	
塩害に対する照査	拡散係数	コンクリートの拡散係数の特性値	<i>D<sub>k</sub></i>	cm <sup>2</sup> /年	0.282	0.282
		塩化物イオンの移動に及ぼすひび割れの影響を表す定数	<i>D<sub>o</sub></i>	cm <sup>2</sup> /年	400	400
		コンクリートの材料係数	<i>γ<sub>c</sub></i>	—	1.00	1.00
		ひび割れ幅の存在が拡散係数に及ぼす影響を表す係数	<i>λ</i>	—	1.50	1.50
		ひび割れ幅とひび割れ間隔の比	<i>w/l</i>	—	0.00049	0.00031
		塩化物イオンに対する設計拡散係数	<i>D<sub>d</sub></i>	cm <sup>2</sup> /年	0.576	0.468
	発生値	表面塩化物イオン濃度	<i>C<sub>o</sub></i>	kg/m <sup>3</sup>	15.10	15.10
		初期塩化物イオン濃度	<i>C<sub>i</sub></i>	kg/m <sup>3</sup>	0.30	0.30
		安全係数	<i>γ<sub>cl</sub></i>	—	1.30	1.30
		鉄筋位置における塩化物イオン濃度	<i>C<sub>d</sub></i>	kg/m <sup>3</sup>	1.84	1.95
	限界値	鉄筋腐食発生限界濃度	<i>C<sub>lim</sub></i>	kg/m <sup>3</sup>	2.00	2.00
	構造物係数	<i>γ<sub>i</sub></i>	—	1.00	1.00	
	判定	$γ_i \cdot C_d / C_{lim}$	—	—	0.92	0.98
	照査	$γ_i \cdot C_d / C_{lim} \leq 1.0$	—	—	OK	OK

### 4.3 安定性の検討

安定性検討はケーソン幅が小さい放水トンネル軸直角方向に対して行う。

#### 4.3.1 荷重の算定

##### (1) 自重

自重の算定結果を表 2.14.1.7-24 に、算定に伴う方向の設定を図 2.14.1.7-13 に示す。

表 2.14.1.7-24 自重算定結果 (ケーソン)

	寸法			体積 V (m <sup>3</sup> )	単位体積 重量 γ (kN/m <sup>3</sup> )	自重 W (kN)	作用位置		抵抗 モーメント M <sub>r</sub> (kNm)
	X方向	Y方向	Z方向				軸直角方向 Y (m)	高さ Z (m)	
	Lx (m)	Ly (m)	Lz (m)						
底板	12.2	9.2	0.6	67.3	24.0	1,615.2	4.600	0.300	7,430
側壁 (北側)	12.2	0.6	9.0	65.9	24.0	1,581.6	0.300	5.100	474
側壁 (南側)	12.2	0.6	9.0	65.9	24.0	1,581.6	8.900	5.100	14,076
側壁 (東側)	0.6	8.0	9.0	43.2	24.0	1,036.8	4.600	5.100	4,769
側壁 (西側)	0.6	8.0	9.0	43.2	24.0	1,036.8	4.600	5.100	4,769
放水トンネル控除	φ3700×0.6m			-6.5	24.0	-156.0	4.600	3.698	-718
蓋	12.2	9.2	0.7	78.6	24.0	1,886.4	4.600	9.250	8,677
放水口	3.3	3.3	2.0	21.8	24.0	523.2	4.600	10.600	2,407
放水口控除	2.5	2.5	2.7	-16.9	24.0	-405.6	4.600	10.250	-1,866
合計						8,700.0			40,018

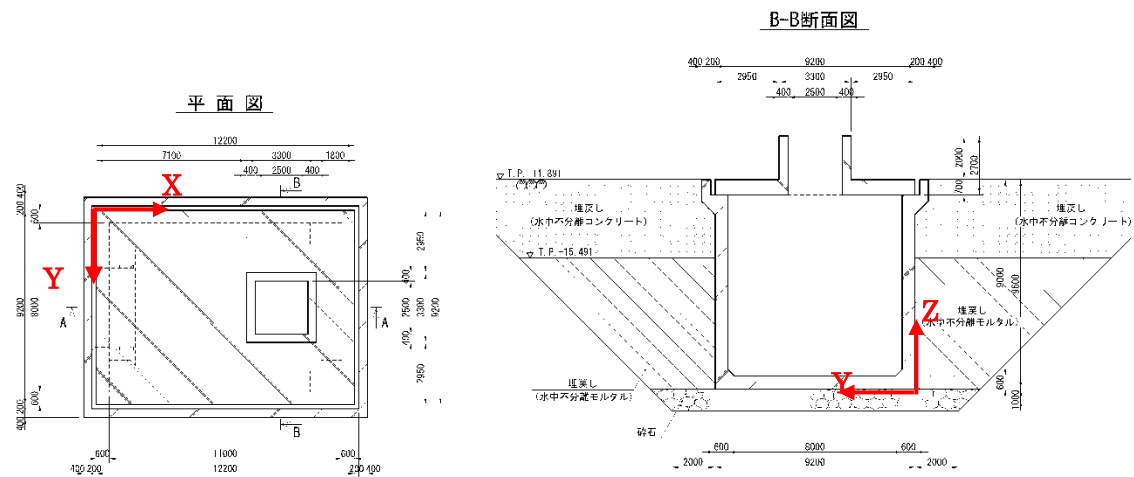


図 2.14.1.7-13 算定に伴う方向の設定

(2) 浮力

浮力の算定結果を表 2.14.1.7-25 に示す。

表 2.14.1.7-25 浮力算定結果 (ケーソン安定性)

	体積 $V$ ( $m^3$ )	単位体積重量 $\gamma$ ( $kN/m^3$ )	浮力 $W$ ( $kN$ )	作用位置		抵抗 モーメント $M_r$ ( $kNm$ )
				軸直角方向	高さ	
				$Y$ ( $m$ )	$Z$ ( $m$ )	
底版	67.3	10.1	-679.7	4.600	0.300	-3,127
側壁 (北側)	65.9	10.1	-665.6	0.300	5.100	-200
側壁 (南側)	65.9	10.1	-665.6	8.900	5.100	-5,924
側壁 (東側)	43.2	10.1	-436.3	4.600	5.100	-2,007
側壁 (西側)	43.2	10.1	-436.3	4.600	5.100	-2,007
放水口ネジ控除	-6.5	10.1	65.7	4.600	3.698	302
蓋	78.6	10.1	-793.9	4.600	9.250	-3,652
放水口	21.8	10.1	-220.2	4.600	10.600	-1,013
放水口控除	-16.9	10.1	170.7	4.600	10.250	785
合計			-3,661.2			-16,843

(3) 揚力

放水蓋に作用する揚力の算定条件を表 2.14.1.7-26 に、揚力の算定結果を図 2.14.1.7-14 に、最大揚力算定結果 (ケーソン安定性) を表 2.14.1.7-27 に示す。

表 2.14.1.7-26 揚力算定条件

	寸法		面積	揚力 係数
	X方向	Y方向		
	$L_x$ ( $m$ )	$L_y$ ( $m$ )	$A$ ( $m^2$ )	$C_L$ -
蓋	12.2	9.2	112.2	0.80

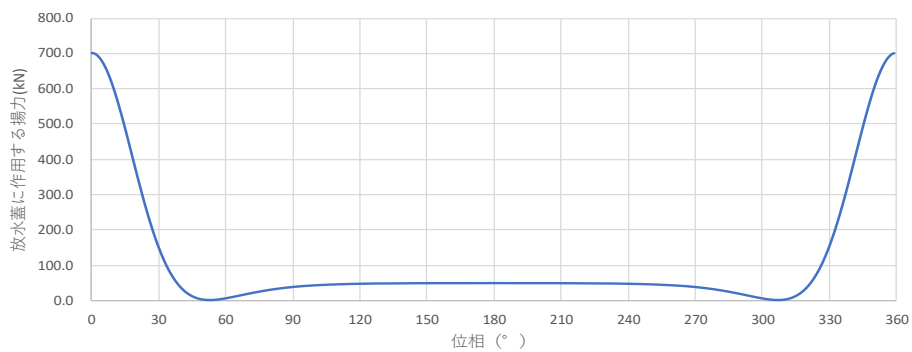


図 2.14.1.7-14 放水蓋に作用する揚力



表 2.14.1.7-27 最大揚力算定結果（ケーソン安定性）

位相	水粒子速度	揚力係数	揚力	作用位置		抵抗モーメント
				軸直角方向	高さ	
$\theta$ (°)	$u$ (m/s)	$C_L$ -	$P$ (kN)	$Y$ (m)	$Z$ (m)	$M_r$ (kNm)
0.00	3.899	0.80	-702.7	4.600	9.600	-3,232

#### 4.3.2 荷重集計結果

波浪時および地震時における荷重の集計結果を表 2.14.1.7-28 に示す。

表 2.14.1.7-28 荷重集計結果（ケーソン安定性，波浪時および地震時）

	波浪時	地震時
	P(kN)	P(kN)
自重	8,700.0	8,700.0
浮力	-3,661.2	-3,661.2
水平波力	0.0	0.0
揚力	-702.7	0.0
合計	4,336.1	5,038.8

#### 4.3.3 検討結果

##### (1) 算定式

浮上がりの検討について，以下の式にて行う。

$$F_s = W / U$$

$$U = V_w \cdot \gamma_w$$

U : 浮力 (kN)

W : 鉛直荷重 (kN)

V<sub>w</sub> : 地下水位以下の容積 (m<sup>3</sup>)

γ<sub>w</sub> : 水(海水) の単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)

(2) 検討条件

放水口の浮上がりに対する安全率を表 2.14.1.7-29 に示す。

表 2.14.1.7-29 浮上がりに対する安全率

荷重条件	供用時	
適用条件	常時および波浪時	地震時
浮上がり安全率	1.20	

(3) 照査結果

浮上がりに対する照査結果を表 2.14.1.7-30 に示す。

表 2.14.1.7-30 浮上がり照査結果

検討ケース			波浪時	地震時
浮力	P1	(kN)	-3,661.2	-3,661.2
揚力	P2	(kN)	-702.7	0.0
上向き荷重合計	P	(kN)	-4,363.9	-3,661.2
自重	W	(kN)	8,700.0	8,700.0
安全率	$F_s=W/P$	(-)	1.99	2.38
必要安全率	$F_{sreq}$	(-)	1.20	1.20
判定	-	-	OK	OK

以上より、浮上がりの安全率は下記の通り算出され、安全であることを確認した。

$$F_1 = W/U = 4363.9/8700.0 = 1.99 \geq 1.20$$

以上

## 放水設備の要求事項に関する補足説明（水理計算）

希釈後の ALPS 処理水の放水設備は、放水立坑内の堰を越流した水を、放水立坑（下流水槽）と発電所港湾外海面との水頭差により、約 1 km 離れた放水口まで移送する設計とする。また、放水設備における摩擦損失や水位上昇等を考慮した設計とした。

放水立坑や放水トンネル等の構造物については、別項で示す設計により決まるため、ここでは設計された構造物において水理計算を実施し、所定の放水量を確保できるか評価を行った。

## 1. 検討条件

## 1.1 水路寸法

水理計算に用いる縦断線形および諸構造物の寸法は、別項にて記載した。水理計算に用いた諸元一覧表を表 2.14.1.8-1 に示す。

## 1.2 計算条件

水理計算は通常運転時および海水移送ポンプが地震・津波等で異常停止した時の 2 つの運転状態にて検討する。

## (1) 通常運転時

通常運転時の水理計算に用いる計算条件は表 2.14.1.8-2 に示す 2 ケースとする。

## ① 運転条件

海水移送ポンプについては、通常時、1 台あたり定格流量  $2\text{m}^3/\text{s}$  の 2 台運転であるが、万が一、海水移送ポンプ 1 台が停止または点検等の際を考慮し予備を 1 台用意し、計 3 台設置する。したがって、海水移送ポンプ 2 台運転時 ( $4\text{m}^3/\text{s}$ ) に加え、保守的に 3 台運転時 ( $6\text{m}^3/\text{s}$ ) についても検討した。

## ② 潮位条件

潮位については、高水位時として朔望平均満潮位 (HWL : T.P.+0.757)、低水位時として朔望平均干潮位 (LWL : T.P.-0.778) を用いる。

## ③ 壁面条件（貝代、粗度係数）

放水立坑や放水トンネル内の壁面については、貝等の付着による壁面摩擦（粗度係数）の増大、ならびに貝の付着による水路断面欠損（貝代）を考慮する。

水路の壁面は、海水に接する環境が継続することで貝等の海生生物が付着し、壁面粗度の上昇と水路断面の欠損が見られる。壁面粗度上昇による壁面摩擦の増大ならびに貝付着による水路断面の欠損は、発電所の運転に支障をきたす恐れがあることから、水理計算の際は、貝代および粗度係数を考慮している。



表 2.14.1.8-1 水理計算数量諸元一覽

区間	位置	測量 座標 m	距離 m	累積 距離 m	位置 区分	掘削 勾配	地上・海底 標高 T.P.(m)	岩盤 上段 勾配	岩盤上限 標高 T.P.(m)	掘削		内空		水路		
										敷高 TP m	頂版高 TP m	敷高 TP m	頂版高 TP m	内径 m	内幅 m	
上流水槽			50.000	0.000	陸域		2.50		-3.70			-1.50	4.50	矩形	8.0	
堰部			2.300	50.000	陸域		2.50		-3.70			2.50	4.50	"	8.0	
下流水槽			5.000	52.300	陸域		2.50		-3.70			-12.70	4.50	"	8.0	
水槽壁			1.500	57.300	陸域	0.0%	2.50	3.0%	-3.70		-12.386	-9.436	-12.21	-9.62	円形	2.59
トンネル取付 水平部		-201.0	15.000	58.800	海底	0.0%	-5.00	3.6%	-3.75		-12.386	-9.436	-12.21	-9.62	"	2.59
斜路部1	CP1	-186.0	250.020	73.800	海底	3.6%	-5.00	3.0%	-4.29		-12.386	-9.436	-12.21	-9.62	"	2.59
斜路部2	CP2'	64.0	162.030	323.820	海底	3.6%	-7.00		-13.29		-21.387	-18.437	-21.21	-18.62	"	2.59
水平部1	CP4	226.0	426.798	485.850	海底	0.0%	-9.00		-13.29		-27.220	-24.270	-27.04	-24.45	"	2.59
水平部2	CP4'	652.8	11.992	912.648	海底	0.0%	-12.00		-18.31		-27.220	-24.270	-27.04	-24.45	"	2.59
斜路部3	CP6	664.8	162.320	924.640	海底	-4.9%	-12.00		-18.31		-27.220	-24.270	-27.04	-24.45	"	2.59
放水口 取付部		827.1	1.719	1086.960	海底	-4.9%	-12.20		-11.89		-19.266	-16.316	-19.09	-16.50	"	2.59
放水口 ケーン			7.031	1088.679	海底	0.0%	-11.89		-11.89				-20.89	-12.59	矩形	8.30
放水口			2.700	1095.710	海底		-11.89		-11.89				-20.89	-12.59	"	8.30
出口				1098.410			-11.89		-11.89				-9.89	"	"	2.5

表 2.14.1.8-2 水理計算条件一覧（通常運転時）

		ケース1	ケース2
運転条件	台数	2台	3台
	流量	4m <sup>3</sup> /s	6m <sup>3</sup> /s
潮位条件		朔望平均満潮位HWL T.P.+0.757m	
壁面条件	粗度係数	0.02	
	貝代	10cm	
水路条件	水路外径	295mm	
	セグメント厚	180mm	
	水路内径	2590mm	

火力・原子力発電所土木構造物の設計（増補改訂版）（一社）電力土木技術協会に記載の既設発電所における取放水路の設計貝代・粗度係数について、表 2.14.1.8-3 に示す。これによると、当社および他地点の原子力・火力発電所取放水路の貝代、粗度係数の設定値は、各地点によってさまざまであり、これは対象地点の貝繁殖環境や発電所燃料冷却への影響（燃料冷却に影響を及ぼす取水路の方が放水路に比べ設定値が大きい）等によるものである。特に、瀬戸内海や内湾に位置する発電所は貝の生育が盛んであるため、粗度係数を高く設定している（0.025~0.027）が、その他の発電所における設定値は 0.012~0.02 である。

福島第一原子力発電所の放水路の貝付着状況については、6号機放水口～放水室マンホールまでの約 50m の区間において付着物の分布を調べた結果、放水路側面で最大 10cm の付着物を確認した。

また、表 2.14.1.8-4 に示す水理公式集 2018 年（公社）土木学会によると、暗渠におけるコンクリートの粗度係数は 0.01~0.02 と示されている。

以上より、放水設備の水理設計に用いる貝代・粗度係数をそれぞれ、貝代 10cm、粗度係数 0.02 を設定した。

表 2.14.1.8-3 取放水路の貝の付着代と粗度係数

種類	取放水路の形式	貝代 (cm)	粗度係数
取水路	暗渠	0.0~20.0 (0.0,5.0,10.0が多い)	0.014~0.027 (0.015,0.020が多い)
	管路	0.0~10.0	0.015~0.018
放水路	暗渠	0.0~20.0 (0.0が多い)	0.014~0.027
	トンネル	0.0~20.0 (0.0が多い)	0.014~0.027

※火力・原子力発電所土木構造物の設計（増補改訂版）（一社）電力土木技術協会より整理

表 2.14.1.8-4 Manning の粗度係数一覧表

水路の形式	材料および潤辺の性質	n の範囲	n の標準値	
暗きよ	真ちゅう	0.009~0.013	0.010	
	溶接鋼管	0.010~0.014	0.012	
	リベット鋼管	0.013~0.017	0.016	
	鑄鉄	塗装	0.010~0.014	0.013
		塗装なし	0.011~0.016	0.014
	コルゲート鋼管 (大型)	0.021~0.031	0.024	
	合成樹脂	0.008~0.010	0.009	
	ガラス	0.009~0.013	0.010	
	モルタル	0.011~0.015	0.013	
	コンクリート	0.010~0.020	0.014	

※水理公式集 2018年（公社）土木学会より

#### ④形状損失

管路の断面形状が急変する場合、急変部における圧力勾配の局所的な逆転などのため、はく離渦が発生して、局所的に水頭の損失が生じる。このような損失を形状損失という。

ここでは、放水トンネル線形の変化点における屈折の損失、放水トンネルと放水ロケソン接続部での急拡による損失、放水ロケソン内での曲がりによる損失、放水ロケソンと放水ロケソン出口部における急縮による損失、放水ロケソン出口から外洋に放水される際の流出による損失の5つの損失を考慮した設計を行う。

- ・ 屈折による損失（水理公式集 2018年（公社）土木学会）

$$h_{be} = f_{be} \frac{V^2}{2g}$$

$$f_{be} = 0.94 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2.5 \sin^4 \frac{\theta}{2}$$

ここに、 $h_{be}$ ：屈折による損失水頭(m)、 $f_{be}$ ：屈折損失係数、 $V$ ：管内断面平均流速(m/s)、 $\theta$ ：屈折角である。

- ・急拡による損失（水理公式集 2018年（公社）土木学会）

$$h_{se} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \frac{V_1^2}{2g} = \left[1 - \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2\right]^2 \frac{V_1^2}{2g} = f_{se} \frac{V_1^2}{2g}$$

ここに、 $h_{se}$ ：急拡による損失水頭(m)、 $f_{se}$ ：急拡損失係数、 $V_1$ 、 $V_2$ ：急拡前後の管内断面平均流速(m/s)、 $A_1$ 、 $A_2$ ：急拡前後の管断面積(m<sup>2</sup>)、 $D_1$ 、 $D_2$ ：急拡前後の管径(m)である。図 2.14.1.8-1 に概念図を示す。

- ・急縮による損失（水理公式集 2018年（公社）土木学会）

$$h_{sc} = \left(\frac{1}{C_c}\right)^2 \frac{V_2^2}{2g} = f_{sc} \frac{V_2^2}{2g}$$

ここに、 $h_{sc}$ ：急縮による損失水頭(m)、 $C_c$ ：縮流係数、 $f_{sc}$ ：急縮損失係数、 $V_1$ 、 $V_2$ ：急縮前後の管内断面平均流速(m/s)、 $A_1$ 、 $A_2$ ：急縮前後の管断面積(m<sup>2</sup>)である。図 2.14.1.8-2 に概念図を示す。

図 2.14.1.8-2 のように断面が急縮する場合、急縮部下流において流水断面が $C_c A_2$ に縮小してから、 $A_2$ の面積に拡大するとして $h_{sc}$ が求められる。

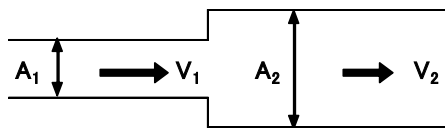


図 2.14.1.8-1 急拡管

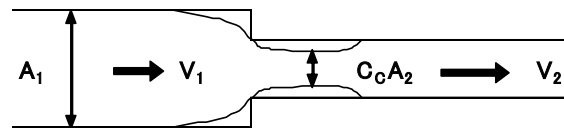


図 2.14.1.8-2 急縮管

## (2) 異常停止時

地震・津波等発生による海水移送ポンプ異常停止に伴い、水槽およびトンネル内においてサージング（逆流）の発生が懸念されるため、異常停止時の水理計算を実施した。

### ① 運転条件

海水移送ポンプについては、通常時 2 台運転であるが、より保守的な 3 台運転時を運転条件とした。

### ② 潮位条件

潮位については高水位時として朔望平均満潮位（HWL）T.P.+0.757 を用いた。

### ③ 解析手法

海水移送ポンプが急停止した際の水槽内の水位変動を算出するため、非定常一次元管路流れモデルを適用する。これは、図 2.14.1.8-3 のようにピットと管路の 2 要素を用い



て取放水路をモデル化し、ピット水位および管路内平均流速の 2 変数を時間発展で求める方法である。なお、この方法では、管路は常に満管の条件が前提となる。

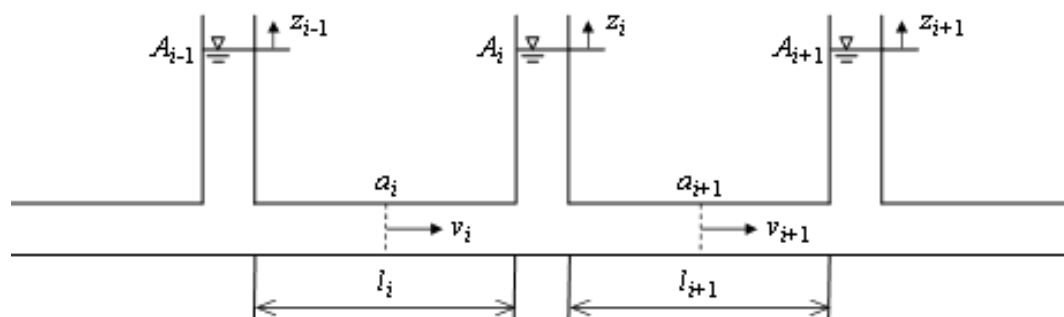


図 2.14.1.8-3 一次元管路流れモデル

#### ④放流施設のモデル化

放水立坑から放水口までの区間は、堰部を除き、水路天端高が海水面に対して低く、満管状態と考えられるため、放水路の水理応答解析には非定常一次元管路流れモデルを適用した。

ここで使用する「非定常一次元管路流れモデル」は、管路（堰を含む）、ピットの 2 種類の要素で構成される。放水施設の水路モデルを図 2.14.1.8-4 に示す。

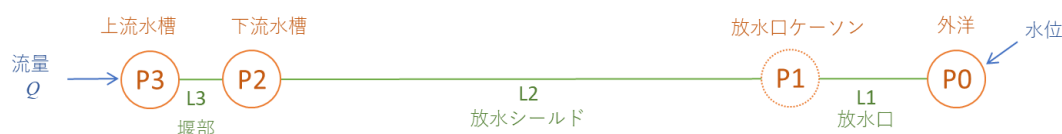


図 2.14.1.8-4 水路モデル

#### ⑥境界条件

希釈後の ALPS 処理水の流量を放水立坑（上流水槽）へ流入させた。計算開始時には流入によって変動が発生するため、放水立坑内の水面が十分安定し定常状態となった後、流入量の変動を入力した。本計算では、定常解析の結果に基づき、計算開始から 1200 秒後に海水移送ポンプ流量の変動を入力した。

#### ⑦摩擦損失

摩擦損失係数は、0.015（貝代なし）とした。予備検討を行った結果、サージングによる水位上昇は、貝代なしの場合により大きくなることを確認した。

#### ⑧形状損失

(1) 通常運転時 ④形状損失と同様にする。

#### ⑨波浪条件

波浪条件は、50 年確率有義波高 7.0m の設計波高を設定する。

## 2. 通常運転時の水理計算結果

表 2.14.1.8-5 に通常運転時の水理計算結果（放水立坑（上流水槽・下流水槽）の水位）を示す。また、表 2.14.1.8-6～8 に水理計算結果の詳細を示す。

放水立坑（下流水槽）は、放水トンネル、放水口を通じて外洋の潮位と連動する構造となるが、海水移送ポンプ 3 台運転時の最も流量が多い条件においても、放水立坑（下流水槽）と海底面の水頭差（1.64m：放水立坑（下流水槽）～放水口の損失合計）により、希釈後の ALPS 処理水を自然流下可能であることを確認した。

また、海水移送ポンプ 3 台運転、朔望平均満潮位（HWL）時において、放水立坑（下流水槽）の水位は T.P.+2.40m で堰部天端 T.P.+2.50m および放水立坑（下流水槽）天端 T.P.+4.50m を超えないことを確認した。

したがって、放水立坑（上流水槽）の水位は、放水立坑（下流水槽）の水位によらず、堰部での越流水深と放水立坑（上流水槽）内の摩擦損失のみで決まることを確認した。また、その時の最大水位 T.P.+3.11m は放水立坑（上流水槽）の天端 T.P.+4.50m を超えないことを確認した。

表 2.14.1.8-5 通常運転時の水理計算結果（放水立坑の水位）

ケース	運転条件 (ポンプ流量)	放水立坑 (上流水槽)	放水立坑(下流水槽)		トンネル内流速 (平均流速)
			HWL(T.P.+0.76m)	LWL(T.P.-0.78m)	
1	2台(4.0m <sup>3</sup> /s)	T.P.+2.97m	T.P.+1.49m	T.P.-0.05m	0.89m/s
2	3台(6.0m <sup>3</sup> /s)	TP.+3.11m	T.P.+2.40m	T.P.+0.86m	1.34m/s









### 3. 異常停止時の検討結果

海水移送ポンプの異常停止時（地震，津波，高波浪時等）に伴う，水槽およびトンネル内における水位変動（サージング）を計算した結果，放水立坑（下流水槽）での水位上昇は T.P.+2.4m となった。放水立坑（上流水槽）と放水立坑（下流水槽）を分ける堰部の天端高さは T.P.+2.5m であることから，水位変動による放水立坑（下流水槽）側から放水立坑（上流水槽）側への越水はないため，放水立坑（上流水槽）側の水位は T.P.+2.5m となる。また，放水立坑（上流水槽）と放水立坑（下流水槽）の天端高さは共に T.P.+4.5m であることから，放水立坑からの溢水のないことを確認した。

以上

## 2.14.2 自然現象に対する設計上の考慮 への適合性



措置を講ずべき事項

## II. 設計，設備について措置を講ずべき事項

### 1 4. 設計上の考慮

○施設の設計については，安全上の重要度を考慮して以下に掲げる事項を適切に考慮されたものであること。

#### ②自然現象に対する設計上の考慮

- ・安全機能を有する構築物，系統及び機器は，その安全機能の重要度及び地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響を考慮して，耐震設計上の区分がなされるとともに，適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられる設計であること。
- ・安全機能を有する構築物，系統及び機器は，地震以外の想定される自然現象（津波，豪雨，台風，竜巻等）によって施設の安全性が損なわれない設計であること。重要度の特に高い安全機能を有する構築物，系統及び機器は，予想される自然現象のうち最も苛酷と考えられる条件，又は自然力に事故荷重を適切に組み合わせた場合を考慮した設計であること。

### 2.14.2.1 措置を講ずべき事項への適合方針

#### (1) 地震に対する設計上の考慮

ALPS 処理水希釈放出設備を構成する機器は，その安全機能の重要度，地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響（公衆被ばく影響）や廃炉活動への影響等を考慮した上で，核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等における耐震クラス分類を参考にして耐震設計上の区分を行うとともに，適切と考えられる設計用地震力に耐えられる設計とする。

#### (2) 地震以外に想定される自然現象（津波，豪雨，台風，竜巻等）に対する設計上の考慮

ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設は，地震以外の想定される自然現象（津波，豪雨，台風，竜巻等）によって施設の安全性が損なわれない設計とする。

## 2.14.2.2 対応方針

### 2.14.2.2.1 自然現象に対する設計上の考慮

施設の設計については、安全上の重要度を考慮して以下について適切に考慮したものとする。

#### ○自然現象に対する設計上の考慮

- ・安全機能を有する構築物、系統及び機器は、その安全機能の重要度、地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響（公衆被ばく影響）や廃炉活動への影響等を考慮した上で、核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等における耐震クラス分類を参考にして耐震設計上の区分を行うとともに、適切と考えられる設計用地震力に耐えられる設計とする。また、確保できない場合は必要に応じて多様性を考慮した設計とする。
- ・安全機能を有する構築物、系統及び機器は、地震以外の想定される自然現象（津波、豪雨、台風、竜巻等）によって施設の安全性が損なわれないものとする。その際、必要に応じて多様性も考慮する。重要度の特に高い安全機能を有する構築物、系統及び機器は、予想される自然現象のうち最も苛酷と考えられる条件、又は自然力に事故荷重を適切に組み合わせた場合を考慮したものとする。

*(実施計画：II-1-14-1)*

#### 2.14.2.2.2 自然現象に対する ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設の設計上の考慮

##### 2.14.2.2.2.1 地震に対する ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設の設計上の考慮

ALPS 処理水希釈放出設備を構成する構築物、系統及び機器は、その安全機能の重要度、地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響（公衆被ばく影響）や廃炉活動への影響等を考慮した上で、核燃料物質を非密封で扱う燃料加工施設や使用施設等における耐震クラス分類を参考にして耐震設計上の区分を行うとともに、適切と考えられる設計用地震力に耐えられる設計とする。

なお、主要な機器の耐震性を評価するにあたっては、原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601）等に準拠することを基本とするが、評価手法、評価基準について実態に合わせたものを採用する。

ポリエチレン管、耐圧ホース等は、材料の可撓性により耐震性を確保する。

*(実施計画：II-2-50-3)*

放水設備を構成する設備は、ALPS 処理水希釈放出設備の排水（海水で希釈して、トリチウムを含む全ての放射性核種の告示濃度比総和が 1 を下回った水）を取り扱うことを踏まえ、耐震設計上の区分を行うとともに、適切と考えられる設計用地震力に耐えられる設計とする。

*(実施計画：II-2-50-7)*

#### (1) 耐震性の基本方針

ALPS 処理水希釈放出設備は、2021 年 9 月 8 日の原子力規制委員会で示された耐震設計の考え方を踏まえ、その安全機能が喪失した場合における公衆への放射線影響を評価した結果、直接線・スカイシャイン線による外部被ばく線量と、漏えいした ALPS 処理水の一部が蒸発して大気中に移行した場合の内部被ばく線量を合わせたとしても、その実効線量は  $1\mu\text{Sv}$  未満と評価されることから、耐震 C クラスと位置付けられる。

ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設は、耐震 C クラスの設備に要求される地震動に対して必要な強度を確保する。耐震性の評価においては原則、構築物（間接支持構造物含む）は  $1.0\text{Ci}$ 、機器は  $1.2\text{Ci}$  の水平方向設計震度を適用する。また、主要な機器及び鋼管の耐震性を評価するにあたっては、原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601）等に準拠して構造強度評価を行うことを基本とするが、評価手法、評価基準について実態に合わせたものを採用する。なお、ALPS 処理水希釈放出設備に使用する耐圧ホース、ポリエチレン管等については、材料の可撓性により耐震性を確保する。

*(実施計画：II-2-50-添3-2)*

(2) ALPS 処理水希釈放出設備の機動的対応等の影響を緩和する措置について

ALPS 処理水希釈放出設備の測定・確認用タンクは、可撓性のある連結管にてタンク間を連結し、連結弁は基本的に開として運用を行う。地震により ALPS 処理水希釈放出設備から ALPS 処理水が漏えいするおそれがある場合又は漏えいした場合を想定し、漏えいの拡大による敷地外への影響を防止又は緩和するため、以下の対策を講じる。

- ・震度 5 弱以上の地震発生時、免震重要棟集中監視室からの遠隔操作により海洋放出を停止するとともに、測定・確認用設備の出口側電動弁を閉とし、タンク水位による漏えい確認を実施するとともに、屋外の ALPS 処理水移送配管を含む全ての設備の重点パトロールを行い、設備の異常の有無を確認する。
- ・地震により耐震 C クラスのタンク等が損傷し、貯留水が敷地外へ著しく漏えいすることを防止するために基礎外周堰を設置する。当該堰については、B クラスの構築物に要求される水平方向設計震度に対して、必要な強度を確保する。
- ・貯留水が漏えいし、基礎外周堰内に滞った場合には、仮設ポンプ、高圧吸引車等にて漏えい水の回収を行う。回収した漏えい水は、健全なタンク、建屋に排水を行う。
- ・ALPS 処理水の移送配管については、排水路から可能な限り離隔するとともに、移送配管に使用するポリエチレン管は、ポリエチレン管の外側に外装管（接合部は防水カバー）を取り付けることで、漏えい拡大を防止する施工を行う。

(実施計画：II-2-50-添3-17)

放水設備は、ALPS 処理水希釈放出設備の排水（海水で希釈して、トリチウムを含む全ての放射性核種の告示濃度比総和が 1 を下回った水）を取り扱うことを踏まえ、設備等の機能喪失による公衆への放射線影響の程度により、耐震 C クラスと位置付けられる。そのため、耐震 C クラスの設備に要求される地震力に耐えられる設計とする。

(実施計画：II-2-50-添5-2, 計算結果は「2.14.1 準拠規格及び基準への適合性」参照)

#### 2.14.2.2.3 地震以外に想定される自然現象（津波、豪雨、台風、竜巻等）に対する ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設の設計上の考慮

ALPS 処理水希釈放出設備は、地震以外の想定される自然現象（津波、豪雨、台風、竜巻等）によって、施設の安全性が損なわれないよう設計する。

*(実施計画：II-2-50-4)*

放水設備は、地震以外の想定される自然現象（津波、台風）によって施設の安全性が損なわれない設計とする。

*(実施計画：II-2-50-7)*

##### (1) 津波

ALPS 処理水希釈放出設備のうち、希釈設備を除く、測定・確認用設備及び移送設備の一部については津波が到達しないと考えられる T.P.約 33.5m 以上の場所に設置する。

また、津波注意報等が出た際は、津波による設備損傷のおそれを考慮して移送設備、希釈設備を運転員が手動により免震重要棟集中監視室から停止できる設計とする。なお、緊急遮断弁-1 については、津波による影響を緩和する観点から、T.P.約 11.5m のエリアに施設する日本海溝津波防潮堤（天端高さ T.P.約 13.5m）の内側に設置する。

放水設備は、津波に対する浸水は不可避であることから、復旧性に応じて、耐波圧性を有する設計とする。

*(実施計画：II-2-50-添 2-8~9)*

##### (2) 豪雨

ALPS 処理水希釈放出設備のうち、循環ポンプ、ALPS 処理水移送ポンプ、緊急遮断弁-1、制御盤等の電気品は、豪雨による影響を受けにくい屋内に設置する。

*(実施計画：II-2-50-添 2-9)*

##### (3) 積雪

多核種移送設備建屋及び 5,6 号機東側電気品建屋は、積雪による設備の損傷を防止するため、建築基準法施行令及び福島県建築基準法施工細則に基づく積雪荷重に対して設計する。

*(実施計画：II-2-50-添 2-9)*

#### (4) 落雷

ALPS 処理水希釈放出設備のうち多核種移送設備建屋及び 5,6 号機東側電気品建屋に設置する電気設備に対して、避雷針の設置、機器接地等により落雷による損傷を防止する設計とする。

(実施計画：II-2-50-添 2-9)

#### (5) 台風（強風，高潮）

ALPS 処理水希釈放出設備のうち、循環ポンプ，ALPS 処理水移送ポンプ，制御盤等の電気品は台風（強風）による設備損傷の可能性が低い多核種移送設備建屋又は 5,6 号機東側電気品建屋内に設置する。その他，屋外に設置する移送配管等の機械品においては基礎ボルト等により固定することで転倒しない設計とする。

なお，放水立坑（上流水槽）及び放水設備は，台風（高潮）で海面が上昇することによる影響についても考慮した設計とするとともに，高潮警報が発生した場合には，沿岸から 1km 離れた海洋へ放出ができないおそれがあるため，運転員が手動により免震重要棟集中監視室から海洋放出を停止できる設計とする。

(実施計画：II-2-50-添 2-9)

#### (6) 竜巻

ALPS 処理水希釈放出設備は，竜巻注意情報が発生した場合，竜巻による設備損傷のおそれを考慮して，運転員が手動により免震重要棟集中監視室から設備を停止できる設計とする。

(実施計画：II-2-50-添 2-9)

#### (7) 凍結

ALPS 処理水希釈放出設備は，水の移送を停止した場合，屋外敷設のポリエチレン管は凍結による破損が懸念される。そのため，屋外敷設のポリエチレン管に保温材を取り付け，凍結防止を図る。

なお，保温材は高い気密性と断熱性を有する硬質ポリウレタン等を使用し，凍結しない十分な厚さを確保する。

(実施計画：II-2-50-添 2-9~10)

(8) 紫外線

ALPS 処理水希釈放出設備のうち屋外敷設箇所のポリエチレン管は、紫外線による劣化を防ぐため、紫外線劣化防止効果のあるカーボンブラックを添加した保温材を取り付ける。もしくは、カーボンブラックを添加していない保温材を使用する場合は、カーボンブラックを添加した被覆材または紫外線による劣化のし難い材料（鋼板等）を取り付ける。

(実施計画：II-2-50-添2-10)

(9) 高温

ALPS 処理水希釈放出設備の材質として使用するポリエチレンは、ALPS 処理水の温度がほぼ常温のため、熱による材料の劣化の可能性は十分低い。

(実施計画：II-2-50-添2-10)

(10) 生物学的事象

ALPS 処理水希釈放出設備は、海生生物（くらげ等）の襲来等や、建屋貫通孔等からの小動物の侵入が想定されるため、前者は5,6号機取水路開渠の北防波堤や仕切堤等により侵入を防止する設計とし、後者は建屋貫通孔や電路端部等に対してシール材を施工することにより、侵入を防止する設計とすることで対策を行う。

(実施計画：II-2-50-添2-10)

(11) その他

ALPS 処理水希釈放出設備は、上記の自然現象の他、火山、森林火災等により設備損傷のおそれがある場合は、運転員が手動により免震重要棟集中監視室から設備を停止できる設計とする。

(実施計画：II-2-50-添2-10)

## ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設の耐震クラス分類に関する補足説明

### 1. 耐震性の基本方針

2021年9月8日に「令和3年2月13日の福島県沖の地震を踏まえた東京電力福島第一原子力発電所の耐震設計における地震動とその適用の考え方（2回目）」（令和3年度第30回原子力規制委員会 資料2）が示されたことを受け、ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設の耐震クラス分類を検討した結果、「Cクラス」が適切と考えている。

#### 「令和3年2月13日の福島県沖の地震を踏まえた東京電力福島第一原子力発電所の耐震設計における地震動とその適用の考え方（2回目）」別添

1Fの施設・設備の耐震評価においては、以下の2つを考慮して適用する地震動を設定するとともに、必要に応じて求める対策を判断する。

- ① 耐震クラス分類（S, B+, B, C）
- ② 廃炉活動への影響、上位クラスへの波及的影響、供用期間、設計の進捗状況、内包する液体の放射エネルギー等



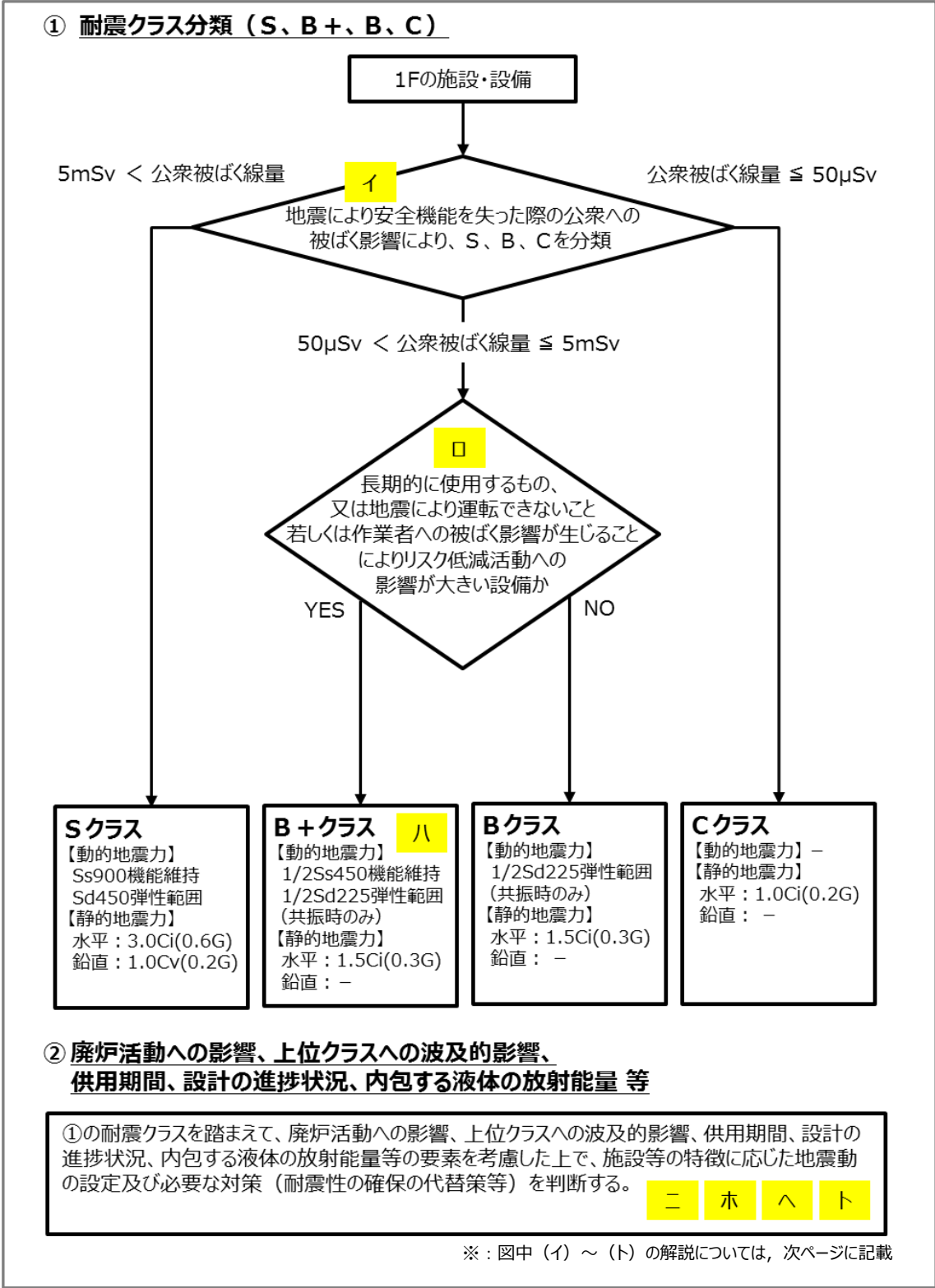


図 2.14.2.1-1 耐震クラス分類と施設等の特徴に応じた地震動の設定及び必要な対策を判断する流れ

【(イ) 地震により安全機能を失った際の公衆被ばく影響】

- 核燃料施設等の耐震クラス分類を参考にして、地震による安全機能喪失時の公衆被ばく線量により、S, B, C を分類する。液体放射性物質を内包する施設・設備にあつては、液体の海洋への流出のおそれのない設計を前提とした線量評価によるものとする。

【(ロ) 通常の B クラスよりも高い耐震性が求められる B+クラスの対象設備の要件】

- 「運転できないこと若しくは作業員への被ばく影響が生じることによりリスク低減活動への影響が大きい設備」の具体例は以下の通り。
  - ・ 建屋滞留水・多核種除去設備などの水処理設備、使用済燃料をプールからより安定性の高い乾式キャスクへ移動させるために必要な燃料取出設備等。
  - ・ 閉じ込め・遮へい機能喪失時の復旧作業における従事者被ばく線量が 1 日当たりの計画線量限度を超える設備等。

【(ハ) B+クラスの 1/2Ss450 機能維持】

- Ss900 の 1/2 の最大加速度 450gal の地震動に対して、運転の継続に必要な機能の維持や閉じ込め・遮へい機能の維持を求める。

【(ニ) 上位クラスへの波及的影響】

- 上位クラスへの波及的影響がある場合、原則上位クラスに応じた地震動を念頭に置くが、耐震クラス分類の考え方と同様に、下位クラスによる波及的影響を起因とする敷地周辺の公衆被ばく線量も勘案し、適切な地震動を設定する。

【(ホ) 地震力の組合せ】

- 地震力の算定に際しては、水平 2 方向及び鉛直方向について適切に組み合わせる。

【(ヘ) 液体放射性物質を内包する設備】

- 多核種除去設備等で処理する前の液体等、放出による外部への影響が大きい液体を内包する設備については、Ss900 に対して、海洋に流出するおそれのない設計とすることを求める（滞留水が存在する建屋、ALPS 処理前の水や濃縮廃液を貯留するタンクの堰等）。これ以外の液体を内包する設備については、上位クラスの地震動に対する閉じ込め機能の確保又は漏えい時の影響緩和対策を求める※。

※：設備自体を耐震 C クラスから B クラスに格上げ、周囲の堰等に上位クラスの地震動に対して閉じ込め機能を維持する、漏えい時に仮設ホースによる排水等の機動的対応を講ずる等により、海洋への流出を緩和する措置を想定。

#### 【(ト) 耐震性の確保に対する代替措置】

- 耐震性の確保の代替策として、機動的対応や耐震性の不足に起因するリスクを早期に低減させるための対策を講ずるとしてもよい。具体例は以下のとおり。

例1：Bクラス設備の1/2Ss450機能維持の手段としては、耐震性の確保の他、機動的対応（予備品への交換、可搬型設備の運用等）による代替手段を想定。

例2：中低濃度タンクや吸着塔一時保管施設等の耐震性の不足に起因するリスクを早期に低減させる対策として、耐震性の高い建屋やタンクへの移替え及び移管、スラリー安定化処理設備や海洋放出設備による処理等を早期に行うことを想定。

## 2. ALPS 処理水希釈放出設備の機能喪失の影響評価

### 2.1 想定条件

ALPS 処理水希釈放出設備は、測定・確認用設備、移送設備、希釈設備により構成されるが、今回想定する条件は、最も取り扱い水量の多い、測定・確認用タンクを対象として評価を行う。なお、移送設備における移送配管、希釈設備における放水立坑で想定される漏えい量については、後述する。

今回想定した事象は、地震によって、測定・確認用タンクが滑動等により連結管等が損傷し、当該損傷部から ALPS 処理水が漏えいすることを想定する。

### 2.2 測定・確認用タンクへの混水の可能性について

測定・確認用タンクにトリチウム以外の放射性核種の告示濃度比総和 1 以上の水が混水することを防止するために、以下の設計、運用上の対策を行う。

- ・測定・確認用タンクへの移送に使用する配管は、多核種除去設備等の移送配管であり、配管構成上、Sr 処理水等が混水する可能性はない。
- ・多核種除去設備等の移送配管を使用し、至近に移送を行った G1 エリアタンクの放射能濃度は、トリチウム以外の放射性核種<sup>※</sup>の告示濃度比総和が 1 未満であることを確認している。
- ・ALPS 処理水希釈放出設備の測定・確認用タンクには、多核種除去設備等のサンプルタンク、または ALPS 処理水等貯留タンクにてトリチウム以外の放射性核種<sup>※</sup>の告示濃度比総和が 1 未満であることを確認または評価した水の移送を行う。

※：Cs-134, Cs-137, Sr-90, Co-60, Sb-125, Ru-106, I-129 の 7 核種

### 2.3 機能喪失による公衆への放射線影響の程度について

ALPS 処理水希釈放出設備の測定・確認用タンクについて、機能喪失による公衆への放射線影響を確認するため、線量評価を実施した。評価条件については、表 2.14.2.1-1 の評価条件（「実施計画II 2.5 汚染水処理設備等」 添付資料-12 別紙-7に記載）である、多核種処理済水の分析結果（平成 25 年 7 月）をタンク内保有水の放射能濃度として設定する。

合わせて、表中には、K4 エリアタンクの代表濃度と、至近の分析結果（過去 1 年の平均値）のそれぞれを記載している。

なお、K4 エリアタンクの代表濃度や、至近の分析結果を用いた場合の線量評価結果の相対比は 1.00~1.02 程度であることを確認しているが、K4 エリアタンクの線量評価値が設定濃度使用の場合に比べ 2%ほど高い場合でも、その影響（ $0.0019 \mu \text{ Sv/y} \times 0.02 = 3.8\text{E-}05 \mu \text{ Sv/y}$ ）は極めて小さいことから、設定濃度を用いての評価は実態に沿った適切な評価になっていると考える。

表 2.14.2.1-1 タンク内保有水の放射能濃度 [Bq/cm<sup>3</sup>]

核種	設定濃度	K4 エリア	至近の分析結果
Co-60	3.4E-04	4.4E-04	5.7E-04
Sr-90	1.1E-04	7.3E-03	1.1E-04
Ru-106	1.3E-01	1.2E-03	1.3E-03
Sb-125	7.1E-03	4.6E-04	4.5E-04
I-129	5.2E-02	1.9E-03	2.9E-04
Cs-134	3.2E-04	1.6E-04	1.8E-04
Cs-137	3.2E-04	6.0E-04	1.9E-04
H-3	1.1E+03	2.5E+02	4.3E+02
告示総和 (7 核種)	7.1	0.47	0.06

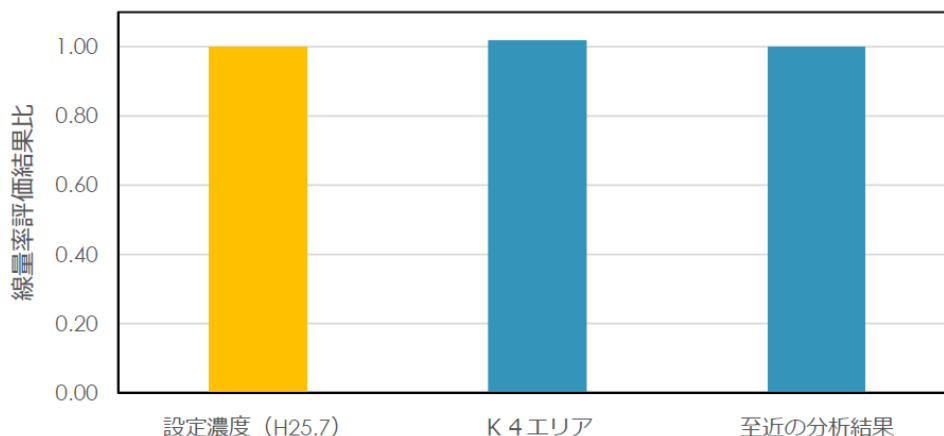


図 2.14.2.1-2 線量率評価結果比 (設定濃度を1とした場合)

### 2.3.1 機能喪失した場合の直接線・スカイシャイン線評価

機能喪失した場合の直接線・スカイシャイン線の評価として、地震によってタンクの滑動等により連結管等が損傷し、測定・確認用タンクの貯留水全てがタンク外に漏えいしたことを想定する。

#### (1) 条件

K4 エリアタンクが健全な場合の直接線・スカイシャイン線による被ばく評価結果は、タンク群と体積・高さが同じとなる1つの大型円柱形上で存在し続けると仮定して、表 2.14.2.1-2 の条件で実施している。当該条件にて評価コード MCNP を使用して評価した結果、最寄りの線量評価点 (No.70) において、0.0001mSv/年未満 (0.0019μSv/年) と評価されている (平成 28 年 7 月 4 日に実施計画変更認可済みの K4 エリアタンクの評価参照)。

機能喪失した場合の評価では、図 2.14.2.1-3 の通り、タンクが健全な場合と比較して、タンクの遮へいがなくなったことを想定して評価を実施する。遮へいが無くなった条件においては、図 2.14.2.1-4 に示す鉄中におけるガンマ線透過率より、敷地境界に与える影響が最大 2.0 倍程度上昇すると想定する。

表 2.14.2.1-2 K-4 エリアタンクの評価条件

項目	条件	項目	条件
タンク水深	13,465mm <sup>※</sup>	タンク材質	SS400
タンク内径	10,000mm	タンク側板	15mm
タンク容量	1,058m <sup>3</sup> <sup>※</sup>	タンク天板	9mm

※：実際の 100% 水位：12,700mm に対して、保守的に評価

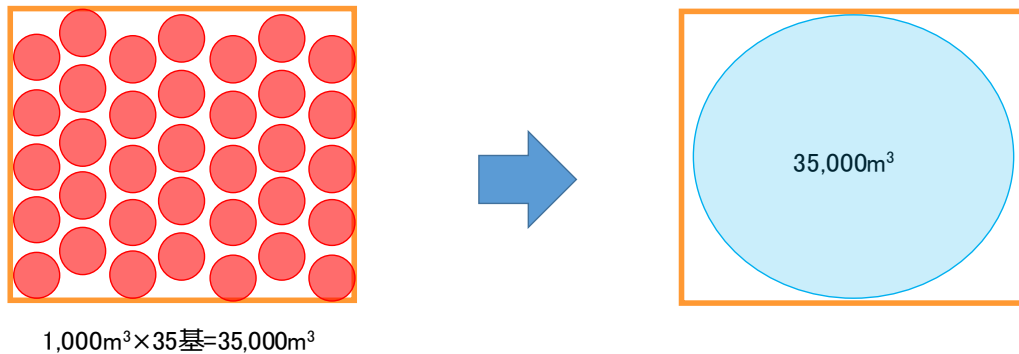


図 2.14.2.1-3 直接線・スカイシャイン線による被ばく評価モデル

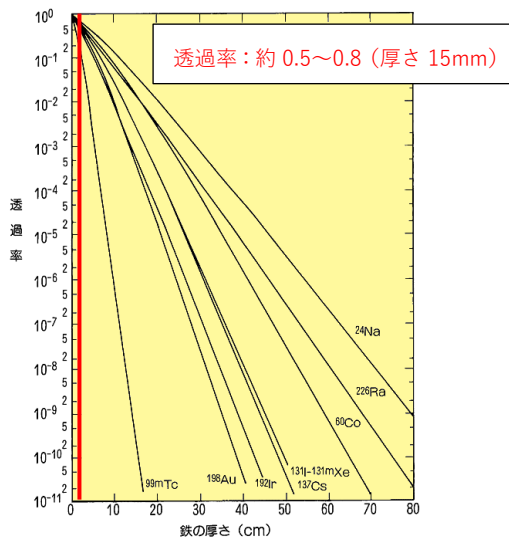


図2-2 鉄中におけるガンマ線の透過率  
資料：アイソトープ手帳より引用

出典 (ATOMICA) : [https://atomica.jaea.go.jp/data/fig/fig\\_pict\\_09-04-10-03-03.html](https://atomica.jaea.go.jp/data/fig/fig_pict_09-04-10-03-03.html)

図 2.14.2.1-4 鉄中におけるガンマ線の透過率

(2) 評価結果

(1)に示す条件で、K4 エリアタンクが機能喪失した場合の直接線・スカイシャイン線による被ばく量評価の結果、最寄りの線量評価点 (No.70) における直接線・スカイシャイン線による被ばく量は 1μSv/y 未満であり、公衆への放射線影響は殆ど無いことを確認した。

### 2.3.2 漏えい水の気中移行による被ばく評価

地震によるタンクの滑動等により連結管等が損傷し、測定・確認用タンクの基礎外周堰の貯留可能面積全域に漏えい水が広がり、トリチウムを含む漏えい水から蒸発した水蒸気が拡散したことを想定する。

#### (1) 条件

地震による測定・確認用タンク<sup>※1</sup>の滑動等により連結管等が損傷。当該損傷部からALPS処理水が漏えいし、タンク堰内の貯留可能面積全域に水が広がり、トリチウムを含む水から蒸発した水蒸気が拡散。敷地境界（最寄り評価点）に居住する人が呼吸により摂取したトリチウムによる内部被ばくを評価する。なお、漏えい水を2週間以内<sup>※2</sup>に回収したと仮定した場合の放射線影響を評価する。

※1：本評価では「実施計画II 2.5 汚染水処理設備等」の多核種処理水貯槽5基を含む

※2：30m<sup>3</sup>/hの仮設ポンプを使用して24時間体制で回収を行った場合、約3日間で回収可能である。準備作業を考慮しても約1週間と想定しているが、保守的に2週間と設定した。

#### (2) 結果

最寄りの線量評価点（No.70）における気中移行による被ばく量は0.4μSvとなった。

### 2.4 機動的対応等

- ・震度5弱以上の地震発生時、連結弁が開状態となっているタンクについて、優先的に現場確認を行い、漏えいが確認された場合は速やかに連結弁を閉とする。
- ・地震により耐震Cクラスのタンク等が損傷し、貯留水が敷地外へ著しく漏えいすることを防止するために基礎外周堰を設置する。当該堰については、Bクラスの構築物に要求される水平方向設計震度に対して、必要な強度を確保する。
- ・貯留水が漏えいし、基礎外周堰内に滞った場合には、敷地内に準備している仮設ポンプ、高圧吸引車等（図2.14.2.1-5参照）にて漏えい水の回収を行う。回収した漏えい水は、健全なタンク、建屋に排水を行う。
- ・ALPS処理水の移送配管については、排水路から可能な限り離隔するとともに、移送配管に使用するポリエチレン管は、ポリエチレン管の外側に外装管（接合部は防水カバー）を取り付けることで漏えい拡大を防止する施工を行う。



(a) 仮設ポンプ



(b) 耐圧ホース（養生済）



(c) 高圧吸引車

図 2.14.2.1-5 起動的対応で使用する機器類

### 3. 放水設備の機能喪失の影響評価

放水設備は、ALPS 処理水希釈放出設備の排水（海水で希釈して、トリチウムを含む全ての放射性核種の告示濃度比総和が 1 を下回った水）を取り扱うことを踏まえ、設備等の機能喪失による公衆への放射線影響の程度により、耐震 C クラスと位置付けられる。

以上



移送設備および希釈設備の機能喪失時の影響評価

ALPS 処理水希釈放出設備の機能喪失時の影響評価として、測定・確認タンクの機能喪失を評価したが、移送設備及び希釈設備の機能喪失時の影響についても確認を行う。

1. 移送設備

1.1 条件

移送設備において、最も ALPS 処理水を内包する量が多い、屋外の移送配管が地震により損傷した事象を想定する。具体的には、ALPS 処理水移送ポンプ出口～緊急遮断弁-1 入口の 100A の配管、約 1.3km の箇所が損傷したことを想定する。

なお、震度 5 弱以上の地震発生時には海洋放出を停止する（測定・確認用タンク出口電動弁閉止含む）運用としていることから（「3. 特定原子力施設の保安のために措置を講ずべき事項への適合性」参照）、評価には本運用を考慮した。なお、運転員が同設備を停止するまでに要する時間は、2021 年 2 月、2022 年 3 月の地震時における水処理設備の停止時間がそれぞれ約 25 分、約 32 分であったことから、保守的に停止時間を 1 時間とし、ALPS 処理水流量は最大の 500m<sup>3</sup>/日と仮定した。

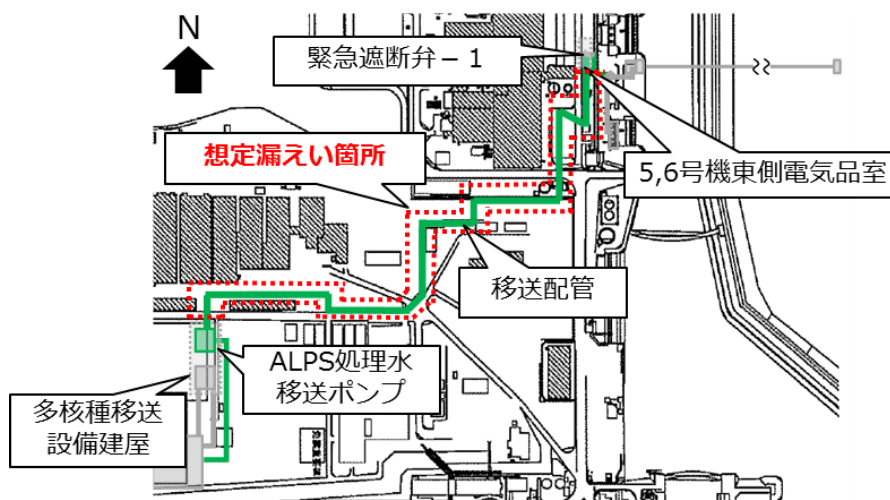
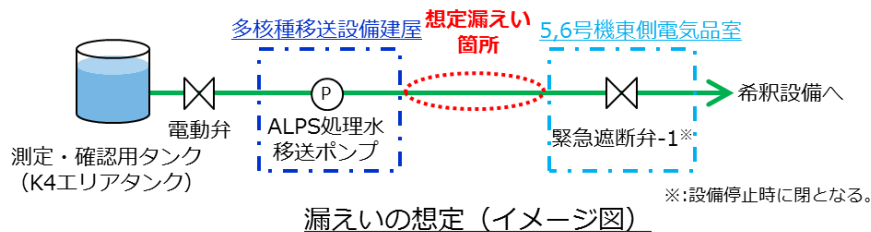


図 2.14.2.1-6 移送設備での機能喪失の想定箇所

## 1.2 結果

移送設備からの最大の漏えい量は、配管の保有水が約  $10.2\text{m}^3$ 、設備停止までに漏えいする量が約  $20.8\text{m}^3$  となり、合計約  $31\text{m}^3$  となる。これは、測定・確認用タンクで想定した漏えい量より十分少ないことから、ALPS 処理水希釈放出設備の機能喪失時による公衆への放射線影響は測定・確認用タンクの評価で代表できると考える。

## 2. 希釈設備

### 2.1 条件

希釈設備において、最も ALPS 処理水を内包する量が多い、放水立坑（上流水槽）が地震により損傷した事象を想定する。

同水槽は、放出水が  $2000\text{m}^3$  貯留されている。ここで、同水槽に貯留されている放出水は、ALPS 処理水が最大流量である  $500\text{m}^3/\text{日}$ 、海水が海水移送ポンプ 2 台運転の  $34\text{万 m}^3/\text{日}$  で希釈されていたとする。

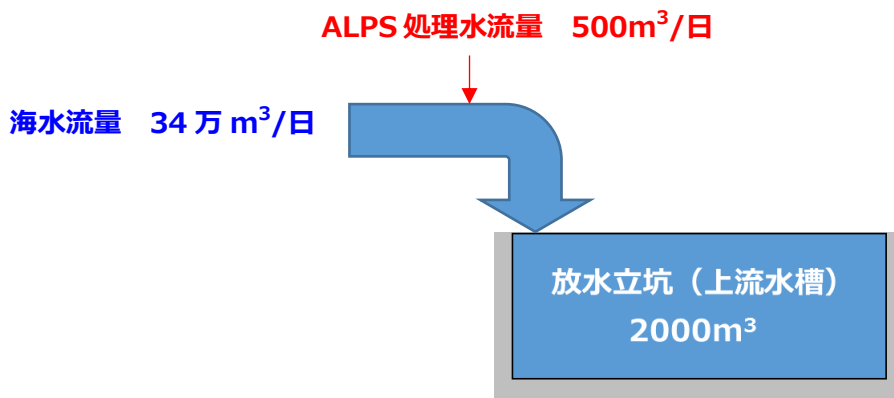


図 2.14.2.1-7 希釈設備での機能喪失の想定箇所

### 2.2 結果

希釈設備から、放出水の漏えい量は  $2000\text{m}^3$  となるものの、680 倍の希釈が行われているため、この中には約  $1997\text{m}^3$  の海水と約  $3\text{m}^3$  の ALPS 処理水が含まれている状態である。ここで想定する ALPS 処理水の漏えい量は、測定・確認用タンクで想定した漏えい量より十分少ないことから、ALPS 処理水希釈放出設備の機能喪失時による公衆への放射線影響は測定・確認用タンクの評価で代表できると考える。

以上

ALPS 処理水希釈放出設備の機能喪失時の気中移行による被ばく評価

1. 評価の基本的な考え方

大気中に拡散する放射性物質に起因する実効線量の評価については、「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」（以下「気象指針」という。）、「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針」（以下「評価指針」という。）及び「発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量評価について」（以下「一般公衆の線量評価」という。）を準用する。

吸入摂取による実効線量の評価は、K4 エリアから最短地点で最大の被ばくを与える地点に居住する人を対象とする。

2. 計算のための前提条件

(1) 気象条件

大気拡散の解析に用いる気象条件は、福島第一原子力発電所原子炉設置変更許可申請書（6号原子炉施設の変更）（平成22年11月12日付け、平成19・04・19原第18号にて設置変更許可）の添付書類六の記載と同様とする。

(2) 放出源と有効高さ

有効高さについて、漏えいしたタンクからの気中移行であるため、地上放散とする。

「気象指針」において、位置  $x, y, z$  における放射性物質濃度  $\chi(x, y, z)$  を求める基本拡散式を以下に示す。

$$\chi(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z U} \cdot \exp\left(-\lambda \frac{x}{U}\right) \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \left[ \exp\left\{-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right\} \right]$$

..... (2.14.2-1) 式

ここで、

$\chi(x, y, z)$  : 点  $(x, y, z)$  における放射性物質の濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)

$Q$  : 放出率 (Bq/s)

$U$  : 放出源高さを代表する風速 (m/s)

$\lambda$  : 物理的崩壊定数 (1/s)

$H$  : 放出源の有効高さ(m)

$\sigma_y$  : 濃度分布の  $y$  方向の拡がりのパラメータ (m)

$\sigma_z$  : 濃度分布の  $z$  方向の拡がりのパラメータ (m)

### 3. 吸入摂取による実効線量

吸入摂取による実効線量は、次の計算式を用いる。

$$H_I = Z \sum_i K_{Ii} \cdot A_{Ii} \dots \dots \dots (2.14.2-2) \text{ 式}$$

$$A_{Ii} = M_a \cdot \chi(x, y, z) \dots \dots \dots (2.14.2-3) \text{ 式}$$

ここで、

- $H_I$  : 吸入摂取による実効線量 (μSv)
- $Z$  : 機能喪失時復旧時間
- $K_{Ii}$  : 核種 i の吸入摂取による実効線量係数 (μSv/Bq)
- $A_{Ii}$  : 核種 i の吸入による摂取率 (Bq/d)
- $M_a$  : 呼吸率 (cm<sup>3</sup>/d)
- $\chi(x, y, z)$  : 点(x, y, z)における放射性物質の濃度 (Bq/m<sup>3</sup>)

### 4. 評価条件

ALPS 処理水希釈放出設備の機能喪失時の気中移行による被ばく評価に算出した数値は下表の通り。なお、核種については、ALPS 処理水の気中移行において主要な核種であるトリチウムを評価対象とした。

表 2.14.2.1-3 気中移行による被ばく評価の算出根拠

項目	数値	単位	算出根拠
機能喪失時の想定漏えい水貯留面積	2201	m <sup>2</sup>	機能喪失時想定漏えい貯留面積
放射能濃度	1.1E+06	Bq/L	敷地境界線量評価に用いているトリチウムの濃度を引用 なお、本濃度は測定・確認用タンクへの受入れ上限 100 万 Bq/L よりも保守的な条件である。
代表風速	3.1	m/s	設置許可記載の福島第一原子力発電所における代表風速
蒸発係数	0.403	mm/day/mb	0.13×代表風速 (電力中央研究所報告, 研究報告 376008, Hefner 湖の式(1954)より)
水面と水面直上 2m の飽和蒸気圧差	23.366	mb	水面 20℃を仮定した場合の飽和蒸気圧(気中トリチウム圧は 0 を仮定) (日本機械学会蒸気表より)
水面蒸発量	9.42	mm/day	蒸発係数×水面と水面直上 2m の飽和蒸気圧差
蒸発量	2.40E-4	m <sup>3</sup> /s	水面蒸発量×機能喪失時の想定漏えい水貯留面積 /1000(mm/m)/24/3600(s/day)
X/Q (気象指針) に基づく相対濃度	1.9E-04	s/m <sup>3</sup>	「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」(原子力安全委員会)を引用(実施計画Ⅲ章 3 編 2.2 線量評価(2-2-1 式)) (放出高さ 0m, 大気安定度 D, 風速 3.1m, 最寄評価点 No.70 までの距離 442m で計算)
呼吸率	1.2	m <sup>3</sup> /h	活動時の成人の呼吸率「発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針」(原子力安全委員会)より
継続呼吸時間	336	h	機能喪失時想定復旧時間 (24 時間呼吸継続すると仮定)
吸入摂取の実効線量係数	1.8E-08	mSv/Bq	核原料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度を定める告示(別表第一)

## 5. 評価結果

ALPS 処理水希釈放出設備の機能喪失時漏えいした水の気中移行による公衆への放射線影響の評価結果は、 $0.4 \mu\text{Sv}$  となる。

以上

## 放水設備の自然現象に対する設計上の考慮に関する補足説明（放水トンネル）

## 1. 設計概要

「2.14.2 自然現象に対する設計上の考慮への適合性」に基づき、許容応力度法により、地震時における放水立坑（下流水槽）および放水ロケーションと覆工板の接続部の耐震性を照査する。

放水トンネルは、リング継手により放水立坑（下流水槽）および放水ロケーションと接続される構造である。このため、地震時における応答が異なり、放水トンネルと放水立坑（下流水槽）および放水ロケーションの接続部には相対変位が生じる。

また、地中構造物の地震時の挙動は地盤変形の影響を強く受けるため、これを考慮した解析手法<sup>※1</sup>を用いる必要がある。

以上より、地中構造物および周辺地盤の地震時における挙動を解析することができる２次元 FEM 解析を実施し、解析から得られた放水トンネルと放水立坑（下流水槽）および、放水トンネルと放水ロケーションの相対変位  $\Delta$  を接続部のリング継手の接続ボルトに与え、接続ボルトの作用応力度が許容応力度以内であることを確認することで、耐震性の照査を行う。

※1：トンネル標準示方書 [共通編]・同解説／[シールド工法編]・同解説，2016 年制定，（公社）土木学会（以下、「トンネル標準示方書」という）

## 2. 解析手法と解析モデル

## 2.1 相対変位量の算出

変位量の算出に用いる解析手法は、２次元 FEM 解析による応答震度法であり、地震時の地盤慣性力を解析モデルの各要素に与える。

解析モデルは、２次元 FEM 解析を実施するため、周辺地盤、放水立坑（下流水槽）および放水ロケーションを平面ひずみ要素、放水トンネルを梁要素としてモデル化したものである。解析領域は、下方は基盤面位置、側方は、基盤面位置までの地盤深さを  $H$  としたとき、 $5.0H$  を設定した。境界条件は、下方は剛結とし、側方は鉛直方向に動くことを許すピンローラー支承とした。

## 2.2 相対変位量と接続ボルト

接続ボルトには、２次元 FEM 解析により得られた相対変位量  $\Delta$  に抵抗するためのせん断力  $S$  および引張力  $P$  が生じる。これらを接続ボルトの有効断面積  $A$  で除し、次式のとおり接続ボルトの許容せん断応力度および、許容引張応力度以内であることを確認する。

(1) トンネル軸直角方向の応力度照査

$$S=K_s \cdot \Delta$$
$$\tau = \frac{S}{A} < \tau_a$$

ここに、

$\Delta$ : 相対変位置量 (m)

$k_s$ : 接続ボルトのせん断ばね定数 (N/m)

$\tau$ : 接続ボルトのせん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\tau_a$ : 接続ボルトの許容せん断応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$A$ : 接続ボルトの有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

(2) トンネル軸方向の応力度照査

$$P=K_v \cdot \Delta$$
$$\sigma = \frac{P}{A} < \sigma_a$$

ここに、

$\Delta$ : 相対変位置量 (m)

$k_v$ : 接続ボルトの引張ばね定数 (N/m)

$\sigma$ : 接続ボルトの引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_a$ : 接続ボルトの許容引張応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

$A$ : 接続ボルトの有効断面積 (mm<sup>2</sup>)

接続ボルトのせん断ばね定数  $K_s$  および、接続ボルトの引張ばね定数  $K_v$  は、「小口径セグメント用スクリューボルト (M16) の開発, 平成 22 年, 土木学会第 65 回年次学術講演会」により設定した。これは、放水トンネルに用いるリング継手である、小口径セグメント用スクリューボルト (M16) を試験し  $K_s$  および  $K_v$  を定めたものである。表 2.14.2.2-1 に接続ボルトの諸元を示す。

ボルトの強度計算にあたっては、せん断ボルトとして使用する場合、ボルトの軸断面積 (>有効断面積) を用いる<sup>\*2</sup>が、リング継手に用いる接続ボルトは、ボルトのせん断破壊が生じる場合、ボルトの胴部ではなく、ねじ部でせん断破壊するため、せん断および引張応力度照査の両者に有効断面積を用いた。なお、有効断面積は「JIS B 1082:2009 ねじの有効断面積及び座面の負荷面積」に示されている値を用いた。

表 2.14.2.2-1 接続ボルト (M16) の諸元

ボルト 強度区分	ピッチ (並目ねじ) (mm)	せん断ばね定 数 $K_s$ (kN/m)	引張ばね定 数 $K_v$ (kN/m)	許容せん断 応力度 $\tau_a^{*2}$ (N/mm <sup>2</sup> )	許容引張 応力度 $\sigma_a^{*2}$ (N/mm <sup>2</sup> )	有効断面積 $A^{*2}$ (mm <sup>2</sup> )
10.9	2	45,000	60,000	405	570	157

※2:「シールド工事中用標準セグメント, 2001年改訂, (社)日本下水道協会」  
(以下,「標準セグメント」という)より

### 3. 検討ケースと検討位置

放水トンネルの軸直角方向および, 放水トンネルの軸方向の2ケースの検討断面を設定した。検討位置は, 発進部(放水トンネルと下流水槽の接続部)と, 到達部(放水トンネルと放水ロケータの接続部)の2か所である。図 2.14.2.2-1 および図 2.14.2.2-2 に, 放水トンネル軸直角方向における発進部の検討モデル図, 図 2.14.2.2-3 および図 2.14.2.2-4 に同方向における到達部の検討モデル図, 図 2.14.2.2-5 および図 2.14.2.2-6 に放水トンネル軸方向における発進部の検討モデル図, ならびに, 図 2.14.2.2-7 および図 2.14.2.2-8 に同方向における到達部の検討モデル図を示す。

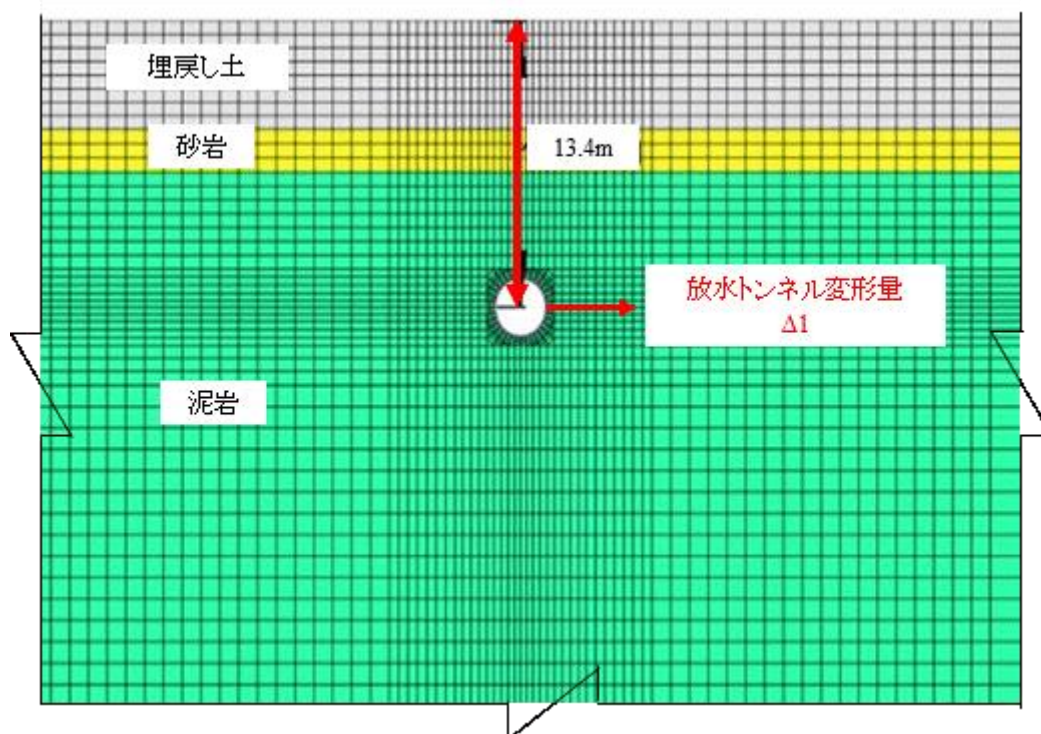


図 2.14.2.2-1 放水トンネル軸直角方向における発進部の検討モデル図  
(発進部検討位置から放水ロケータ側を見たときの断面)



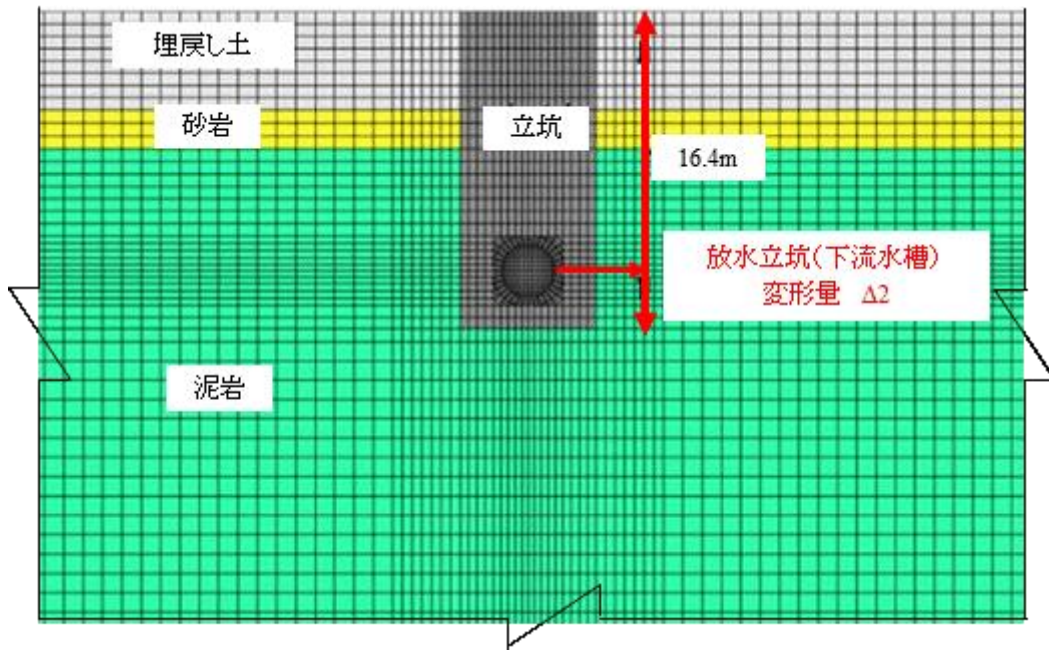


図 2.14.2.2-2 放水トンネル軸直角方向における発進部の検討モデル図  
 (発進部検討位置から放水立坑 (下流水槽) 側を見たときの断面)

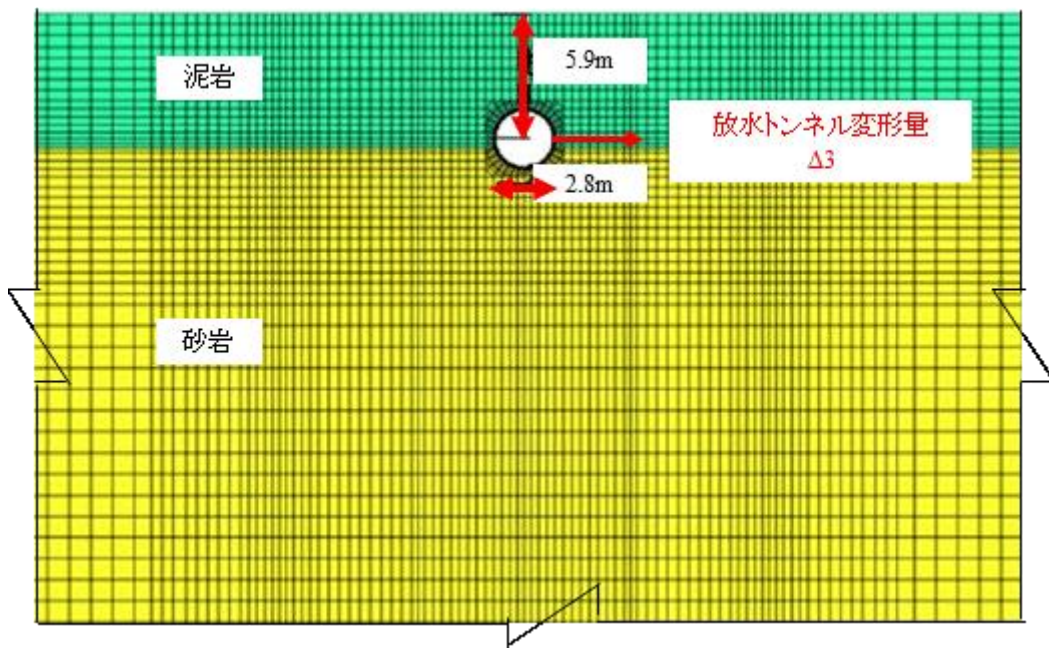


図 2.14.2.2-3 放水トンネル軸直角方向における到達部の検討モデル図  
 (到達部検討位置から放水立坑 (下流水槽) 側を見たときの断面)

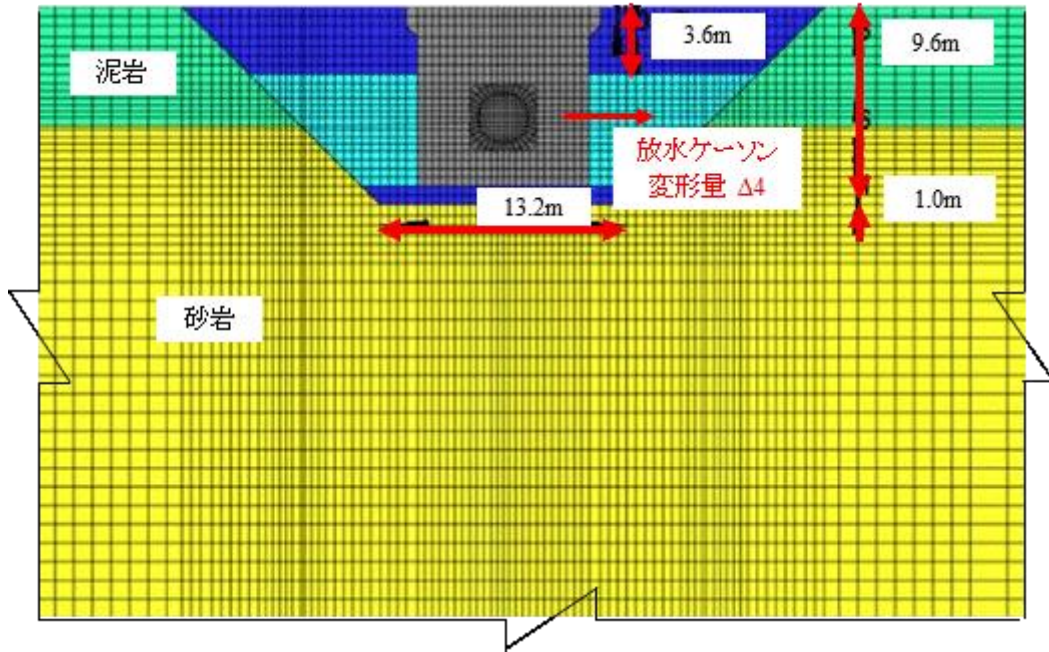


図 2.14.2.2-4 放水トンネル軸直角方向における到達部の検討モデル図  
(到達部検討位置から放水ロケーソン側を見たときの断面)

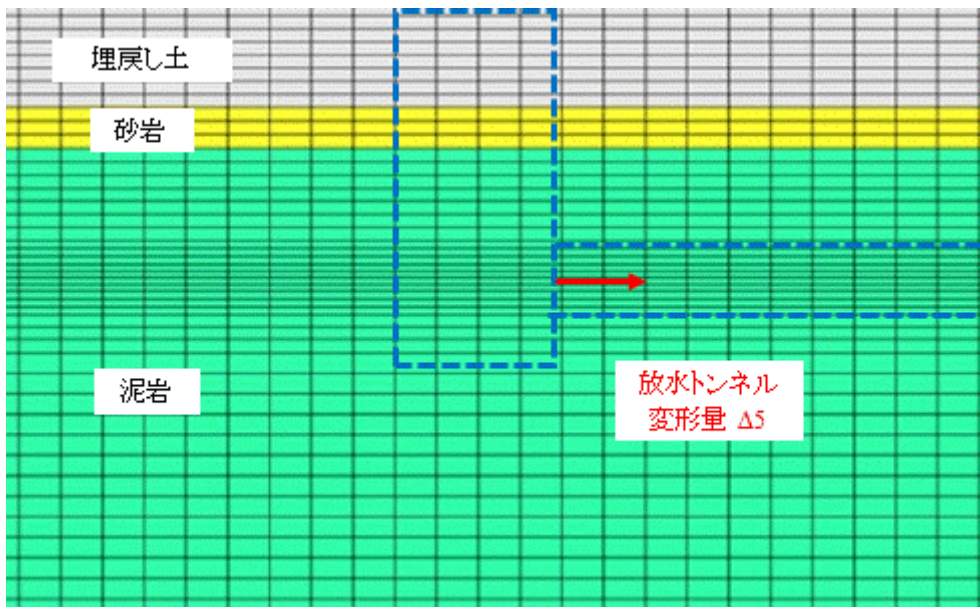


図 2.14.2.2-5 放水トンネル軸方向における発進部の検討モデル図  
(放水トンネル)

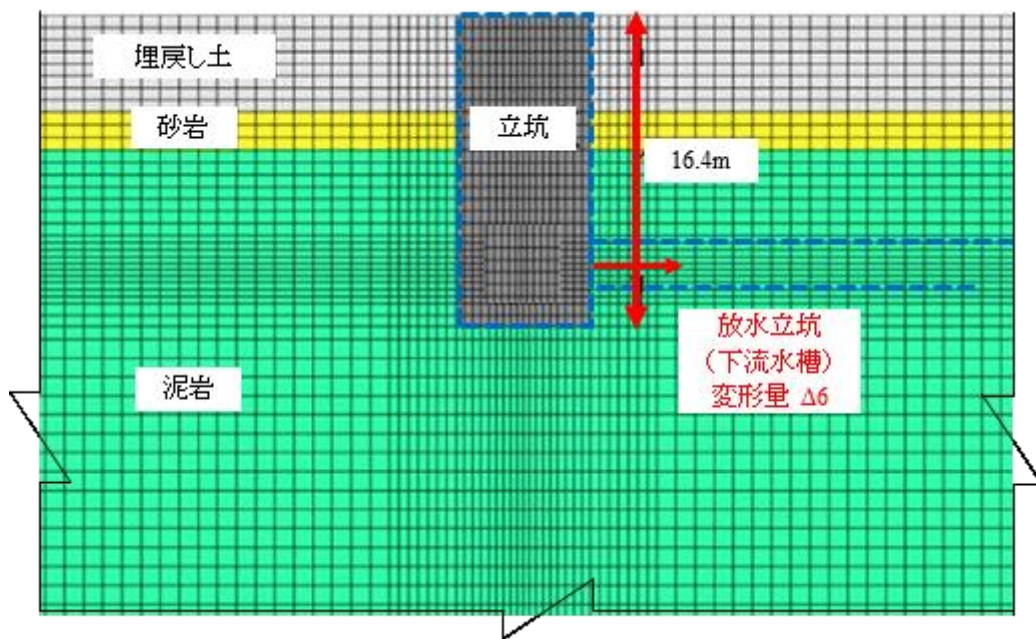


図 2.14.2.2-6 放水トンネル軸方向における発進部の検討モデル図  
(放水立坑 (下流水槽))

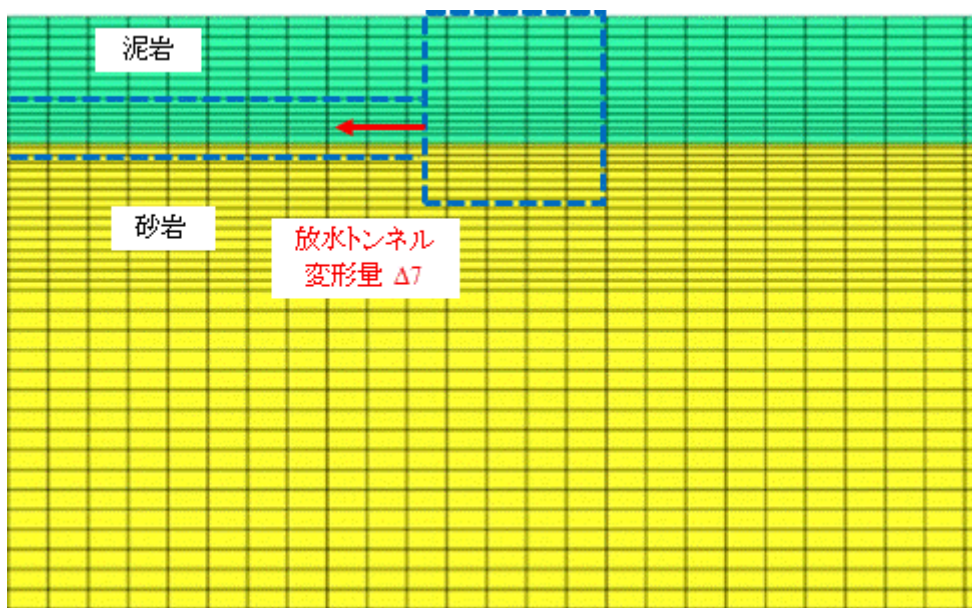


図 2.14.2.2-7 放水トンネル軸方向における到達部の検討モデル図  
(放水トンネル)

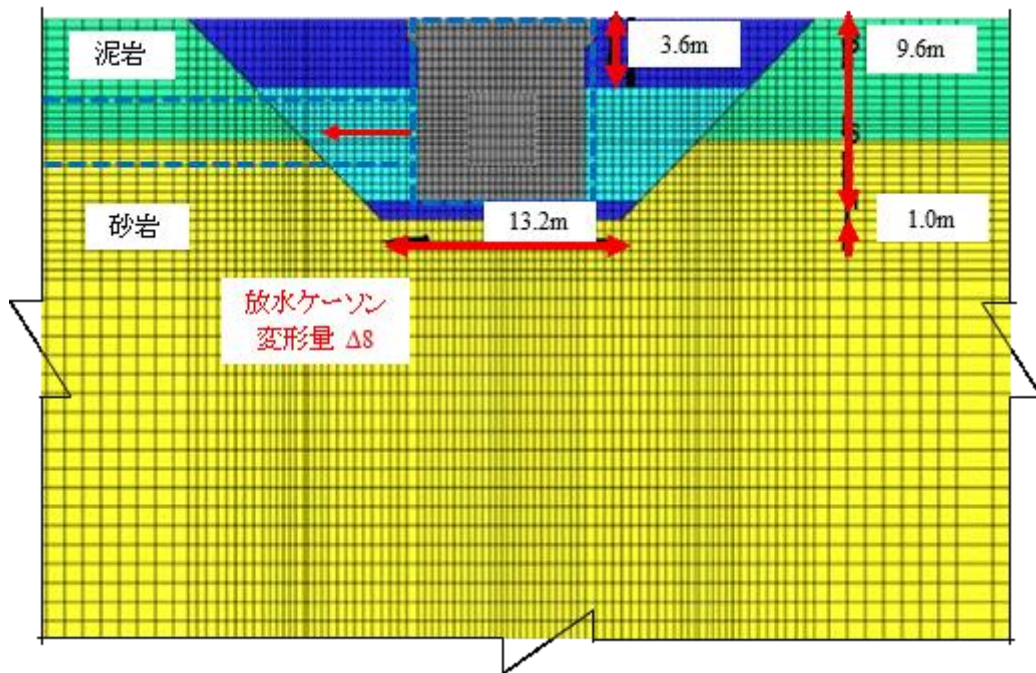


図 2.14.2.2-8 放水トンネル軸方向における到達部の検討モデル図  
(放水口ケーソン)

なお、放水トンネル軸方向の変位検討時においては、放水トンネルは周辺地盤よりも剛性が大きく変形しにくいため、安全側に放水トンネルはモデル化していない。リング継手の接続ボルトの引張応力度照査には、軸方向放水トンネルの位置における地盤と放水立坑（下流水槽）の相対変位（ $=|\Delta 5-\Delta 6|$ ）および、放水トンネルの位置における地盤と放水口ケーソンの相対変位（ $=|\Delta 7-\Delta 8|$ ）を用いた。

#### 4. 設計条件

##### 4.1 使用材料

###### 4.1.1 覆工板

覆工板の材料は普通コンクリート（普通ポルトランドセメント，高炉セメントB種）である。材料条件および諸元を以下に示す。

- ・コンクリート設計基準強度  $f_{ck}=42 \text{ N/mm}^2$
- ・ヤング係数  $E_c=3.3 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$
- ・ポアソン比  $\nu=0.20$
- ・単位体積重量  $\gamma=26.0 \text{ kN/m}^3$
- ・桁高  $t=0.180 \text{ m}$
- ・断面積  $A=0.180000 \text{ m}^2/\text{m}$
- ・断面二次モーメント  $I=0.000486 \text{ m}^4/\text{m}$

###### 4.1.2 放水立坑（下流水槽）および放水口ケーソン

放水立坑（下流水槽）および放水口ケーソンの材料は普通コンクリート（普通ポルトランドセメント）である。材料条件，諸元を以下に示す。放水口ケーソン周りの砕石・モルタル・水中コンクリートの物性値は放水口ケーソンと同じものとする。

- ・コンクリート設計基準強度  $f_{ck}=24 \text{ N/mm}^2$
- ・ヤング係数  $E_c=2.5 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$
- ・ポアソン比  $\nu=0.20$
- ・単位体積重量  $\gamma=24.5 \text{ kN/m}^3$

## 4.2 土質定数

設計に用いた土質定数および単位体積重量を表 2.14.2.2-2 に示す。

表 2.14.2.2-2 土質定数

No.	土層名	変形係数 E0(kN/m <sup>2</sup> )	単位体積重量 γ(kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比 ν
1	埋戻土	17,700	18.0	0.33
2	T3 部層 砂岩	94,400	18.4	0.48
3	T3 部層 泥岩	506,000	17.1	0.47

## 4.3 単位体積重量

設計に用いた単位体積重量を表 2.14.2.2-3 に示す。

表 2.14.2.2-3 単位体積重量

材料	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )
鉄筋コンクリート	24.5
地盤	表 2.14.2.2-2 参照
水 (海水)	10.3

## 4.4 水位

供用時を想定し、放水トンネル内が満水の状態で検討を行う。

## 4.5 荷重条件

考慮する荷重は、設計水平震度  $K_h=0.2$  を解析モデルの各要素に与えた際の地震時慣性力である。各要素に対応する地盤物性値や単位体積重量などを与え、各要素が持つ荷重を設定している。また、放水トンネル内が満水の状態を想定するため、動水圧荷重を節点荷重として覆工板の節点に作用させる。

## 5. 解析結果

解析の結果，得られた相対変位量を表 2.14.2.2-4 に示す。

表 2.14.2.2-4 相対変位量  $\Delta$

検討ケース	場所	相対変位量 $\Delta$ (mm)
トンネル 軸直角方向	発進部（下流水槽部）	0.5
	到達部（放水ロケソン部）	0.5
トンネル 軸方向	発進部（下流水槽部）	0.1
	到達部（放水ロケソン部）	0.6

## 6. 評価結果

表 2.14.2.2-4 に示す相対変位量  $\Delta$  に対して，発進部および到達部の接続ボルトの応力度照査を実施した結果（最大作用応力，作用応力/許容応力の比）について，放水トンネル軸直角方向を表 2.14.2.2-5，放水トンネル軸方向を表 2.14.2.2-6 に示す。各検討部位の作用応力が許容応力度以内であることを確認した。

### 6.1 放水トンネル軸直角方向の応力度照査結果

表 2.14.2.2-5 放水トンネル軸直角方向の応力度照査結果（強度区分：10.9<sup>※3</sup>）

検討箇所	相対変位 $\Delta$ (mm)	せん断力 S(kN/本)	作用せん断応力 $\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )	許容せん断応力 $\tau_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	作用応力度/許容応力度
発進部	0.5	22.5	143	405	0.35
到達部	0.5	22.5	143	405	0.35

※3：ボルトの強度区分は JIS B 1051 に規定されており，ボルトの強度区分により許容応力度が異なる。

### 6.2 放水トンネル軸方向の応力度照査結果

表 2.14.2.2-6 放水トンネル軸方向の応力度照査結果（強度区分:10.9）

検討箇所	相対変位 $\Delta$ (mm)	引張力 P(kN/本)	作用引張応力 $\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	許容引張応力 $\sigma_a$ (N/mm <sup>2</sup> )	作用応力度/許容応力度
発進部	0.1	6.0	38	570	0.07
到達部	0.6	36.0	229	570	0.40

以上

## ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設の耐震性に関する説明書

## 1. 基本方針

## 1.1 耐震性評価の基本方針

ALPS 処理水希釈放出設備は、2021年9月8日の原子力規制委員会で示された耐震設計の考え方を踏まえ、その安全機能が喪失した場合における公衆への放射線影響を評価した結果、直接線・スカイシャイン線による外部被ばく線量と、漏えいしたALPS処理水の一部が蒸発して大気中に移行した場合の内部被ばく線量を合わせたとしても、その実効線量は $1\mu\text{Sv}$ 未滿と評価されることから、耐震Cクラスと位置付けられる。

ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設は、耐震Cクラスの設備に要求される地震動に対して必要な強度を確保する。耐震性の評価においては、表2.14.2.3-1のとおり、原則、構築物（間接支持構造物含む）は1.0Ci、機器は1.2Ciの水平方向設計震度を適用する。また、主要な機器及び鋼管の耐震性を評価するにあたっては、原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601）等に準拠して構造強度評価を行うことを基本とするが、評価手法、評価基準について実態に合わせたものを採用する。なお、ALPS 処理水希釈放出設備に使用する耐圧ホース、ポリエチレン管等については、材料の可撓性により耐震性を確保する。



表 2.14.2.3-1 設備重要度による耐震クラス分類

設備	耐震クラス	C
(1)測定・確認用設備		測定・確認用タンク 基礎外周堰※ <sup>1</sup> 循環ポンプ 主配管※ <sup>2</sup>
(2)移送設備		ALPS 処理水移送ポンプ 主配管※ <sup>2</sup>
(3)希釈設備		海水移送ポンプ 海水配管ヘッダ 主配管※ <sup>2</sup> 放水立坑（上流水槽）※ <sup>3</sup>
(4)放水設備※ <sup>3</sup>		放水立坑（下流水槽） 放水トンネル 放水口

※1：Bクラスの構築物に要求される水平方向設計震度に対して評価を実施する

※2：鋼管（弁含む）について定ピッチスパン法で評価されるサポート間隔とする

※3：詳細は「2.14.1 準拠規格及び基準への適合性」参照

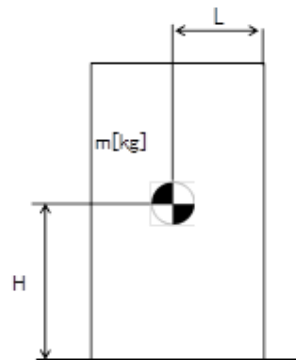
## 2. 耐震性評価

### 2.1 測定・確認用タンク

測定・確認用タンク（K4 エリア）の設計にて考慮する設計震度は，Cクラスの1.2Ci（水平方向）で問題ないものの，本書ではK4 エリアで実施した，原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC 4601）に基づくBクラス：静的地震力1.8Ci（水平方向）として評価を行い，許容値内であることを確認する。

#### 2.1.1 転倒評価

地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出し，それらを比較することにより転倒評価を実施した。評価の結果，地震による転倒モーメントは自重による安定モーメントより小さいことから，転倒しないことを確認した（表 2.14.2.3-2）。



- m : 機器質量
- g : 重力加速度
- H : 据付面からの重心までの距離
- L : 転倒支点から機器重心までの距離
- C<sub>H</sub> : 水平方向設計震度

$$\text{地震による転倒モーメント} : M_1[\text{N} \cdot \text{m}] = m \times g \times C_H \times H$$

$$\text{自重による安定モーメント} : M_2[\text{N} \cdot \text{m}] = m \times g \times L$$

表 2.14.2.3-2 測定・確認用タンクの転倒評価結果

機器名称		評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
測定・確認用タンク	1000m <sup>3</sup> 容量	本体	転倒	0.36	3.2×10 <sup>4</sup>	6.3×10 <sup>4</sup>	kN・m

#### 2.1.2 応力評価及び座屈評価

汚染水処理設備等を構成する機器のうち中低濃度タンク（円筒型）については，以下の通り貯留機能維持について評価する。

原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601）に基づき，タンク胴板の応力評価及び座屈評価により，発生する応力が許容値を超えないことを確認する。

### 2.1.2.1 胴の応力評価

イ. 組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力  $S_a$  以下であること。

応力の種類	許容応力 $S_a$
一次一般膜応力	設計降伏点 $S_y$ と設計引張強さ $S_u$ の0.6倍のいずれか小さい方の値。

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

応力計算において、静的地震力を用いる場合は、絶対値和を用いる。

#### (1) 静水頭及び鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{2 \cdot t}$$

$$\sigma_{\phi 2} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i \cdot C_v}{2 \cdot t}$$

$$\sigma_{x 1} = 0$$

#### (2) 運転時質量及び鉛直方向地震による応力

胴がベースプレートと接合する点には、胴自身の質量による圧縮応力と鉛直方向地震による軸方向応力が生じる。

$$\sigma_{x 2} = \frac{m_e \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t}$$

$$\sigma_{x 3} = \frac{m_e \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t}$$

#### (3) 水平方向地震による応力

水平方向の地震力により胴はベースプレート接合部で最大となる曲げモーメントを受ける。この曲げモーメントによる軸方向応力と地震力によるせん断応力は次のように求める。

$$\sigma_{x 4} = \frac{4 \cdot C_H \cdot m_o \cdot g \cdot \lambda_g}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t}$$

$$\tau = \frac{2 \cdot C_H \cdot m_o \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t}$$

(4) 組合せ応力

(1)~(3)によって求めた胴の応力は以下のように組み合わせる。

a. 一次一般膜応力

(a) 組合せ引張応力

$$\sigma_{\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2}$$

$$\sigma_{0t} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi} + \sigma_{xt} + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_{xt})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\}$$

$$\sigma_{xt} = \sigma_{x1} - \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4}$$

(b) 組合せ圧縮応力

$\sigma_{xc}$ が正の値（圧縮側）のとき、次の組合せ圧縮応力を求める。

$$\sigma_{\phi} = -\sigma_{\phi 1} - \sigma_{\phi 2}$$

$$\sigma_{0c} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi} + \sigma_{xc} + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_{xc})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\}$$

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4}$$

したがって、胴の組合せ一次一般膜応力の最大値は、

$$\sigma_0 = \text{Max} \left\{ \text{組合せ引張応力} (\sigma_{0t}), \text{組合せ圧縮応力} (\sigma_{0c}) \right\}$$

とする。一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

表 2.14.2.3-3 測定・確認用タンクの応力評価結果

機器名称	部材	材料	水平方向 設計震度	応力	算出応力 [MPa]	許容応力 [MPa]
測定・確認 用タンク	1000m <sup>3</sup> 容量 胴板	SS400	0.36	一次一般膜	58	236

ロ. 圧縮膜応力（圧縮応力と曲げによる圧縮側応力の組合せ）は次式を満足すること。  
 （座屈の評価）

$$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leq 1$$

ここで、 $f_c$ は次による。

$$\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_c = F$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} < \frac{8000 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_c = F \cdot \left[ 1 - \frac{1}{6800 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_1 \left( \frac{8000 \cdot g}{F} \right) \right\} \cdot \left( \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \right]$$

$$\frac{8000 \cdot g}{F} \leq \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \leq 800 \quad \text{のとき}$$

$$f_c = \phi_1 \left( \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \right)$$

ただし、 $\phi_1(x)$ は次の関数とする。

$$\phi_1(x) = 0.6 \cdot \frac{E}{x} \cdot \left[ 1 - 0.901 \cdot \left\{ 1 - \exp \left( -\frac{1}{16} \cdot \sqrt{x} \right) \right\} \right]$$

また、 $f_b$ は次による。

$$\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_b = F$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} < \frac{9600 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_b = F \cdot \left[ 1 - \frac{1}{8400 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_2 \left( \frac{9600 \cdot g}{F} \right) \right\} \cdot \left( \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \right]$$

$$\frac{9600 \cdot g}{F} \leq \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \leq 800 \quad \text{のとき}$$

$$f_b = \phi_2 \left( \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \right)$$

ただし、 $\phi_2(x)$ は次の関数とする。

$$\phi_2(x) = 0.6 \cdot \frac{E}{x} \cdot \left[ 1 - 0.731 \cdot \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{x}\right) \right\} \right]$$

$\eta$ は安全率で次による。

$$\frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} < \frac{8000 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1 + \frac{0.5 \cdot F}{6800 \cdot g} \cdot \left( \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right)$$

$$\frac{8000 \cdot g}{F} \leq \frac{D_i + 2 \cdot t}{2 \cdot t} \quad \text{のとき}$$

$$\eta = 1.5$$

表 2.14.2.3-4 円筒型タンクの座屈評価

機器名称		部材	材料	水平方向 設計震度	座屈評価結果
測定・確認用 タンク	1000m <sup>3</sup> 容量	胴板	SS400	0.36	0.24 < 1

記号の説明

記号	記号の説明	単位
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_v$	鉛直方向設計震度	—
$D_i$	胴の内径	mm
$E$	胴の縦弾性係数	MPa
$F$	設計・建設規格 SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
$f_b$	曲げモーメントに対する許容座屈応力	MPa
$f_c$	軸圧縮荷重に対する許容座屈応力	MPa
$g$	重力加速度 (=9.80665)	m/s <sup>2</sup>
$H$	水頭	mm
$\lambda_g$	基礎から容器重心までの距離	mm
$m_o$	容器の運転時質量	kg
$m_e$	容器の空質量	kg
$S$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
$S_a$	胴の許容応力	MPa
$S_u$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
$S_y$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$t$	胴板の厚さ	mm
$\eta$	座屈応力に対する安全率	—
$\pi$	円周率	—
$\rho'$	液体の密度 (=比重×10 <sup>-6</sup> )	kg/mm <sup>3</sup>
$\sigma_o$	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
$\sigma_{oc}$	胴の組合せ圧縮応力	MPa
$\sigma_{ot}$	胴の組合せ引張応力	MPa
$\sigma_{x1}, \sigma_{\phi1}$	静水頭により胴に生じる軸方向及び周方向応力	MPa
$\sigma_{x2}$	胴の空質量による軸方向圧縮応力	MPa
$\sigma_{x3}$	胴の鉛直方向地震による軸方向応力	MPa
$\sigma_{x4}$	胴の水平方向地震による軸方向応力	MPa
$\sigma_{xc}$	胴の軸方向応力の和 (圧縮側)	MPa
$\sigma_{xt}$	胴の軸方向応力の和 (引張側)	MPa
$\sigma_{\phi}$	胴の周方向応力の和	MPa
$\sigma_{\phi2}$	静水頭に鉛直方向地震が加わり胴に生じる周方向応力	MPa
$\tau$	地震により胴に生じるせん断応力	MPa
$\phi_1(x)$	圧縮荷重に対する許容座屈応力の関数	MPa
$\phi_2(x)$	曲げモーメントに対する許容座屈応力の関数	MPa

## 2.2 タンク基礎および基礎外周堰

測定・確認用タンク（K4 エリア）のタンク基礎および基礎外周堰の設計にて考慮する設計震度は、原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601）に基づく B クラス：静的地震力 1.5Ci（水平方向）とする。

静的地震力の 1.5 倍の設計震度において、構造物に発生する最も大きな断面力が許容値内であることを確認する。

### 2.2.1 タンク基礎

#### (1) 評価方法

地盤支持力の評価は、タンクの鉛直荷重と極限支持力を比較して実施する。地盤支持力の算定式は「社団法人日本道路協会（2002）：道路橋示方書・同解説IV下部構造編」に基づき次式を用いる。「①タンクの鉛直荷重< ②タンク基礎底面地盤の極限支持力」であることを確認する。

#### ① タンクの鉛直荷重

$$W = m \times g$$

#### ② タンク基礎底面地盤の極限支持力

$$Q_u = A_e \left( \alpha k c N_c S_c + k q N_q S_q + \frac{1}{2} \gamma_1 \beta B_e N_r S_r \right)$$

$m$	: 機器質量
$g$	: 重力加速度
$A_e$	: 有効載荷面積
$\alpha, \beta$	: 基礎の形状係数
$k$	: 根入れ効果に対する割増し係数
$c$	: 地盤の粘着力
$N_c, N_q, N_r$	: 荷重の傾斜を考慮した支持力係数
$S_c, S_q, S_r$	: 支持力係数の寸法効果に関する補正係数
$q$	: 上載荷重 ( $q = \gamma_2 D_f$ )
$\gamma_1, \gamma_2$	: 支持地盤及び根入れ地盤の単位重量
$D_f$	: 基礎の有効根入れ深さ
$B_e$	: 荷重の偏心を考慮した基礎の有効載荷幅 ( $B_e = B - 2e_B$ )
$B$	: 基礎幅
$e_B$	: 荷重の偏心量



なお、地盤改良後、簡易支持力測定器（キャスポル）※により地盤の強度（粘着力）を測定し、上記式により必要な極限支持力を有していることを確認する。

※：ランマー（重鎮）を一定の高さから地盤に自由落下させたときに生ずる衝撃加速度の最大値と地盤強度特性値と関連させる衝撃加速度法を基本原理とした簡易な測定器。

なお、平板載荷試験による測定値(地盤反力係数)と、簡易支持力測定器による測定値(衝撃加速度)との比較から、両者には以下のように高い相関関係があることが確認されている。

#### 2.4 衝撃加速度 (Ia) と地盤反力係数 (K30) との関係

道路路床工事現場において衝撃加速度測定と平板載荷試験を行い、衝撃加速度と K30 値との関係を求めた。

図一七に、衝撃加速度と K30 との関係図を示す。図中の回帰式の相関係数は  $r = 0.92$  であり、双方の測定値の間に高い相関関係が見られる。

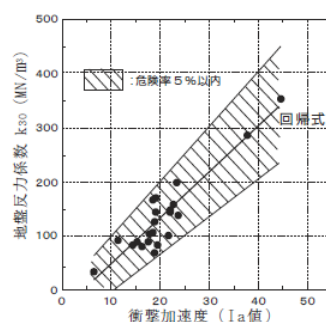
次に、その回帰式 ((4) 式) を示す。

$$K_{30} = -37.58 + 8.554 I_a \quad \dots (4)$$

ここに、K30：地盤反力係数 (MN/m<sup>3</sup>)、Ia：インパクト値

※出典：簡易支持力測定器（キャスポル）利用手引き

[H17.6 国土交通省 近畿地方整備局 近畿技術事務所]



図一七 衝撃加速度と地盤反力係数との関係図

## (2) 評価結果

地盤改良後の支持力を確認した結果は、表 2.14.2.3-5 の通り。

表 2.14.2.3-5 地盤改良後の支持力

エリア		K4
タンク容量 (m <sup>3</sup> )		1,000
改良方式		セメント改良
改良深さ (m)		5.0
鉛直荷重	タンク本体 (kN/m <sup>2</sup> )	135.51
	コンクリート基礎 (kN/m <sup>2</sup> )	14.41
	合計 (kN/m <sup>2</sup> )	149.92
キャスポル 測定結果	材令 (日)	28
	支持力 (kN/m <sup>2</sup> )	168.66 以上 (設計値)

なお、基礎コンクリートは下表の通りの設計となっている。

表 2.14.2.3-6 基礎コンクリートの設計

エリア	K4		
基礎 コンク リート	基礎厚 (m)	0.6	
	配筋	上筋 (径・ピッチ)	D25@150
		下筋 (径・ピッチ)	D25@150
タンク	容量 (m <sup>3</sup> )	1,000	
	内径 (m)	10.0	
	高さ (m)	14,565	

## 2.2.2 基礎外周堰

### (1) 評価方法

常時・地震時に最も大きな断面力が発生する基礎外周堰の下端について、発生する断面力が許容値内であることを確認する。堰の構造寸法を表 2.14.2.3-7、荷重の組合せを表 2.14.2.3-8 に示す。

表 2.14.2.3-7 堰の構造寸法

構造	外周堰寸法		使用材料			
	高さ (m)	幅 (m)	コンクリート	鉄筋		
			設計基準強度	材質	呼び径	配置間隔 (mm)
鉄筋 コンクリート	1.10	0.15	24	SD345	D13	150

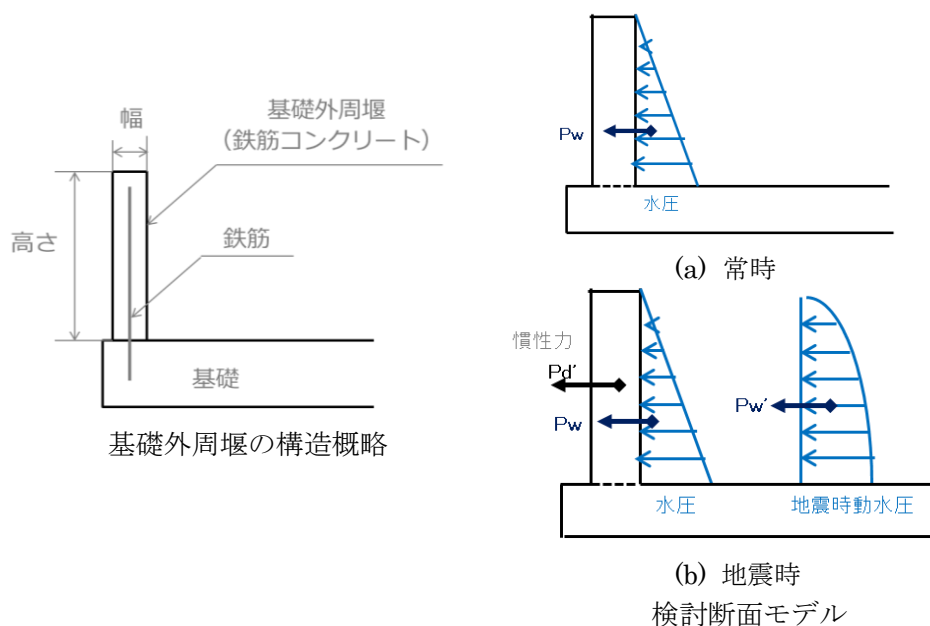


表 2.14.2.3-8 荷重の組み合わせ

検討荷重	常時	地震時
水圧 (P <sub>w</sub> )	○	○
地震時動水圧 (P <sub>w</sub> ')		○
慣性力 (P <sub>d</sub> ')		○

それぞれの単位奥行き当たりの荷重条件については以下の通り。

$$\begin{aligned} \text{水 圧} & : P_w = \gamma_w \times h \times h/2 \\ \text{地震時動水圧} & : P_w' = (7/12) \times \gamma_w \times K_h \times h^2 \\ \text{慣性力} & : P_d' = \gamma_c \times h \times B \times K_h \end{aligned}$$

ここで、

$$\begin{aligned} \gamma_w & : \text{水の単位重量[kN/m}^3\text{]} \\ h & : \text{堰壁高さ[m]} \\ K_h & : \text{設計水平震度 (0.3)} \\ \gamma_c & : \text{コンクリートの単位体積重量[kN/m}^3\text{]} \\ B & : \text{堰壁厚さ[m]} \end{aligned}$$

(2) 評価結果

常時・地震時には、最も大きな断面力が発生する基礎外周堰の下端について、発生した断面力が許容値内であることを確認した結果を表 2.14.2.3-9 に示す。

表 2.14.2.3-9 基礎外周堰の耐震評価

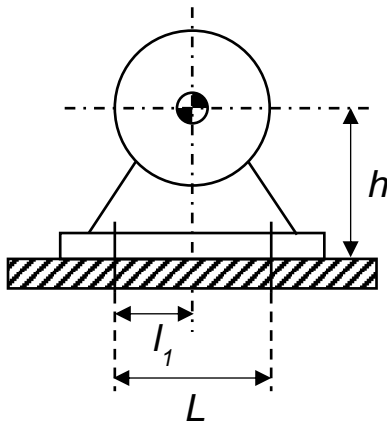
検討部位	設計条件	評価部位	応力	作用応力	許容応力	単位
基礎外周堰 下端	常時	コンクリート	圧縮	2.1	8.0	N/mm <sup>2</sup>
		鉄筋	曲げ	41	200	N/mm <sup>2</sup>
		コンクリート	せん断力	0.09	0.45	N/mm <sup>2</sup>
	地震時	コンクリート	圧縮	3.6	12.0	N/mm <sup>2</sup>
		鉄筋	曲げ	0.15	0.675	N/mm <sup>2</sup>
		コンクリート	せん断力	71	300	N/mm <sup>2</sup>

### 2.3 ポンプ基礎ボルトの強度評価

横形ポンプ（循環ポンプ，ALPS 処理水移送ポンプ）および，立形ポンプ（海水移送ポンプ）の基礎ボルトについて強度評価を実施する。

#### (1) 横形ポンプ

基礎ボルトに作用する引張力，引張応力，せん断力，せん断応力については以下の式で示される。



- $m$  : 機器の運転時質量
- $g$  : 重力加速度
- $h$  : 据付面から重心までの距離
- $L$  : 基礎ボルト間の水平方向距離
- $l_1$  : 重心と基礎ボルト間の水平方向距離
- $n_f$  : 引張力の作用する基礎ボルトの本数
- $n$  : 基礎ボルトの本数
- $A_b$  : 基礎ボルトの軸断面積
- $C_H$  : 水平方向設計震度 (0.24)
- $C_V$  : 鉛直方向設計震度 (0)
- $C_p$  : ポンプ振動による震度 (0.08, 0.17)
- $M_p$  : ポンプ回転により働くモーメント (0)

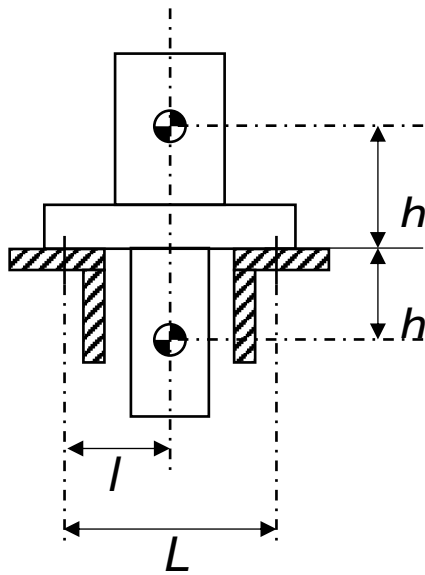
ボルトに作用する引張力 :  $F_b = \frac{1}{L} \{ mg(C_H + C_p)h + M_p - mg(1 - C_V - C_p)l_1 \}$

ボルトの引張応力 :  $\sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b}$

ボルトに作用するせん断力 :  $Q_b = mg(C_H + C_p)$

ボルトのせん断応力 :  $\tau_b = \frac{Q_b}{n A_b}$

(2) 立形ポンプ



- $m$  : 機器の運転時質量
- $g$  : 重力加速度
- $h$  : 据付面から重心までの距離
- $L$  : 基礎ボルト間の水平方向距離
- $l$  : 重心と基礎ボルト間の水平方向距離
- $l_1$  : 重心と基礎ボルト間の水平方向距離
- $n_f$  : 引張力の作用する基礎ボルトの本数
- $n$  : 基礎ボルトの本数
- $A_b$  : 基礎ボルトの軸断面積
- $C_H$  : 水平方向設計震度 (0.24)
- $C_V$  : 鉛直方向設計震度 (0)
- $C_p$  : ポンプ振動による震度(0.025)
- $M_p$  : ポンプ回転により働くモーメント (0)

ボルトに作用する引張力 :  $F_b = \frac{1}{L} \{ \sum_{i=1}^2 m_i g (C_H + C_p) h_i - \sum_{i=2}^2 m_i g (1 - C_p - C_V) l \}$

ボルトの引張応力 :  $\sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b}$

ボルトに作用するせん断力 :  $Q_b = \sum_{i=1}^2 m_i g (C_{Hi} + C_p)$

ボルトのせん断応力 :  $\tau_b = \frac{Q_b}{n A_b}$

表 2.14.2.3-10 ポンプの耐震評価結果

機器名称	評価部位	評価項目	水平震度	算出値	許容値*	単位
循環ポンプ	基礎 ボルト	引張	0.24	<0	183	MPa
		せん断	0.24	5	141	MPa
ALPS 処理水 移送ポンプ	基礎 ボルト	引張	0.24	1	183	MPa
		せん断	0.24	4	141	MPa
海水移送 ポンプ	基礎 ボルト	引張	0.24	11	245	MPa
		せん断	0.24	16	141	MPa

※：引張応力  $\sigma_b$  は、次式より求めた許容引張応力  $f_{ts}$  以下であること。

$$f_{ts} = \min[(1.4f_{io} - 1.6\tau_b), f_{io}]$$

ここで、 $f_{io}$ ：許容引張応力、 $\tau_b$ ：せん断応力

せん断応力  $\tau_b$  はせん断力のみ受ける基礎ボルトの許容せん断力は  $f_{sb}$  以下であること。

なお、 $f_{io}$ 、 $f_{sb}$  は下表による。

表 2.14.2.3-11 基礎ボルトの許容応力

	弾性設計用地震動 Sd または静的震度による 荷重との組み合わせの場合
許容引張応力 $f_{io}$	$1.5 \left( \frac{F}{2} \right)$
許容せん断応力 $f_{sb}$	$1.5 \left( \frac{F}{1.5\sqrt{3}} \right)$

F：設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値

## 2.4 主配管（鋼管）の耐震性評価

配管支持の位置を決定するにあたっては、定ピッチスパン法により適正な支持間隔を確保する。定められた間隔で支持することにより、地震応力が過大とならないようにする。

### 2.4.1 評価条件

評価条件として配管は、配管軸直角 2 方向拘束サポートにて支持される両端単純支持の梁モデル（図 2.14.2.3-1）とする。

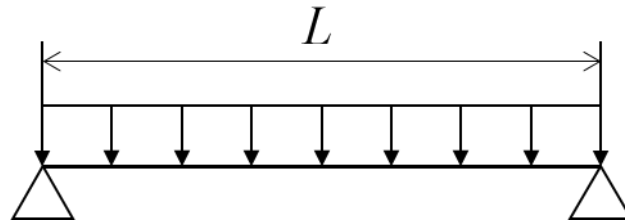


図 2.14.2.3-1 等分布荷重両端単純支持はりモデル

次に、当該設備における主配管（鋼管）について、各種条件を表 2.14.2.3-12 に示す。

表 2.14.2.3-12 配管系における各種条件（1 / 2）

配管分類	主配管（鋼管）								
配管クラス	クラス 3								
耐震クラス	C クラス								
設計温度 [°C]	40								
配管材質	SUS316LTP								
配管口径	100A	200A	125A	150A	200A	150A	80A	40A	100A
Sch	20S								
最高使用圧力 [MPa]	0.98	0.49	0.98			0.49		0.98	0.60
配管支持間隔 [m]	6.7	8.9	7.4	7.8	8.9	7.8	6.2	4.8	6.7

表 2.14.2.3-12 配管系における各種条件 (2 / 2)

配管分類	主配管 (鋼管)				
配管クラス	クラス 3 相当				
耐震クラス	C クラス				
設計温度 [°C]	40				
配管材質	STPY400		SUS329J4L	SM400B	
配管口径	800A	900A		2200A	1800A
厚さ	12.7mm			16mm	
最高使用圧力 [MPa]	0.6MPa				
配管支持間隔 [m]	14.4	14.6	14.8	17.9	17.5

#### 2.4.2 評価方法

水平方向震度による管軸直角方向の配管応力を評価する。

自重による応力  $S_w$  は、下記の式で示される。

$$S_w = \frac{M}{Z} = \frac{w \cdot L^2}{8Z}$$

$S_w$	: 自重による応力	[MPa]
$L$	: 支持間隔	[mm]
$M$	: 曲げモーメント	[N・mm]
$Z$	: 断面係数	[mm <sup>3</sup> ]
$w$	: 等分布荷重	[N/mm]

管軸直角方向の地震による応力  $S_s$  は、自重による応力  $S_w$  の震度倍で下記の式で示される。

$$S_s = \alpha \cdot S_w$$

$S_s$	: 地震による応力	[MPa]
$\alpha$	: 水平方向震度	[-]



また、評価基準値として JEAC4601-2008 に記載の供用応力  $C_s$  におけるクラス 3 配管の一次応力制限を用いると、地震評価としては下記の式で示される。

$$S = S_p + S_w + S_s = S_p + S_w + \alpha S_w = S_p + (1 + \alpha)S_w \leq 1.0S_y$$

$S$  : 内圧, 自重, 地震による発生応力 [MPa]  
 $S_p$  : 内圧による応力 [MPa]  
 $S_y$  : 設計降伏点 [MPa]

### 2.4.3 評価結果

両端単純支持梁モデルで、自重による応力  $S_w$  が 30[MPa]以下となる配管サポート配置を仮定し、各応力を計算した結果を表 2.14.2.3-13 に示す。表 2.14.2.3-13 より、自重による応力  $S_w$  を 30[MPa]以下となるよう配管サポート配置を決定することで、配管は十分な強度を有するものと評価する。

表 2.14.2.3-13 応力評価結果 (1 / 2)

配管分類	主配管 (鋼管)								
配管クラス	クラス 3								
耐震クラス	C クラス								
設計温度 [°C]	40								
配管材質	SUS316LTP								
配管口径	100A	200A	125A	150A	200A	150A	80A	40A	100A
Sch	20S								
最高使用圧力 [MPa]	0.98	0.49	0.98			0.49		0.98	0.60
内圧, 自重, 地震による発生応力 $S$ [MPa]	51	45	51	54	54	45	43	45	46
供用状態 $C_s$ における一次応力許容値 [MPa]	175								

表 2.14.2.3-13 応力評価結果 (2 / 2)

配管分類	主配管 (鋼管)				
配管クラス	クラス 3 相当				
耐震クラス	C クラス				
設計温度 [°C]	40				
配管材質	STPY400		SUS329J4L	SM400B	
配管口径	800A	900A		2200A	1800A
厚さ	12.7mm			16mm	
最高使用圧力 [MPa]	0.6MPa				
内圧, 自重, 地震 による発生応力 S [MPa]	57	59	60	80	72
供用状態 Cs にお ける一次応力許容 値*[MPa]	225		450	215	

※ : STPY400 および SUS329J4L は材料規格に Sy 値が規定されていないため, STPY400 は「JIS G 3457 配管用アーク溶接炭素鋼鋼管」に示される降伏点を, SUS329J4L は「JIS G 3468 配管用溶接大径ステンレス鋼鋼管」に示される耐力を記載。

以上

## ALPS 処理水希釈放出設備に関連する建屋の構造強度および耐震性に関する説明書

## 1. 評価方針

ALPS 処理水希釈放出設備は、その安全機能が喪失した場合における公衆への放射線影響を評価した結果から、耐震Cクラスと位置付けられている。このため、ALPS 処理水希釈放出設備に関連する建屋についても、Cクラス相当の建物と位置づけられるため、耐震Cクラスと同様の評価を実施する。なお、設計は建築基準法に準拠し、積雪荷重及び風荷重についても評価する。

## 2. 多核種移送設備建屋

多核種移送設備建屋は、既に設置された建屋であり、内部には既に高性能 ALPS や増設 ALPS で処理した ALPS 処理水を、中低濃度タンクへ移送するポンプ等が設置されており、今回新たに循環ポンプ、ALPS 処理水移送ポンプを設置する。

本建屋は、鉄骨造の平屋で、平面が 37.9m (NS) × 10.0m (EW) であり、地上高さは 5.074m である。建屋基礎はべた基礎で地盤に支持させる。アンカープラン、梁伏図及び軸組図を図 2.14.2.4-1～図 2.14.2.4-7 に示す。

本建屋に加わる地震時の水平力は、ブレース及び大梁と柱からなるブレース構造で負担する耐震性の評価は、地震層せん断力係数として保守的に  $1.5 \cdot C_i$  を採用した場合の当該部位の応力に対して行う。建屋の評価手順を図 2.14.2.4-8 に示す。

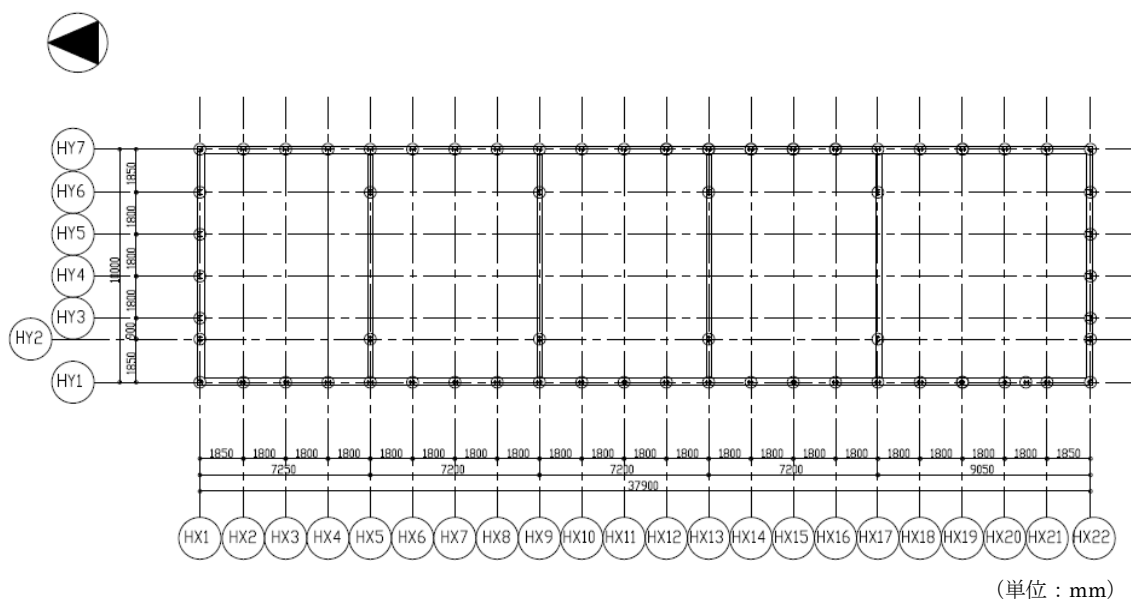


図 2.14.2.4-1 1 階アンカープラン (多核種移送設備建屋)

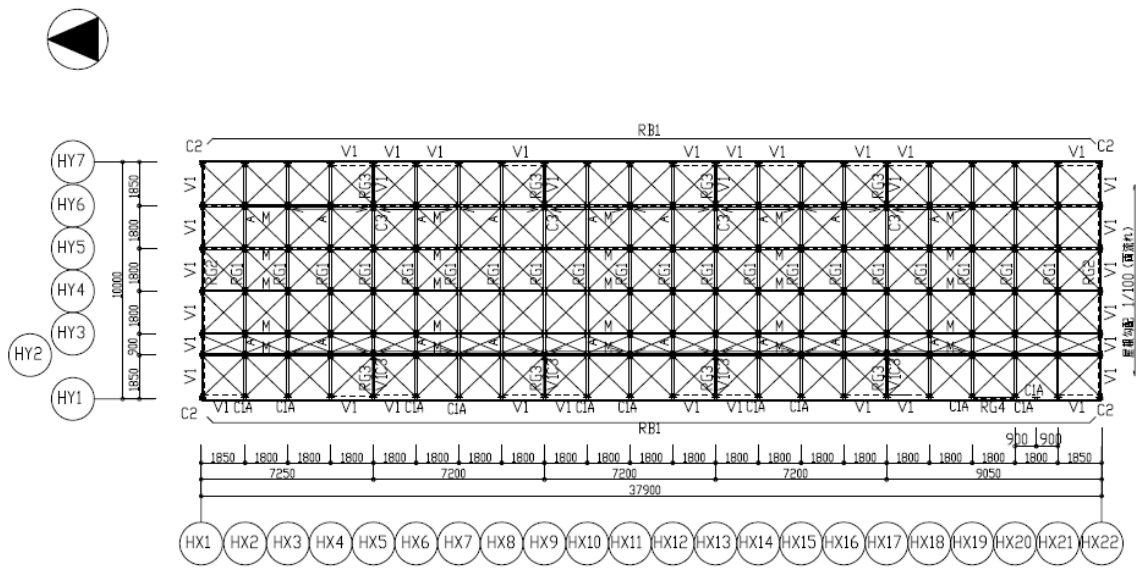


図 2.14.2.4-2 R 階梁伏図 (多核種移送設備建屋) (単位 : mm)

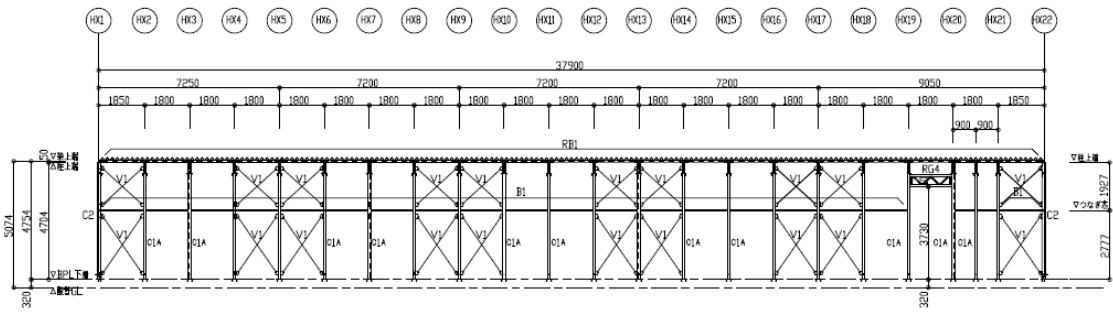


図 2.14.2.4-3 HY1 通り軸組図 (多核種移送設備建屋) (単位 : mm)

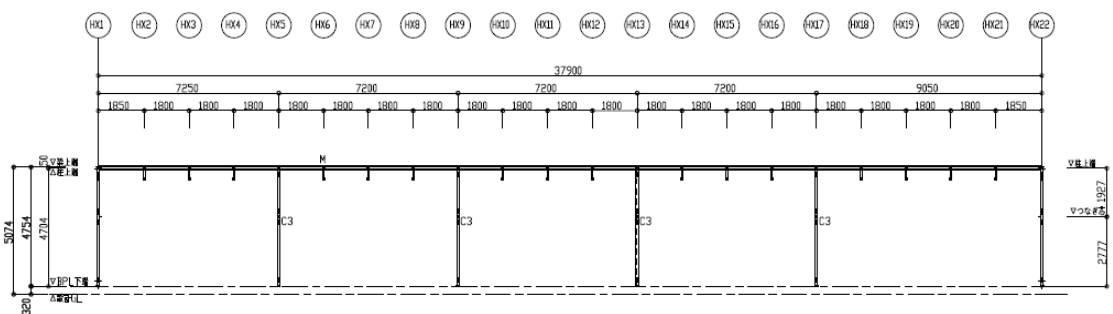
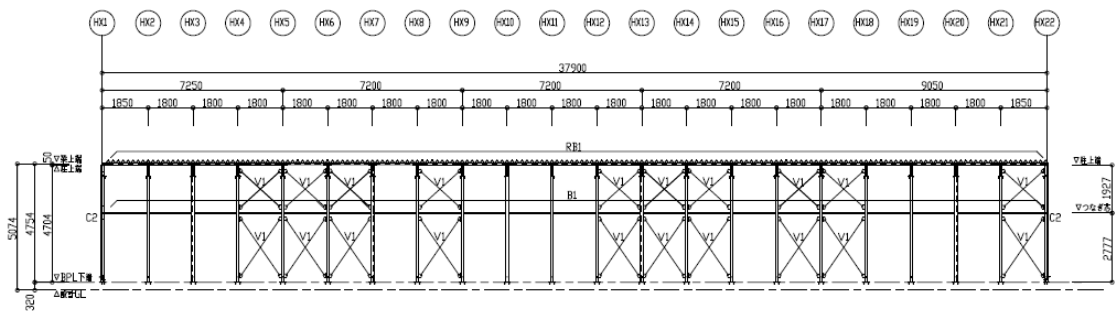
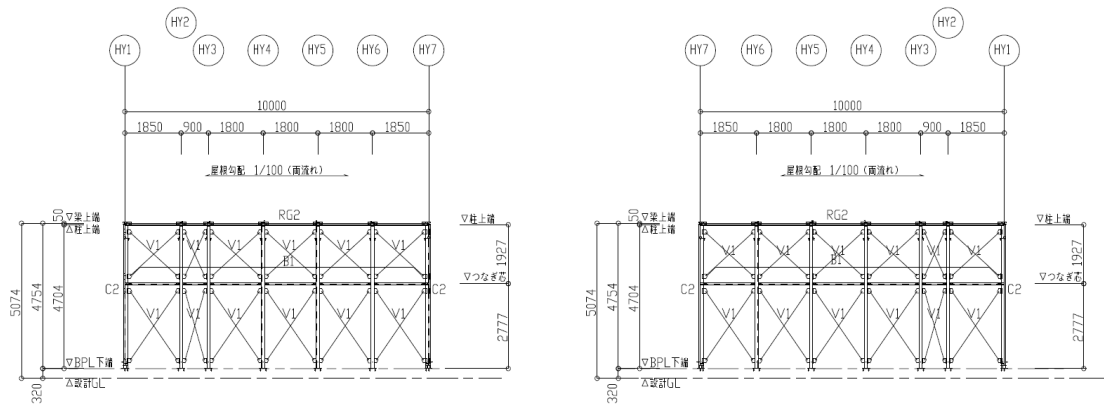


図 2.14.2.4-4 HY6 通り軸組図 (多核種移送設備建屋) (単位 : mm)



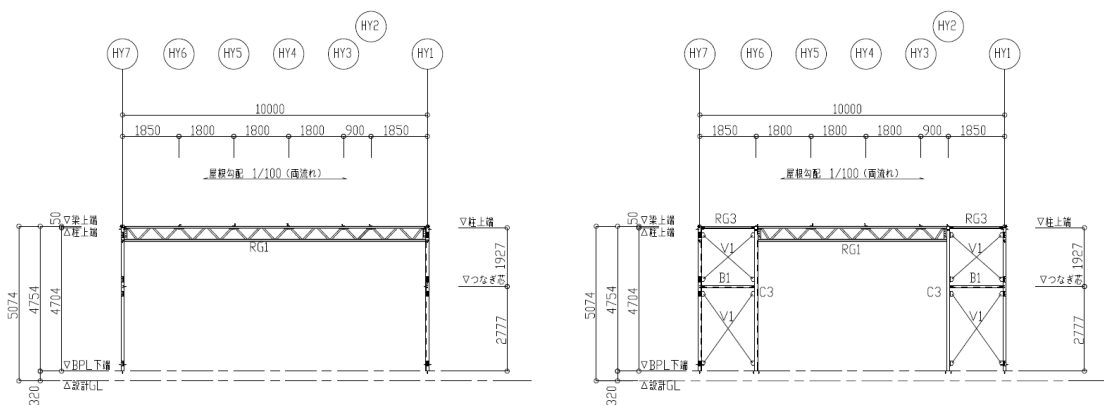
(単位：mm)

図 2.14.2.4-5 HY7 通り軸組図 (多核種移送設備建屋)



(単位：mm)

図 2.14.2.4-6 HX1, HX22 通り軸組図 (多核種移送設備建屋)



(単位：mm)

図 2.14.2.4-7 HX4, HX5,9,13,17 通り軸組図 (多核種移送設備建屋)

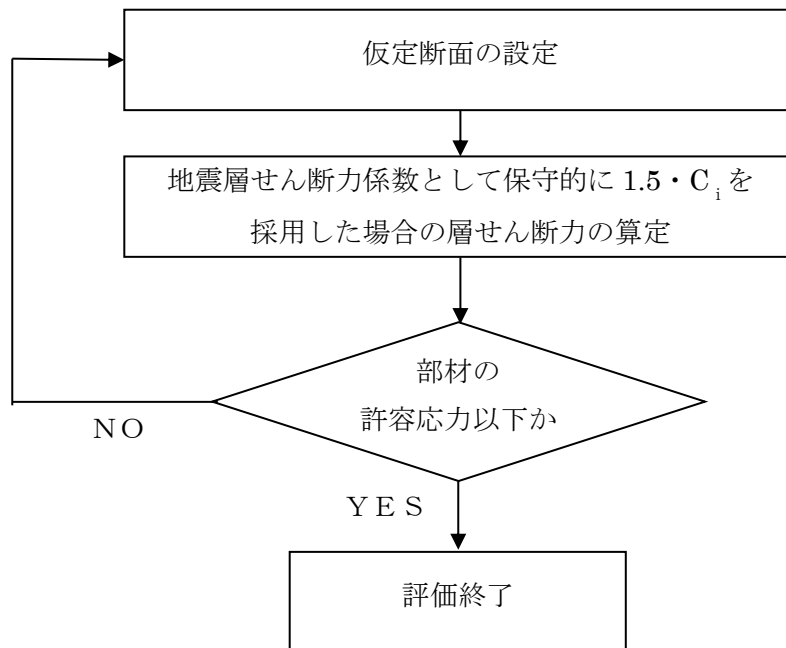


図 2.14.2.4-8 多核種移送設備建屋の耐震安全性評価手順

## 2.1 評価条件（多核種移送設備建屋）

### 2.1.1 使用材料並びに材料の許容応力度

建屋に用いる材料のうち、コンクリートは普通コンクリートとし、設計基準強度  $F_c$  は  $21\text{N/mm}^2$  とする。鉄筋は SD295A 及び SD345 とする。鋼材は、SS400, SSC400, STKR400, SWH400 とする。ボルトは M12, M16 とする。

各使用材料の許容応力度を表 2.14.2.4-1～表 2.14.2.4-4 に示す。

表 2.14.2.4-1 コンクリートの許容応力度※

(単位： $\text{N/mm}^2$ )

	長 期		短 期	
	圧縮	せん断	圧縮	せん断
$F_c = 21$	7	0.7	10.5	1.09

※：日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」による。

表 2.14.2.4-2 鉄筋の許容応力度\*

(単位 : N/mm<sup>2</sup>)

		長 期		短 期	
		引張及び圧縮	せん断補強	引張及び圧縮	せん断補強
SD295A	D16 以下	195	195	295	295
SD345	D19~D25	215	195	345	345

※ : 日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」による。

表 2.14.2.4-3 鋼材の許容応力度\*

(単位 : N/mm<sup>2</sup>)

	長期		短期	
	引張・圧縮・ 曲げ	せん断	引張・圧縮・ 曲げ	せん断
SS400 SSC400 STKR400 SWH400	156	90	235	135

※ : 建築基準法施行令第 90 条及び平 12 建告第 2464 号第 1 による。

注記 : 曲げ座屈のおそれのある材は曲げ座屈を考慮した許容応力度とする。また、圧縮材は座屈を考慮した許容応力度とする。

表 2.14.2.4-4 ボルトの許容応力度

(単位 : kN)

呼び径	長 期		短 期		強度区分
	引張力	せん断 (一面)	引張力	せん断 (一面)	
M12	13.5	7.79	20.2	11.7	4.8
M16	25.1	14.5	37.7	21.8	

## 2.1.2 荷重及び荷重の組合せ（多核種移送設備建屋）

### 2.1.2.1 荷重

設計で考慮する荷重を以下に示す。

#### (1) 鉛直荷重（V L）

鉛直荷重は，固定荷重，機器荷重，配管荷重及び積載荷重とする。

#### (2) 積雪荷重（S N L）

積雪荷重は，建築基準法施行令第 86 条，福島県建築基準法施行規則細則第 19 条に準拠し以下の条件とする。

- ・積雪量：35 cm
- ・単位荷重：20 N/m<sup>2</sup>/cm

#### (3) 風荷重（W L）

風荷重は，建築基準法施行令第 87 条，建設省告示第 1454 号に基づく速度圧及び風力係数を用いて算定する。

- ・基準風速：30 m/s
- ・地表面粗度区分：III

#### (4) 地震荷重（S E L）

地震力を算定する際の基準面は，地盤面として，建屋の高さに応じた当該部分に作用する全体の地震力を算定する。

地上部分の水平地震力は下式により算定する。

$$Q_i = n \cdot C_i \cdot W_i$$

ここで，

- $Q_i$ ：地上部分の水平地震力（kN）
- $n$ ：施設の重要度分類に応じた係数（ $n = 1.5$ ）
- $C_i$ ：地震層せん断力係数（ $C_i = 0.3$ ）
- $W_i$ ：当該層以上の重量（kN）

水平地震力の算定結果を表 2.14.2.4-5 に示す。

表 2.14.2.4-5 水平地震力の算定結果

階	当該層以上の重量 $W_i$ (kN)	地震層せん断力係数 $1.5 \cdot C_i$	設計用地震力 (kN)
1	204.18	0.45	91.88



### 2.1.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せについて表 2.14.2.4-6 に示す。

表 2.14.2.4-6 荷重の組合せ

荷重状態	荷重ケース	荷重の組合せ	許容応力度
常時	A	VL <sup>※1</sup>	長期
積雪時	B	VL + SNL	短期
地震時	C1	VL + SEL (W→E 方向)	
	C2	VL + SEL (E→W 方向)	
	C3	VL + SEL (S→N 方向)	
	C4	VL + SEL (N→S 方向)	
暴風時	D1	VL + WL (W→E 方向)	
	D2	VL + WL (E→W 方向)	
	D3	VL + WL (S→N 方向)	
	D4	VL + WL (N→S 方向)	

※1：鉛直荷重（VL）は固定荷重，機器荷重，配管荷重及び積載荷重を加え合わせたものである。

## 2.2 評価結果（多核種移送設備建屋）

### 2.2.1 鉄骨梁の検討

検討により求められた鉄骨梁の作用応力を許容応力と比較し，検定比が最大となる部位を表 2.14.2.4-7 に示す。

これより，鉄骨梁の作用応力は，許容応力以下であることを確認した。

表 2.14.2.4-7 鉄骨梁の作用応力と許容応力

検討箇所	断面 (mm)	荷重ケース	応力	作用応力	許容応力	検定比
RG2	C-75×45×15×2.3	常時 A	曲げモーメント	0.14kN・m	1.54kN・m	0.10
RG1	M12-3		せん断力	3.20kN	23.37kN	0.14
RG2	C-75×45×15×2.3	積雪時 B	曲げモーメント	0.41kN・m	2.31kN・m	0.18
RG3	M12-2	地震時 C1,C2	せん断力	12.90kN	23.40kN	0.56

※：せん断力は接合部ボルトの評価結果を示す。

## 2.2.2 鉄骨柱の検討

検討により求められた鉄骨柱の作用応力を許容応力と比較し、検定比が最大となる部位を表 2.14.2.4-8 に示す。

これより、鉄骨柱の作用応力は、許容応力以下であることを確認した。

表 2.14.2.4-8 鉄骨柱の作用応力と許容応力

検討箇所	断面	荷重ケース	応力	作用応力	許容応力	検定比
1階 HX2-HY1 C1	□-100×100×3.2	常時 A	軸力 曲げモーメント	N=4.48kN M=0.32kN・m	N=79.33kN M=5.85kN・m	0.11
1階 HX2-HY1 C1	□-100×100×3.2	暴風時 D1,D2	軸力 曲げモーメント	N=4.88kN M=3.67kN・m	N=118.99kN M=8.78kN・m	0.46

注記：柱の軸力は、圧縮を正とする。

## 2.2.3 鉄骨ブレースの検討

検討により求められた鉄骨ブレースの作用応力を許容応力と比較し、検定比が最大となる部位を表 2.14.2.4-9 に示す。

これより、鉄骨ブレースの作用応力は、許容応力以下であることを確認した。

表 2.14.2.4-9 鉄骨ブレースの作用応力と許容応力

検討箇所	断面	荷重ケース	応力	作用応力 (kN)	許容応力 (kN)	検定比
水平 ブレース	R階 HX1-HX2 HX21-HX22 通り	丸鋼 M12	地震時 C3,C4	軸力 6.92	20.68	0.34
鉛直 ブレース	1階 HX1,HX5,HX9 HX13,HX17,HX22 通り	丸鋼 M16	地震時 C1,C2	軸力 9.00	38.30	0.24

#### 2.2.4 基礎スラブの検討

検討により求められた基礎スラブの作用応力を許容応力と比較し、検定比が最大となる部位を表 2.14.2.4-10 に示す。

これより、基礎スラブの作用応力は、許容応力以下であることを確認した。

表 2.14.2.4-10 基礎スラブの作用応力と許容応力

検討箇所	断面	荷重 ケース	応力	作用応力	許容応力	検定 比
基礎スラブ	D19@200 ダブル 厚 500mm	常時 A	曲げモー メント	75.0kN・m	107.8kN・m	0.70
			せん断力	30.0kN	245.0kN	0.13

#### 2.3 まとめ（多核種移送設備建屋）

鉄骨大梁，鉄骨柱，鉄骨ブレース，基礎スラブについて，作用応力が許容応力以下であることを確認した。

以上より，多核種移送設備建屋の耐震安全性を確認した。

### 3. 5,6号機東側電気品建屋

5,6号機東側電気品建屋は、今回新たに設置する建屋であり、内部には緊急遮断弁-1の他、ALPS処理水希釈放出設備に関連する電気品等を設置する。

本建屋は、鉄骨造の平屋で、平面が12.7m (NS) × 9.1m (EW) であり、地上高さは4.95mである。建屋基礎はべた基礎で地盤に支持させる。アンカープラン、梁伏図及び軸組図を図2.14.2.4-9～図2.14.2.4-14に示す。

本建屋に加わる地震時の水平力は、ブレース及び大梁と柱からなるブレース構造で負担する耐震性の評価は、地震層せん断力係数として $1.0 \cdot C_i$ を採用した場合の当該部位の応力に対して行う。建屋の評価手順を図2.14.2.4-15に示す

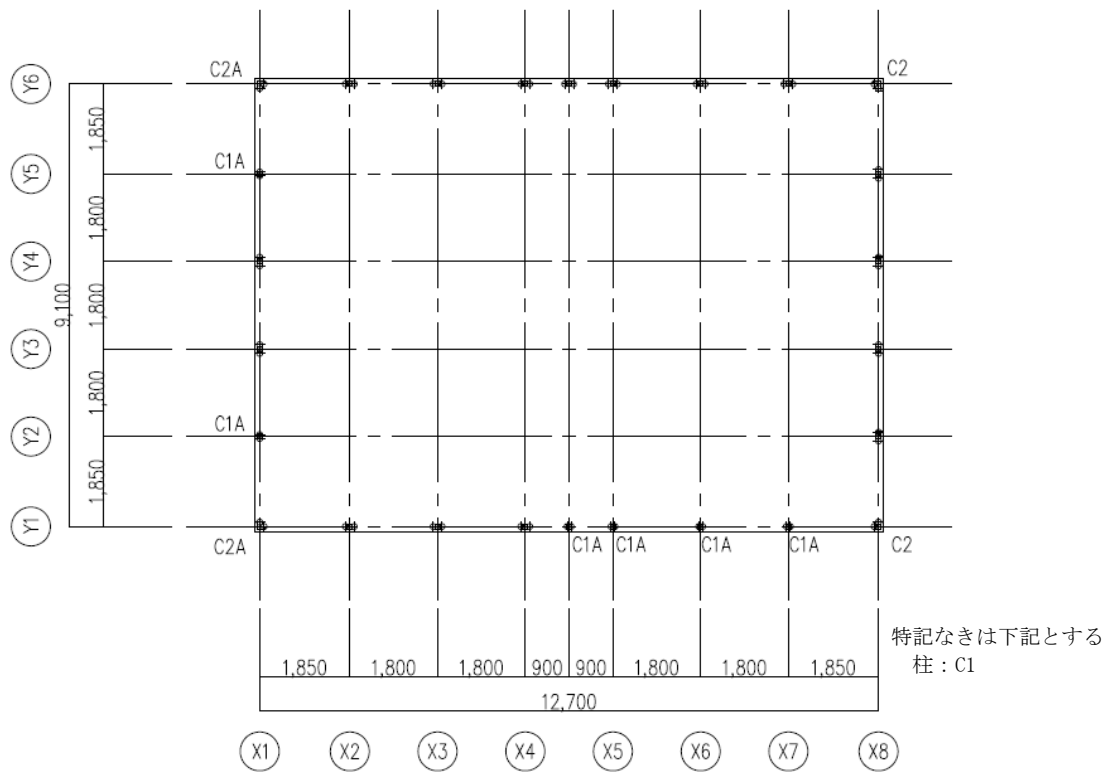


図 2.14.2.4-9 1階アンカープラン (5,6号機東側電気品建屋) (単位：mm)

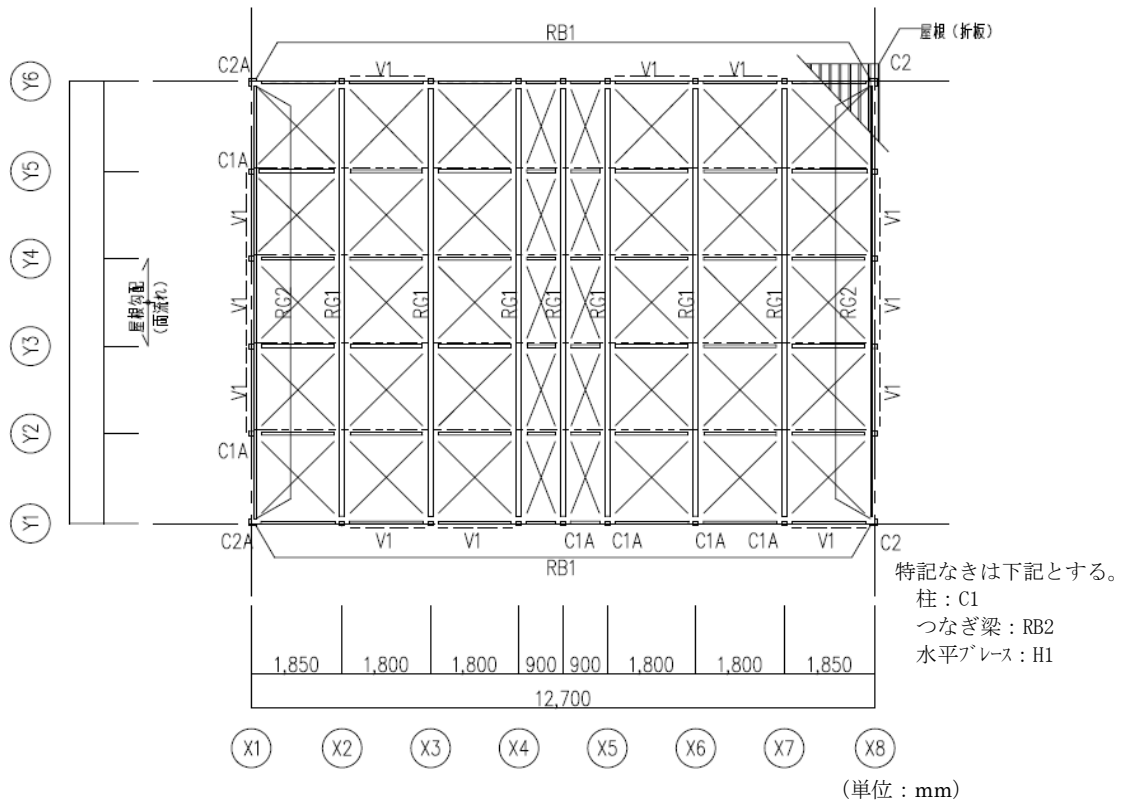


図 2.14.2.4-10 R 階梁伏図 (5,6 号機東側電気品建屋)

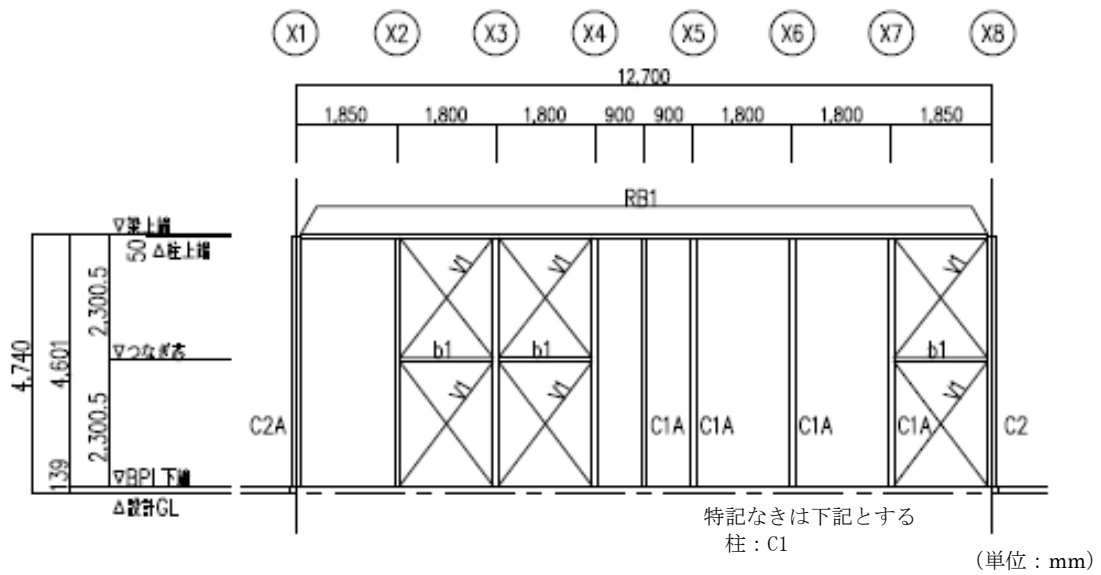


図 2.14.2.4-11 Y1 通り軸組図 (5,6 号機東側電気品建屋)

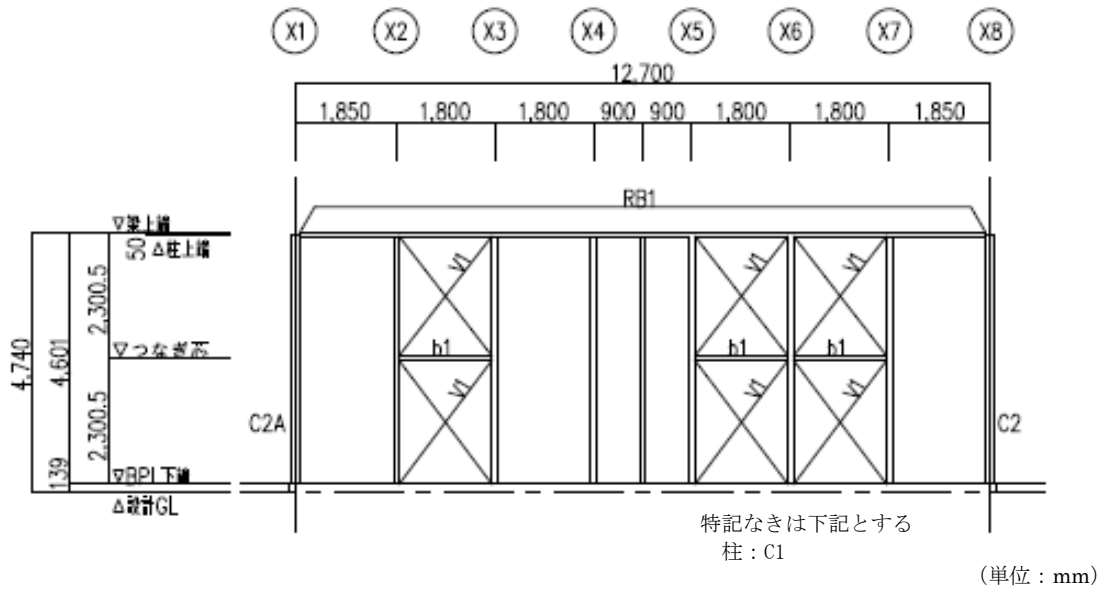


図 2.14.2.4-12 Y6 通り軸組図 (5,6 号機東側電気品建屋)

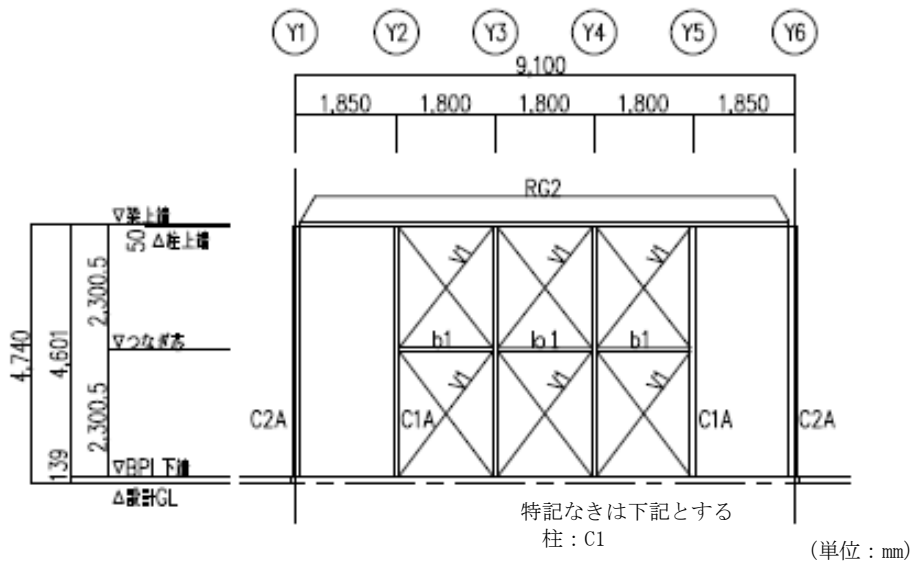
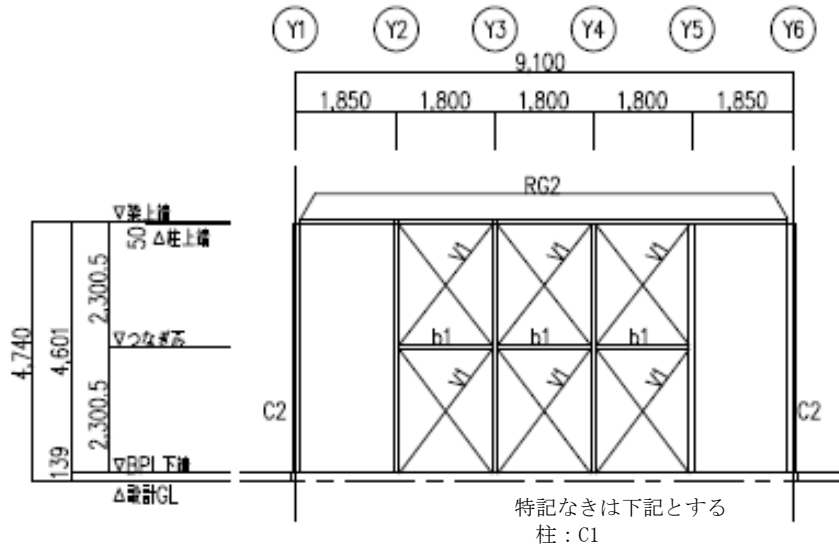


図 2.14.2.4-13 X1 通り軸組図 (5,6 号機東側電気品建屋)



(単位：mm)

図 2.14.2.4-14 X8 通り軸組図 (5,6 号機東側電気品建屋)

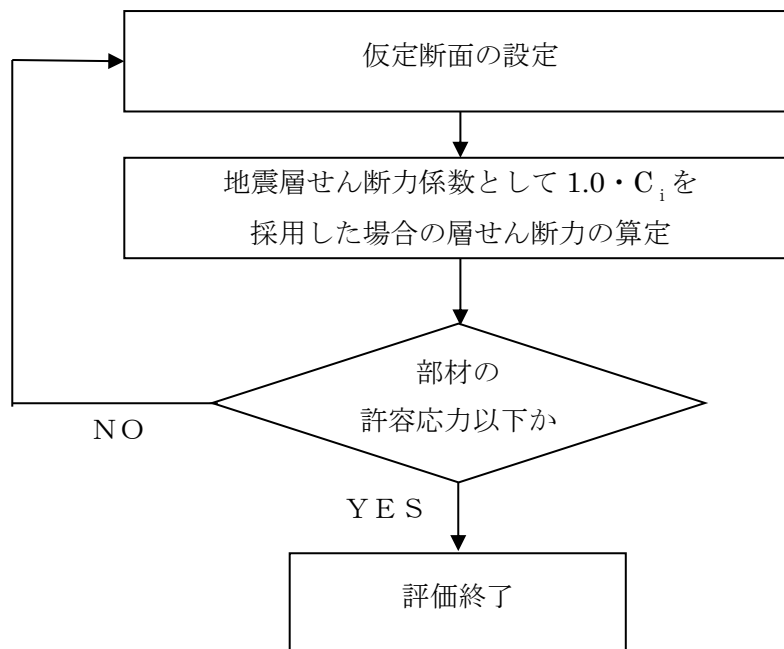


図 2.14.2.4-15 5,6 号機東側電気品建屋の耐震安全性評価手順

### 3.1 評価条件（5,6号機東側電気品建屋）

#### 3.1.1 使用材料並びに材料の許容応力度

建屋に用いる材料のうち、コンクリートは普通コンクリートとし、設計基準強度 $F_c$ は $24\text{N/mm}^2$ とする。鉄筋はSD295A及びSD345とする。鋼材は、SS400、SSC400、STK400、STKR400とする。ボルトはM12,M16とする。

各使用材料の許容応力度を表2.14.2.4-11～表2.14.2.4-14に示す。

表 2.14.2.4-11 コンクリートの許容応力度\*

(単位： $\text{N/mm}^2$ )

	長期		短期	
	圧縮	せん断	圧縮	せん断
$F_c=24$	8	0.73	16	1.09

※：日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」による。

表 2.14.2.4-12 鉄筋の許容応力度\*

(単位： $\text{N/mm}^2$ )

		長期		短期	
		引張及び圧縮	せん断補強	引張及び圧縮	せん断補強
SD295A	D16以下	195	195	295	295
SD345	D19～D25	215	195	345	345

※：日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」による。

表 2.14.2.4-13 鋼材の許容応力度\*

(単位： $\text{N/mm}^2$ )

	長期		短期	
	引張・圧縮・ 曲げ	せん断	引張・圧縮・ 曲げ	せん断
SS400 SSC400 STK400 STKR400	156	90	235	135

※：建築基準法施行令第90条及び平12建告第2464号第1による。

注記：曲げ座屈のおそれのある材は曲げ座屈を考慮した許容応力度とする。また、圧縮材は座屈を考慮した許容応力度とする。



表 2.14.2.4-14 ボルトの許容応力度

(単位：kN)

呼び径	長期		短期		強度区分
	引張力	せん断 (一面)	引張力	せん断 (一面)	
M12	13.5	7.79	20.2	11.7	4.8
M16	25.1	14.5	37.7	21.8	

### 3.1.2 荷重及び荷重の組合せ

#### 3.1.2.1 荷重

設計で考慮する荷重を以下に示す。

##### (1) 鉛直荷重 (V L)

鉛直荷重は、固定荷重、機器荷重、配管荷重及び積載荷重とする。

##### (2) 積雪荷重 (S N L)

積雪荷重は、建築基準法施行令第 86 条、福島県建築基準法施行規則細則第 19 条に準拠し以下の条件とする。

- ・積雪量：30 cm
- ・単位荷重：20 N/m<sup>2</sup>/cm

##### (3) 風荷重 (W L)

風荷重は、建築基準法施行令第 87 条、建設省告示第 1454 号に基づく速度圧及び風力係数を用いて算定する。

- ・基準風速：30 m/s
- ・地表面粗度区分：III

(4) 地震荷重 (SEL)

地震力を算定する際の基準面は、地盤面として、建屋の高さに応じた当該部分に作用する全体の地震力を算定する。

地上部分の水平地震力は下式により算定する。

$$Q_i = n \cdot C_i \cdot W_i$$

ここで、

$Q_i$  : 地上部分の水平地震力 (kN)

$n$  : 施設の重要度分類に応じた係数 ( $n=1.0$ )

$C_i$  : 地震層せん断力係数 ( $C_i=0.3$ )

$W_i$  : 当該層以上の重量 (kN)

水平地震力の算定結果を表 2.14.2.4-15 に示す。

表 2.14.2.4-15 水平地震力の算定結果

G.L. (m)	当該層以上の重量 $W_i$ (kN)	地震層せん断力係数 $1.0 \cdot C_i$	設計用地震力 (kN)
4.95	87.11	0.3	26.14

3.1.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せについて表 2.14.2.4-16 に示す。

表 2.14.2.4-16 荷重の組合せ

荷重状態	荷重ケース	荷重の組合せ	許容応力度
常時	A	$V L^{*1}$	長期
積雪時	B	$V L + S N L$	短期
地震時	C 1	$V L + S E L$ (W→E 方向)	
	C 2	$V L + S E L$ (E→W 方向)	
	C 3	$V L + S E L$ (S→N 方向)	
	C 4	$V L + S E L$ (N→S 方向)	
暴風時	D 1	$V L + W L$ (W→E 方向)	
	D 2	$V L + W L$ (E→W 方向)	
	D 3	$V L + W L$ (S→N 方向)	
	D 4	$V L + W L$ (N→S 方向)	

\*1 : 鉛直荷重 (VL) は固定荷重, 機器荷重, 配管荷重及び積載荷重を加え合わせたものである。

### 3.2 評価結果（5,6号機東側電気品建屋）

#### 3.2.1 鉄骨梁の検討

検討により求められた鉄骨梁の作用応力を許容応力と比較し、検定比が最大となる部位を表 2.14.2.4-17 に示す。

これより、鉄骨梁（ラチス梁）の作用応力は、許容応力以下であることを確認した。

表 2.14.2.4-17 鉄骨梁（ラチス梁）の作用応力と許容応力

検討箇所	断面	荷重 ケース	応力	作用 応力	許容 応力	検定 比
R 階 X2,X7 通り RG1 (ラチス梁)	上弦材 2C-75×45×15×2.3	常時 A	軸力	13.33kN	92.12kN	0.14
	3-M12		せん断力	2.49kN	23.37kN	0.11
R 階 X2,X7 通り RG1 (ラチス梁)	上弦材 2C-75×45×15×2.3	積雪時 B	軸力	40.00kN	138.19kN	0.29
	3-M12		せん断力	7.47kN	35.10kN	0.21

注記：せん断力は接合部ボルトの評価結果を示す。

### 3.2.2 鉄骨柱の検討

検討により求められた鉄骨柱の作用応力を許容応力と比較し、検定比が最大となる部位を表 2.14.2.4-18 に示す。

これより、鉄骨柱の作用応力は、許容応力以下であることを確認した。

表 2.14.2.4-18 鉄骨柱の作用応力と許容応力

検討箇所	断面	荷重ケース	応力	作用応力	許容応力	検定比
1階 X2-Y1 C1	□-100×100×3.2	常時 A	軸力 曲げモーメント	N=6.88kN M=0.25kN・m	N=77.51kN M=5.85kN・m	0.13
1階 X2-Y1 C1	□-100×100×3.2	暴風時 D1,D2	軸力 曲げモーメント	N=6.88kN M=2.93kN・m	N=116.26kN M=8.78kN・m	0.39

注記：柱の軸力は、圧縮を正とする。

### 3.2.3 鉄骨ブレースの検討

検討により求められた鉄骨ブレースの作用応力を許容応力と比較し、検定比が最大となる部位を表 2.14.2.4-19 に示す。

これより、鉄骨ブレースの作用応力は、許容応力以下であることを確認した。

表 2.14.2.4-19 鉄骨ブレースの作用応力と許容応力

検討箇所		断面	荷重ケース	応力	作用応力 (kN)	許容応力 (kN)	検定比
水平 ブレース	R階 X1-X2 X7-X8 通り	丸鋼 M12	地震時 C3,C4	軸力	3.70	20.68	0.18
鉛直 ブレース	1階 X1,X8 Y1,Y6 通り	丸鋼 M12	地震時 C1,C2 C3,C4	軸力	7.07	20.68	0.35

### 3.2.4 基礎スラブの検討

検討により求められた基礎スラブの作用応力を許容応力と比較し、検定比が最大となる部位を表 2.14.2.4-20 に示す。

これより、基礎スラブの作用応力は、許容応力以下であることを確認した。

表 2.14.2.4-20 基礎スラブの作用応力と許容応力

検討箇所	断面	荷重 ケース	応力	作用応力	許容応力	検定比
基礎スラブ	D22@200 ダブル 厚 250mm	常時 A	曲げモーメント	57.4kN・m	65.1kN・m	0.89
			せん断力	24.7kN	109.6kN	0.23

### 3.3 まとめ (5,6 号機東側電気品建屋)

鉄骨大梁、鉄骨柱、鉄骨ブレース、基礎スラブについて、作用応力が許容応力以下であることを確認した。

以上より、5,6 号機東側電気品建屋の耐震安全性を確認した。

以上

## 地震以外に想定される自然現象に対する設計上の考慮に関する補足説明

ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設において、地震以外に想定される自然現象（津波、豪雨、竜巻等）に対する設計上の考慮は下記の通り。

## 1. 津波

ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設は、測定・確認用設備、移送設備、希釈設備、放出設備から構成される。その中で、測定・確認用設備及び移送設備の一部については、33.5m 盤に設置されるものの、残りの移送設備や希釈設備、放水設備は 11.5m 盤以下に設置されることから、津波による浸水するおそれがある。

このため、緊急遮断弁-1 を含む 5,6 号機東側電気品建屋は、T.P.約 11.5m のエリアに日本海溝津波防潮堤（天端高さ T.P.約 13.5m）の内側に設置する。図 2.14.2.5-1 に日本海溝津波による最大浸水深の分布を示すが、この結果から、5,6 号機東側電気品建屋は浸水しないと評価した。また、ALPS 処理水の移送配管は、地上高 0.3~0.4m 程度に設置予定であり、最大浸水深はいずれの位置においても 0.2m 未満のため浸水しないと考えられる。

一方、日本海溝津波による解析結果を踏まえると、2.5m 盤は浸水深 9m 以上となり、海水移送ポンプ等の設備は浸水し、設備が損傷するおそれがある。このため、津波注意報が発報した場合は海洋放出を停止する運用とする。また、津波による被災後の復旧時間を短縮するため、海水移送ポンプ等の本設備の運転に必須であるもの、納期が半年以上かかるものについては予備品を確保する。

なお、放水設備は津波に対する浸水は不可避であることから、復旧性に依じて、耐波圧性を有する設計とする。

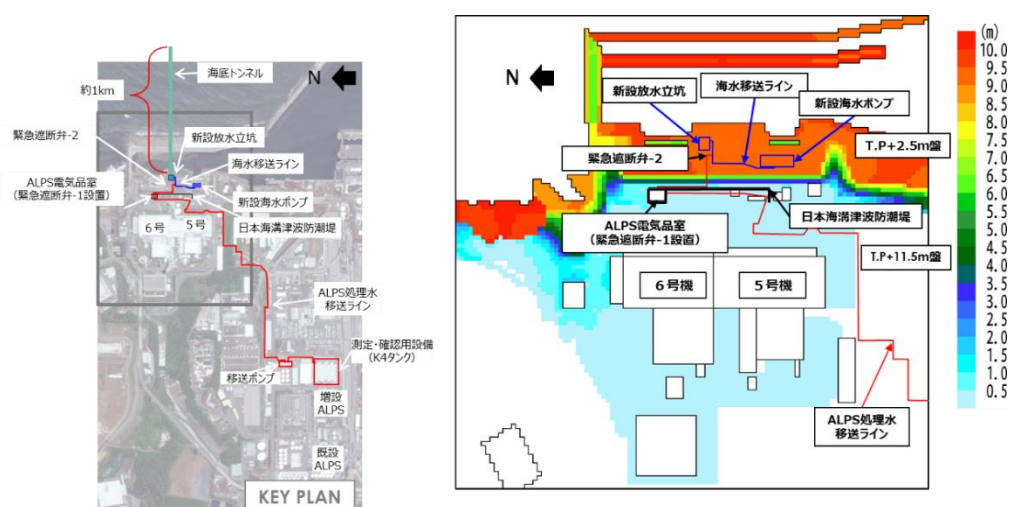


図 2.14.2.5-1 日本海溝津波による最大浸水分布図

## 2. 豪雨

ALPS 処理水希釈放出設備のうち、循環ポンプ、ALPS 処理水移送ポンプ、制御盤等の電気品は、豪雨による影響を受けにくい屋内に設置する。

なお、それぞれの建屋から、構内排水路に雨水排水できるよう設計をしている。なお、5,6号機東側電気品建屋については、周囲が防潮堤に囲まれることから、建屋周辺にU字溝を設置して雨水集水後、集水柵及び埋設排水管にて防潮堤外側に導水し、既設の排水溝と接続する。

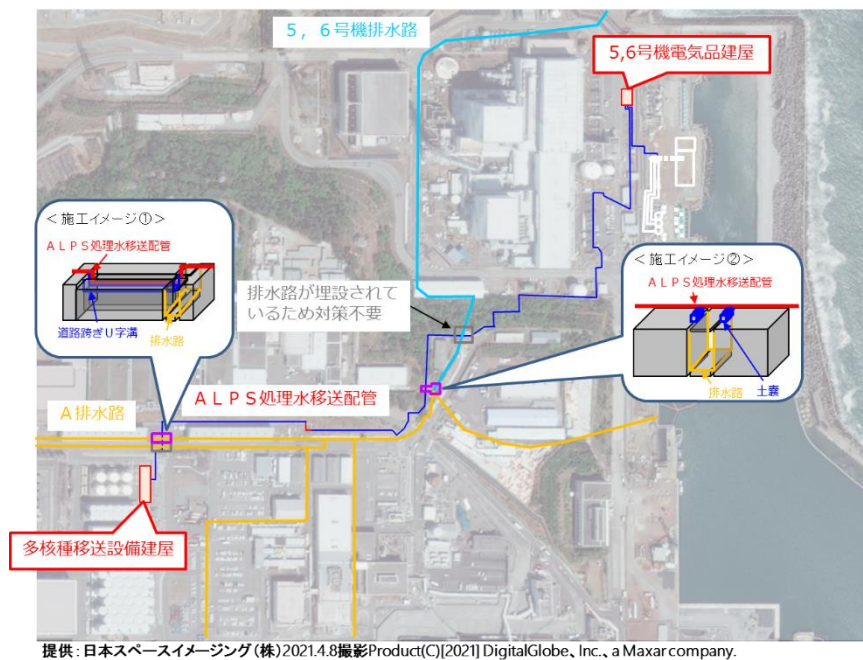


図 2.14.2.5-2 排水路と設備の位置関係（配管の排水路対策含む）

## 3. 落雷

ALPS 処理水希釈放出設備のうち多核種移送設備建屋及び5,6号機東側電気品建屋に設置する電気設備に対して、避雷針の設置、機器接地等により落雷による損傷を防止する設計とする。

これらの建屋高さは約5mであり、建築基準法に定められる高さ20mを超えないため、避雷針の設置要求はないものの、緊急遮断弁-1や希釈設備の制御盤等を設置する、5,6号機東側電気品建屋（新設）には避雷針を設置する。また、既設の多核種移送設備建屋は、前述の通り、建屋高さが約5mであることに加え、近傍が建屋より高いK3、K4エアータンク（約13m）に囲まれていることから、落雷による損傷を防止可能と考えられる。

なお、いずれの建屋も1～6号機建屋の接地網と接続すること並びに各建屋にて接地極を設けることで接地抵抗低減等を行うとともに、計測制御設備については、絶縁トランスにより雷サージ侵入の抑制を図る回路設計を行い、安全機能を損なうことのない設計とする。

#### 4. 台風（強風，高潮）

ALPS 処理水希釈放出設備のうち，屋外に設置する移送配管においては図 2.14.2.5-3 に示すように固定することで転倒しない設計とする。



(a) 移送配管のサポートの現場での施工例と固定状況



(b) 配管ラックの固定状況

図 2.14.2.5-3 屋外に設置する移送配管の転倒防止対策



## 5. 凍結

ALPS 処理水希釈放出設備は、水の移送を停止した場合、屋外敷設のポリエチレン管は凍結による破損が懸念される。そのため、屋外敷設のポリエチレン管に保温材を取り付け、凍結防止を図る。

保温材厚さの設定の際には、「建設設備の凍結防止（空気調和・衛生工学会）」に基づき、震災以降に凍結事象が発生した外気温 $-8^{\circ}\text{C}$ 、内部流体の初期温度 $5^{\circ}\text{C}$ 、保温材厚さ $21.4\text{mm}$ の条件において、内部流体が $25\%$ ※凍結するまでに十分な時間（50 時間程度）があることを確認した。なお、福島県の小名浜気象台の気象観測記録で過去に計測された気温は、表 2.14.2.5-1 の通りで、気温 $-8^{\circ}\text{C}$ を下回っているものの、当該気温が 24 時間継続するような事象は確認されていない。

※：「JIS A 9501 保温保冷工事施工標準」において管内水の凍結割合を $25\%$ 以下と推奨

表 2.14.2.5-1 小名浜気象台の気象観測記録（日最低気温の低い方から）

	1 位	2 位	3 位	4 位	5 位
日最高気温（ $^{\circ}\text{C}$ ）	-10.7	-9.3	-9.3	-9.2	-8.9
年月日	1952/2/5	1940/1/11	1927/1/24	1967/1/17	1945/1/30

	6 位	7 位	8 位	9 位	10 位
日最高気温（ $^{\circ}\text{C}$ ）	-8.8	-8.8	-8.6	-8.5	-8.5
年月日	1952/2/20	1933/2/26	1922/1/23	1985/1/30	1934/3/6

URL: <https://www.jma.go.jp/jma/index.html>

## 6. 高温

福島県の小名浜気象台の気象観測記録で過去に計測された気温は、最高で $37.7^{\circ}\text{C}$ であり、これを超えない温度として、最高使用温度を $40^{\circ}\text{C}$ と設定している。

表 2.14.2.5-2 小名浜気象台の気象観測記録（日最高気温の高い方から）

	1 位	2 位	3 位	4 位	5 位
日最高気温（ $^{\circ}\text{C}$ ）	37.7	37.3	36.9	36.8	35.5
年月日	1994/8/3	2021/8/10	2007/8/16	1996/8/15	2016/8/9

	6 位	7 位	8 位	9 位	10 位
日最高気温（ $^{\circ}\text{C}$ ）	35.4	34.9	34.7	34.7	34.6
年月日	1947/8/11	1932/7/30	1958/8/1	1944/7/18	2004/8/20

URL: <https://www.jma.go.jp/jma/index.html>

7. 生物学的事象

ALPS 処理水希釈放出設備は、海生生物（くらげ等）の襲来等や、建屋貫通孔等からの小動物の侵入が想定されるため、前者は5,6号機取水路開渠の北防波堤や仕切堤等により侵入を防止する設計とし、後者は建屋貫通孔や電路端部等に対してシール材を施工することにより、侵入を防止する設計とすることで対策を行う。

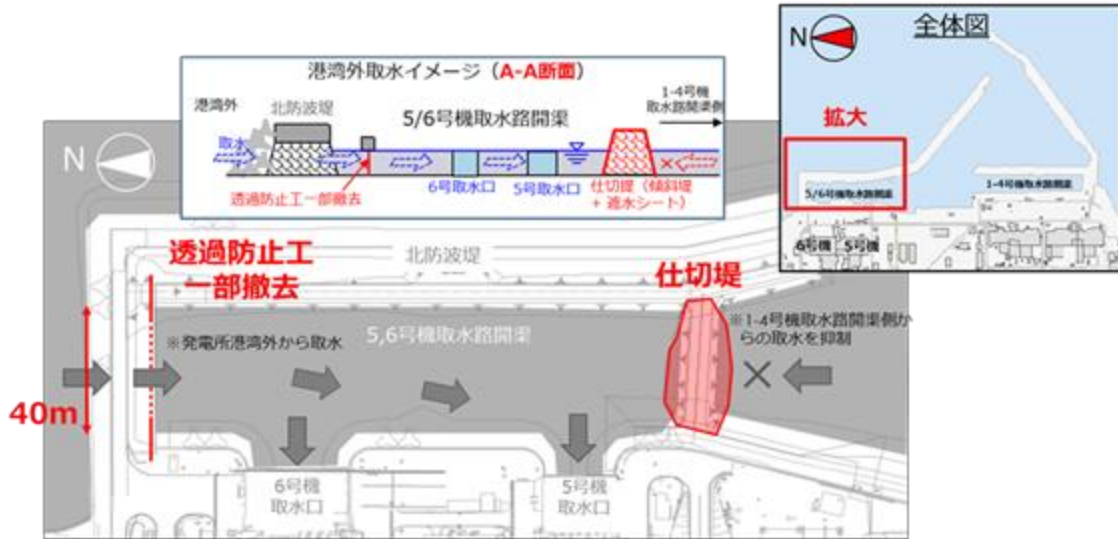


図 2.14.2.5-4 5,6号機の取水方法

また、ALPS 処理水希釈放出設備を設置する5号機取水路には、新たにスクリーンを設置することで取水海中の除塵を行う。なお、現在の5号機全体に必要な取水量は4門で足りることから、4門にバケット型スクリーン（メッシュサイズ9mm）を設置して、取水の除塵を行う。また、残り3門についても、バケット型スクリーンと同様のメッシュサイズのネットスクリーンを設置することで、当該箇所から侵入を防止する設計としている。

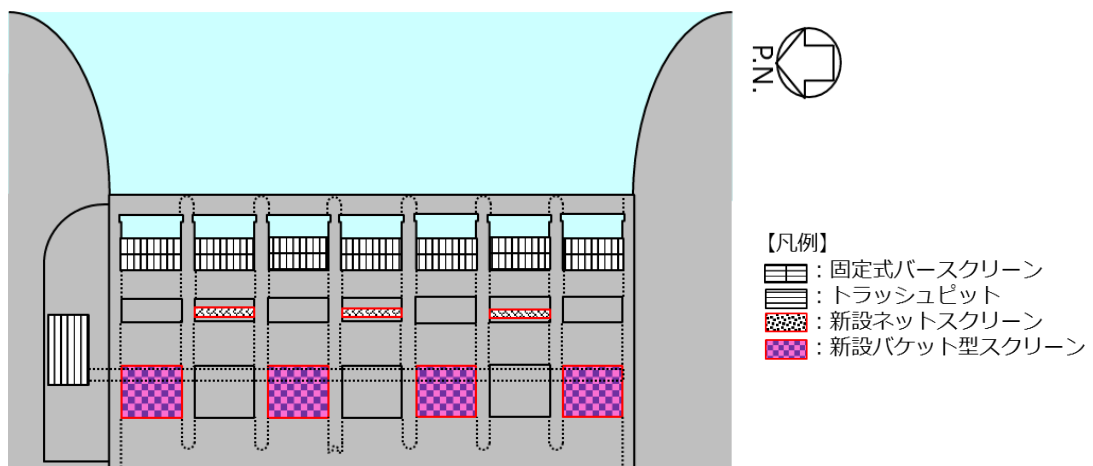


図 2.14.2.5-5 5号機取水路のスクリーンの設置計画※

※：今後の現場施工により、新設スクリーンの設置箇所が異なる可能性有

## 8. 森林火災

発電所周辺からの大規模火災に対しては、発電設備・炉注水配管等の重要設備に火災の影響が及ぶことを確実に防ぐことを目的として、重要設備の周辺に必要な防火帯を確保している。

防火帯に必要な形成幅については、(独)原子力安全基盤機構の「福島第一原子力発電所への林野火災に関する影響評価」(JNES RC 2012 0002)を参考に30m以上を確保することとしている。

林野火災の専門家に現地の状況を視察頂き、防火帯幅を拡張する為の伐採箇所や林野火災において延焼しやすいと考えられる斜面の樹木の伐採等について指導を頂き、これに基づき防火帯形成の為の除草を平成24年12月に、また森林の伐採工事については平成25年3月に実施している。(図 2.14.2.5-6 参照)

防火帯の機能をより確実なものにしていくため、林野火災の発生が多くなる1月～4月までに防火帯の点検と維持対策を行っている。具体的には、毎年10月中を目途に防火帯機能について点検調査を行い、必要に応じて12月末までに雑草の除去等を行っている。

(実施計画：Ⅲ-3-1-2-3)

なお、ALPS処理水希釈放出設備は防火帯の内側に設置する予定であり、防火帯は本設備に対しても有効である。



図 2.14.2.5-6 防火帯と ALPS 処理水希釈放出設備の位置関係

以上

### 2.14.3 外部人為事象に対する設計上の 考慮への適合性

措置を講ずべき事項

## II. 設計，設備について措置を講ずべき事項

### 1 4. 設計上の考慮

○施設の設計については，安全上の重要度を考慮して以下に掲げる事項を適切に考慮されたものであること。

#### ③外部人為事象に対する設計上の考慮

- ・安全機能を有する構築物，系統及び機器は，想定される外部人為事象によって，施設の安全性を損なうことのない設計であること。
- ・安全機能を有する構築物，系統及び機器に対する第三者の不法な接近等に対し，これを防御するため，適切な措置を講じた設計であること。

#### 2.14.3.1 措置を講ずべき事項への適合方針

ALPS 処理水希釈放出設備は，想定される外部人為事象によって，施設の安全性を損なうことのない設計とする。

ALPS 処理水希釈放出設備に対する第三者の不法な接近等に対し，これを防御するため，適切な措置を講じた設計とする。

### 2.14.3.2 対応方針

○ 施設の設計については、安全上の重要度を考慮して以下について適切に考慮したものとする。

#### (3) 外部人為事象に対する設計上の考慮

- ・ 想定される外部人為事象としては、航空機落下、ダムの崩壊及び爆発、漂流した船舶の港湾への衝突等が挙げられる。本特定原子力施設への航空機の落下確率は、これまでの事故実績等をもとに、民間航空機、自衛隊機及び米軍機を対象として評価した（原管発管 21 第 270 号 実用発電用原子炉施設への航空機落下確率の再評価結果について（平成 21 年 10 月 30 日））。その結果は約  $3.6 \times 10^{-8}$  回/炉・年であり、 $1.0 \times 10^{-7}$  回/炉・年を下回る。したがって、航空機落下を考慮する必要はない。また、特定原子力施設の近くには、ダムの崩壊により特定原子力施設に影響を及ぼすような河川並びに爆発により特定原子力施設の安全性を損なうような爆発物の製造及び貯蔵設備はない。また、最も距離の近い航路との離隔距離や周辺海域の流向を踏まえると、航路を通行する船舶の衝突により、特定原子力施設が安全機能を損なうことはない。
- ・ 安全機能を有する構築物、系統及び機器に対する第三者の不法な接近、妨害破壊行為（サイバーテロ等の不正アクセス行為を含む）及び核物質の不法な移動を未然に防止するため、下記の措置を講ずる。
  - ① 安全機能を有する構築物、系統及び機器を含む区域を設定し、それを取り囲む物的障壁を持つ防護された区域を設けて、これらの区域への接近管理、入退域管理を徹底する。
  - ② 探知施設を設け、警報、映像監視等、集中監視する設計とする。
  - ③ 外部との通信設備を設ける。

(実施計画：II-1-14-1~2)

#### (4) 外部人為事象に対する設計上の考慮

ALPS 処理水希釈放出設備は、想定される外部人為事象によって、施設の安全性を損なうことのない設計とする。また、第三者の不法な接近等に対し、これを防御するため、適切な措置を講じた設計とする。

(実施計画：II-2-50-4)

海洋放出の操作については、電気通信回線を介して行うことから、以下の外部人為事象についても設計上考慮する。

##### (1) 電磁的障害

ALPS 処理水希釈放出設備は、電磁的障害による擾乱に対して、制御盤へ入線する電源受電部へのラインフィルタや絶縁回路の設置、外部からの信号入出力部へのラインフィルタや絶縁回路の設置、通信ラインにおける光ケーブルの適用等により、影響を受けない設計とする。

##### (2) 不正アクセス行為（サイバーテロを含む）

不正アクセス行為（サイバーテロを含む）を未然に防止するため、ALPS 処理水希釈放出設備の操作に係る監視・制御装置が、電気通信回線を通じて不正アクセス行為（サイバーテロを含む）を受けることがないように、外部からの不正アクセスを遮断する設計とする。

(実施計画：II-2-50-添2-10～11)



## 外部人為事象のうち船舶の衝突影響評価について

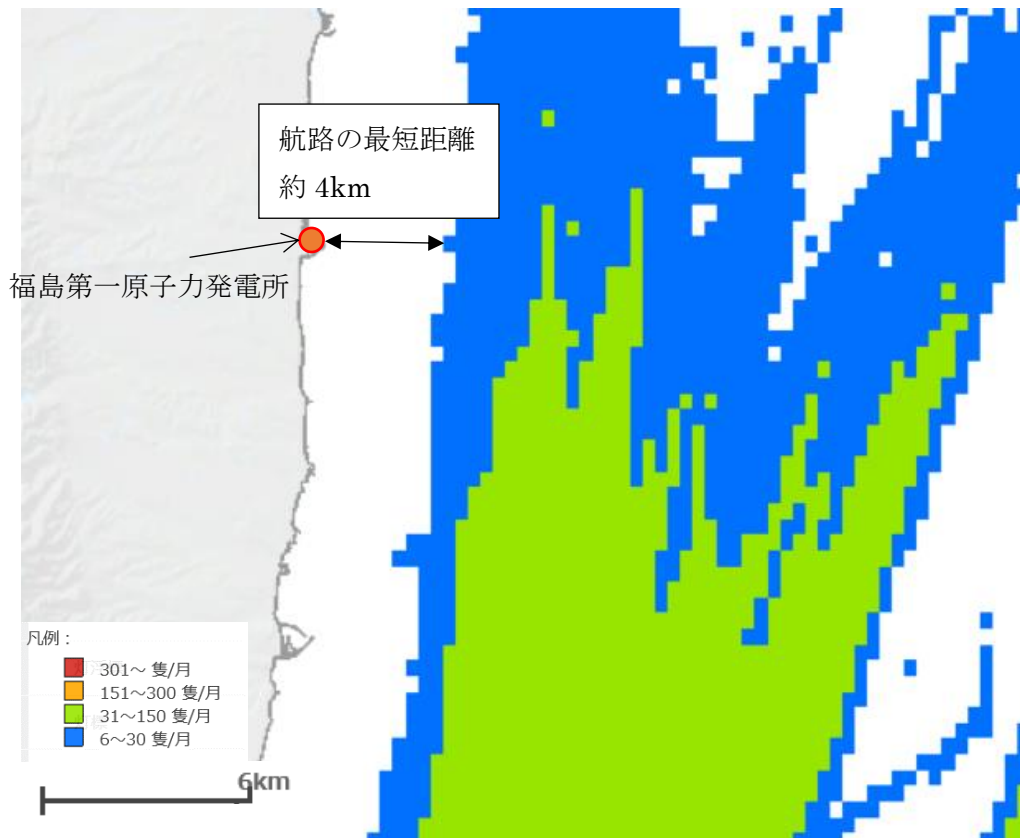
### 1. 概要

最も距離の近い航路でも福島第一原子力発電所より約 4km 以上の離隔距離があることから、航路を通行する船舶の衝突により、特定原子力施設が安全機能を損なうことはない。なお、発電所の周辺海域の流向を調査した結果、発電所前面海域では汀線にほぼ沿った南北方向の流れが多くみられることから、漂流した場合でも取水口に侵入する可能性は低い。小型船舶が発電所近傍で漂流した場合でも、敷地前面の北防波堤や、港湾内の仕切堤に衝突して止まることから取水性に影響はない。

なお、船舶の座礁により重油流出事故が発生した場合に備えて、5,6号機取水路開渠の取水口前面にはオイルフェンスを設置し、取水機能に影響を与えないようにする。

### 2. 敷地前面の航路について

福島第一原子力発電所の周辺海域の船舶としては、図 2.14.3.1-1 の通り最も距離の近い航路でも福島第一原子力発電所より約 4 kmの離隔距離があることに加えて、図 2.14.3.1-2 の通り発電所の周辺海域の流向を調査した結果、発電所前面海域では汀線にほぼ沿った南北方向の流れが多くみられることから、航路を通行する船舶が漂流した場合であっても、敷地に到達する可能性は小さく、特定原子力施設が安全機能を損なうことはない。



出典：海上保安庁 HP（海洋台帳）に一部加筆

図 2.14.3.1-1 敷地周辺の航路

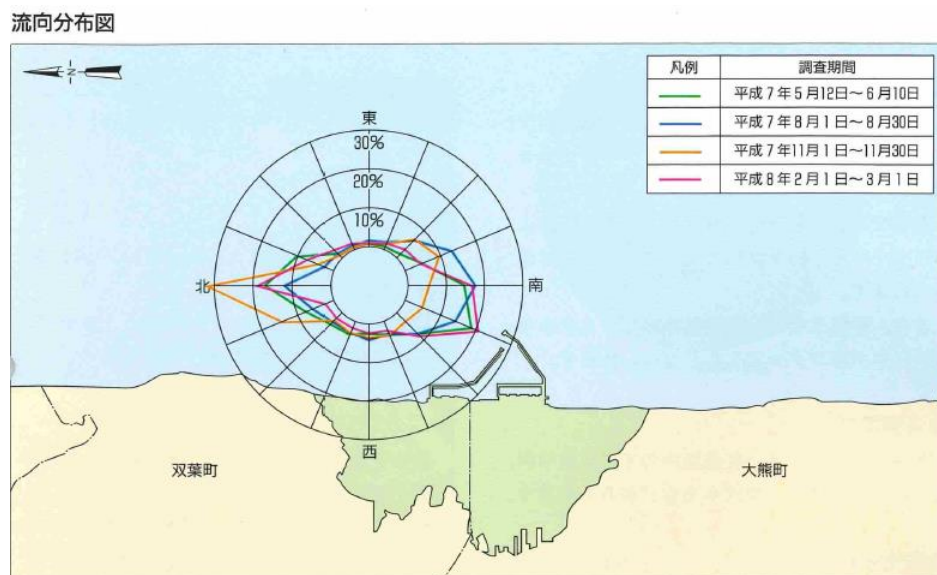


図 2.14.3.1-2 発電所周辺海域の流向分布図※

※：福島第一原子力発電所 7・8 号機 増設計画と環境影響調査のあらましより

### 3. 小型船舶等の衝突による影響

航路外の船舶として、発電所周辺の船舶の影響評価を実施する。評価対象の船舶としては、構内（港湾内）は、燃料等輸送船、土運船、作業船を、構外（港湾外）の船舶として漁船、プレジャーボート、巡視船がある。

構内の船舶及び構外の船舶のうち巡視船については、異常気象、海象時、荒天が予測される場合には、必要に応じて、入港の中止、離岸等の措置をとることとしていることから、漂流船舶とはならないと評価する。

構外の船舶のうち漁船、プレジャーボートについては、港湾全面に防波堤があり、目印となる灯台が設置されていること、荒天等により漂流に至るような場合であっても、投錨等の対応を採ることが可能であること、漁船に関しては発電所の周辺海域では日常的に漁業は行われていないこと（図 2.14.3.1-3 参照）から、港湾内に侵入する可能性は極めて低い。

仮に小型船舶が、港湾に接近してきたとしても、冷却水の取水を行っている 5,6 号機並びに希釈海水を取水する ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設は、北側の港湾外から取水しており、北側には防波堤があり、南側には 1~4 号機側は仕切堤を設置することから、小型船舶の侵入は阻害される。（図 2.14.3.1-4 参照）

また、仮に北防波堤に小型船舶が到達した場合であっても、防波堤の呑み口が広い（幅約 40m）ことから、取水が閉塞されることはない。



出典：地理院地図（電子国土 Web）をもとに東京電力ホールディングス株式会社にて作成

<https://maps.gsi.go.jp/#13/37.422730/141.044970/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1>

※：共同漁業権非設定区域

図 2.14.3.1-3 発電所近傍で日常的に漁業がおこなわれていないエリア

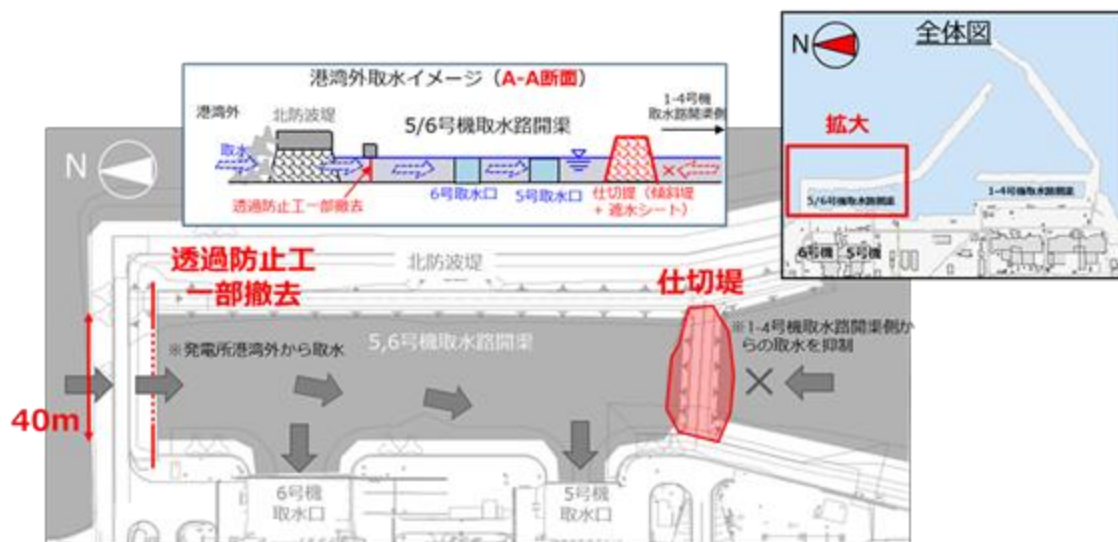


図 2.14.3.1-4 5,6号機の取水方法

#### 4. 重油の流出による影響

1～3 に加えて、船舶の座礁による重油流出事故が発生した場合を想定して、取水路開渠への重油の流入するような場合に備えて、取水機能に影響を与えないよう、5,6号機取水路開渠内の取水口前面にオイルフェンスを設置する措置を講じる。また、北防波堤の構造は、海水を透過する構造であり、重油の流入による取水への影響は小さい。

以上

電磁的障害への対策に関する補足説明

制御盤へ入線する電源受電部や外部からの信号入出力部に対しラインフィルタや絶縁トランスを設置，通信ラインにおいて光ケーブルを適用し電磁的障害の影響を受けない設計としている。(図 2.14.3.2-1 参照)

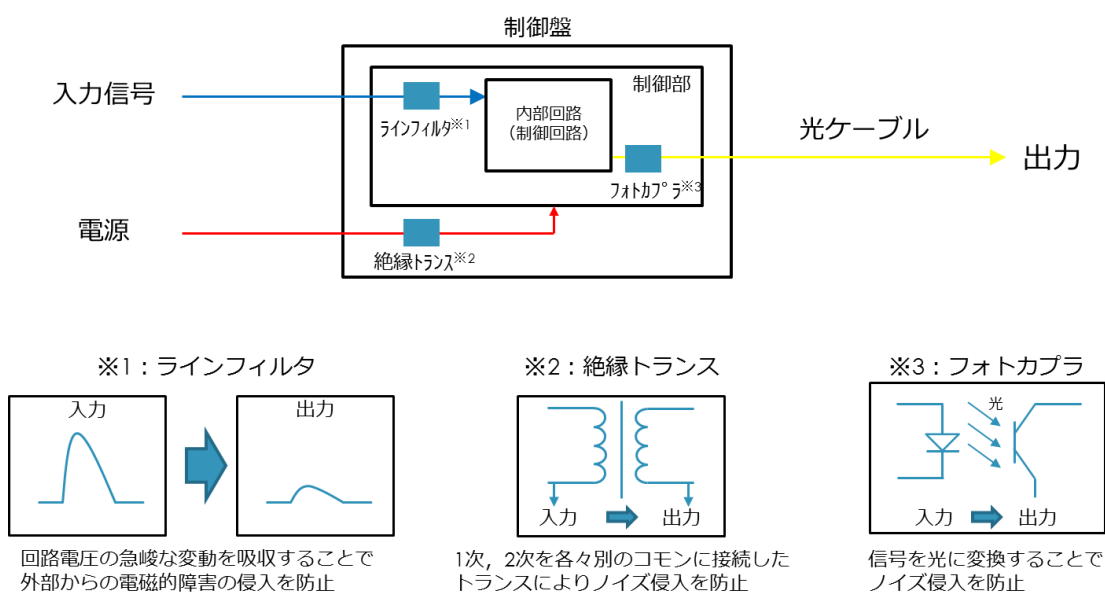


図 2.14.3.2-1 ALPS 処理水希釈放出設備の電磁的障害に関わる対策

以上

## 2.14.4 火災に対する設計上の考慮への 適合性

措置を講ずべき事項

## II. 設計，設備について措置を講ずべき事項

### 1 4. 設計上の考慮

○施設の設計については，安全上の重要度を考慮して以下に掲げる事項を適切に考慮されたものであること。

#### ④火災に対する設計上の考慮

火災発生防止，火災検知及び消火並びに火災の影響の軽減の方策を適切に組み合わせて，火災により施設の安全性を損なうことのない設計であること。

#### 2.14.4.1 措置を講ずべき事項への適合方針

ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設は，火災発生防止，火災検知及び消火並びに火災の影響の軽減の方策を適切に組み合わせて，火災により施設の安全性を損なうことのない設計とする。



#### 2.14.4.2 対応方針

火災により施設の安全性が損なわれることを防止するために火災発生防止、火災検知及び消火並びに火災の影響の軽減の方策を適切に組み合わせた措置を講じる。

(実施計画：II-1-14-2)

ALPS 処理水希釈放出設備は、火災の発生を防止し、火災の検知及び消火を行い、並びに火災の影響を軽減するための対策を適切に組み合わせることにより、火災により施設の安全性を損なうことのない設計とする。

(実施計画：II-2-50-4)

放水設備は、火災発生を防止するため、実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用する。

なお、設備内部に海水が充水されていることから、火災のおそれは非常に低い。

(実施計画：II-2-50-7)

ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設は、火災の発生を防止し、火災の検知及び消火を行い、並びに火災の影響を軽減するため、以下の対策を講じることにより、火災により施設の安全性を損なうことのない設計とする。なお、放水立坑（上流水槽）及び放水設備は、火災発生を防止するため、実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用する他、設備内部に海水が充水されていることから、火災のおそれは非常に低い。

- ・火災の発生を防止し、火災の影響を軽減するため、実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用する※とともに、設備周辺には可能な限り可燃物を排除し、海洋放出時において常時2系列の動作が必要となる機器については、火災によりその機能が同時に損なわれないよう、可能な限り機器間の離隔距離を確保する。
- ・本設備では巡視点検を実施し火災の早期検知に努めるとともに、屋内に設置する循環ポンプ、ALPS 処理水移送ポンプ及び電気品周辺については火災検知器による、火災の検知が可能な設計とする。また、各設備の近傍に消火器を設置し、初期消火の対応を可能にし、消火活動の円滑化を図る。さらに、多核種移送設備建屋及び5,6号機東側電気品建屋内には避難時における誘導用のために誘導表示を設置する。

※：配管の一部に使用する可燃性材料を不燃性又は難燃性材料で養生することを含む。

(実施計画：II-2-50-添2-11)

## ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設の火災対策の補足説明

## (1) 火災の発生防止

ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設を構成する構築物及び機器について、設置場所及び可燃物、難燃物、不燃物を整理した結果は表 2.14.4.1-1 の通り。なお、配管の一部に使用する可燃性材料については、周囲を不燃物又は難燃性材料で養生することで対策を行うとともに、最外周が可燃性材料となっているポリエチレン管の周辺には、可能な限り可燃物（配管敷設箇所周囲の草木等の可燃物を除去含む）を排除することで火災の発生を防止する。また、電動弁に使用する潤滑油に関しては不燃性の鋼製ボックス内に覆われていることその他、各ポンプに使用される潤滑油については、ポンプ周辺の可燃物を可能な限り排除し、後述する火災の検知及び消火や、離隔距離を確保することにより対策を実施する。

表 2.14.4.1-1 ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設における可燃物、難燃物、不燃物

	屋外	屋内	分類
PE 管	○	○	可燃物（対策実施）
鋼管	○	○	不燃物
耐圧ホース	○		可燃物（対策実施）
伸縮継手	○	○	可燃物（対策実施）
循環ポンプ， ALPS 処理水移送ポンプ		○	不燃物/一部可燃物有（対策実施）
海水移送ポンプ	○		不燃物/一部可燃物有（対策実施）
流量計，圧力計		○	不燃物
放射線モニタ		○	不燃物
電動弁	○	○	不燃物/一部可燃物有（対策実施）
手動弁	○	○	不燃物
AO 弁	○		不燃物
電源盤		○	不燃物
電気・計装ケーブル	○	○	難燃物*
ベント弁周辺カバー	○		不燃物
放水立坑（上流水槽）	○		不燃物
放水立坑（下流水槽）	○		不燃物
放水トンネル	○		不燃物
放水口	○		不燃物

※：IEEE 383（JIS C 3521）の垂直トレイ燃焼試験の要求を満たしている。

また、ALPS 処理水希釈放出設備周辺の可燃物の排除状況については図 2.14.4.1-1 に示す。

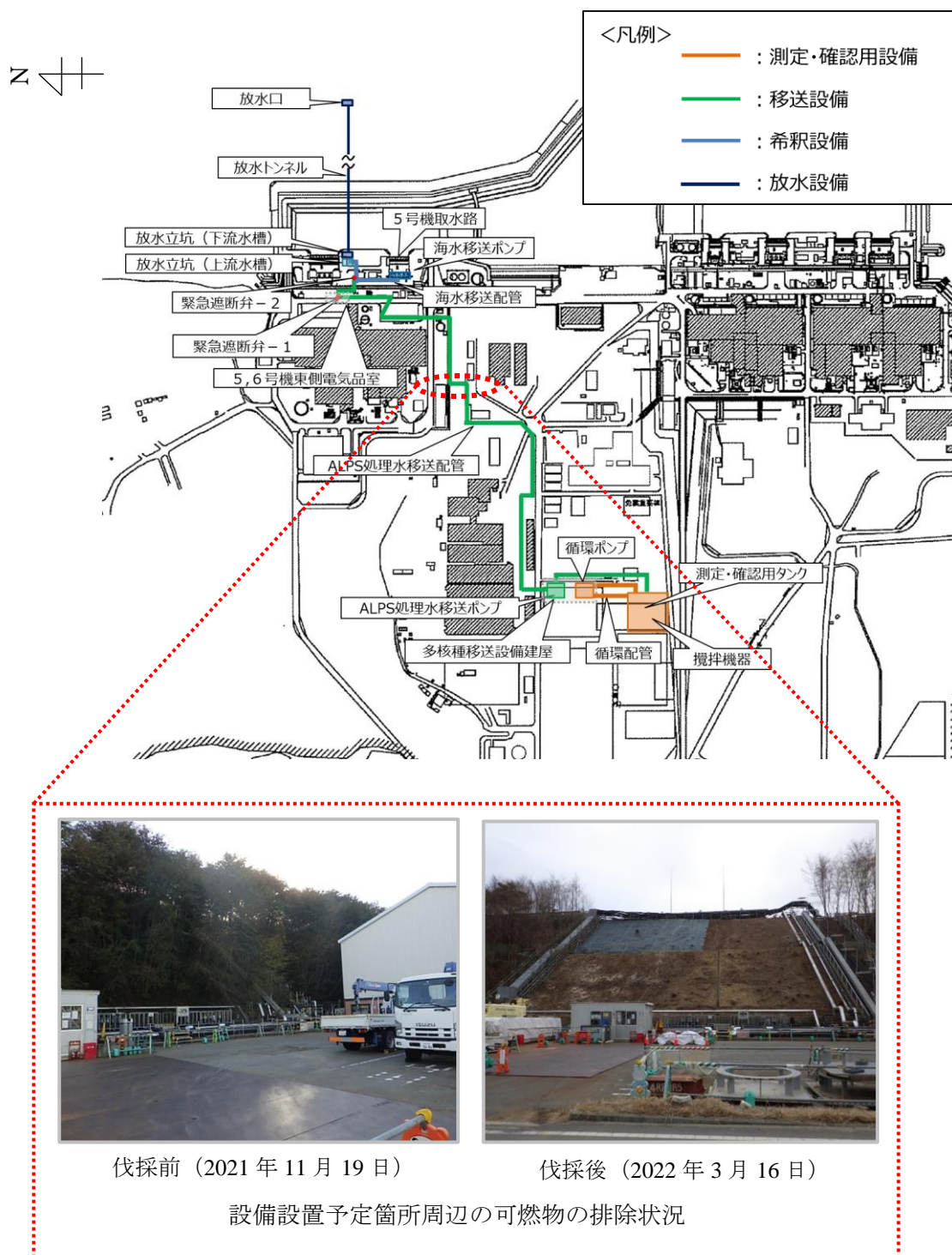


図 2.14.4.1-1 ALPS 処理水希釈放出設備周辺の可燃物の排除状況

## (2) 火災の検知及び消火

ALPS 処理水希釈放出設備については、巡視点検を実施し火災の早期発見を図る。

また、本設備に関連する建物である、多核種移送設備建屋、5,6号機東側電気品建屋、計装予備品建屋、5号機 T/B 地下1階電気品室及び免震棟集中監視室には、消防法に準じて、火災の検知及び消火を目的として、機器の周辺に火災検知器及び消火器を設置する。設置する場所等を図 2.14.4.1-2～6 に示す。

火災検知器に関して、5,6号機東側電気品建屋のうちバルブユニット室については、港湾近傍に設置し、建屋に設置されているガラリから吹き込む風等の影響により粉塵が舞うおそれがあることから、火災による温度の上昇を感知する熱検知器の設置を計画する。その他の建屋やエリアについては、建屋内の空気を積極的に入れ替える構造ではない等の理由から煙感知器を設置する（既設建屋も煙感知器を設置）。火災検知器の発報した際の発報先及び対応箇所については表 2.14.4.1-2 の通り。

多核種移送設備建屋、5,6号機東側電気品建屋及び計装予備品建屋の消火器については、延床面積としては ABC 粉末消火器（10 型）の消火器で問題ないものの、保守的に各建屋の設備近傍に 20 型または 50 型を設置する。既設の計装予備品建屋では、多核種移送設備建屋、5,6号機東側電気品建屋と同様の考え方で消火器が設置されている。既設の 5号機 T/B 地下1階電気品室については、ABC 粉末消火器（10 型）の他、当該エリアの消火に十分な消火能力を持ち、車載式で移動が容易な ABC 粉末消火器（100 型）が設置されている。既設の免震棟集中監視室については、ABC 粉末消火器（10 型）の他、消火の際に制御設備等の機器が汚損することのない CO2 消火器（5 型）が設置されている。

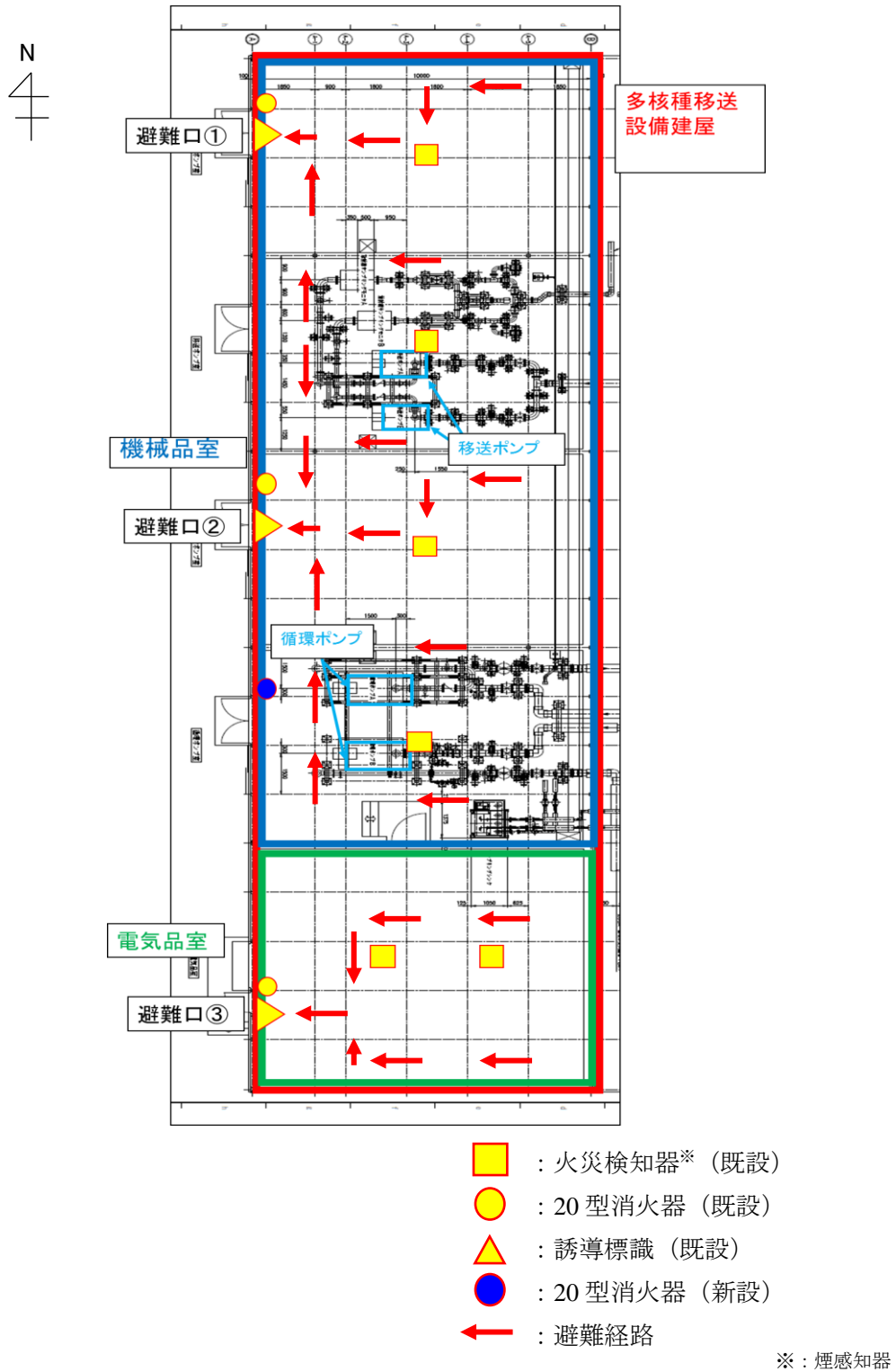


図 2.14.4.1-2 多核種移送設備建屋の火災報知器及び消火器等の配置図

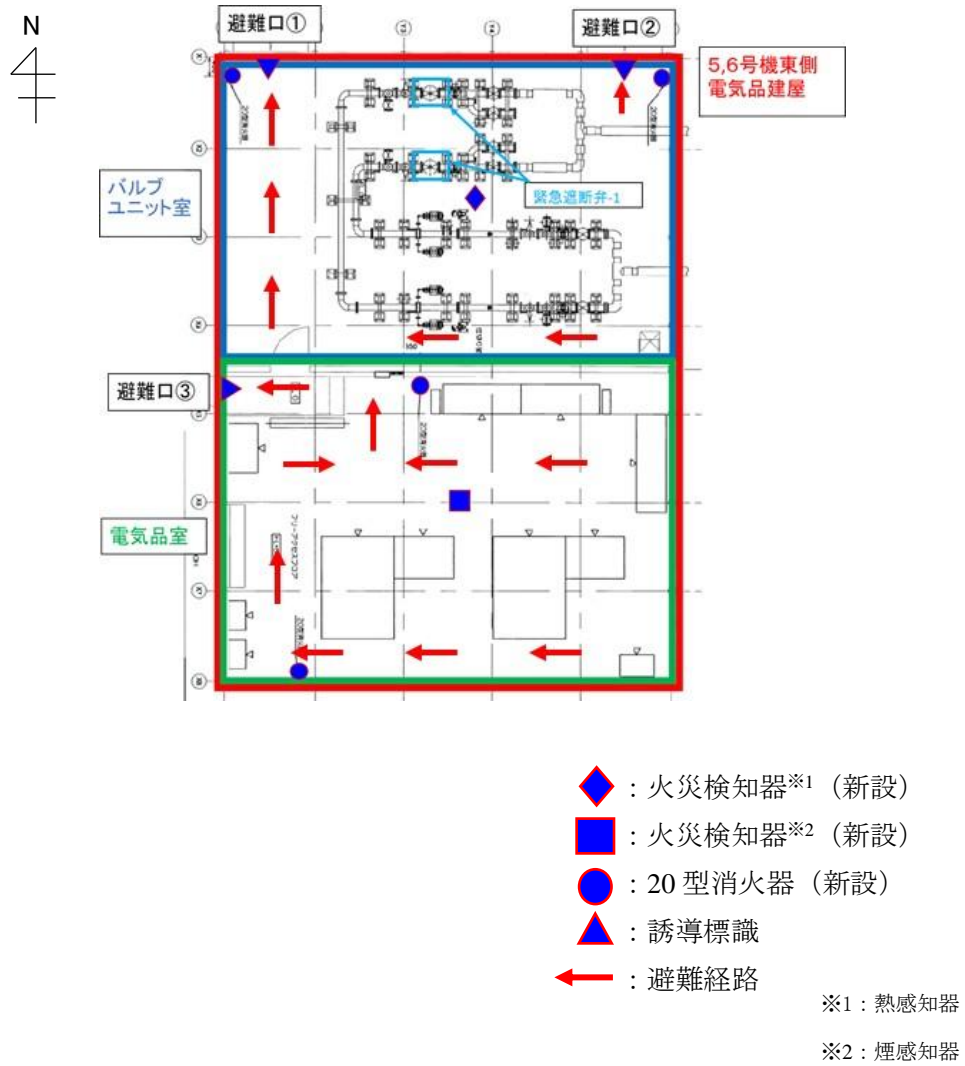
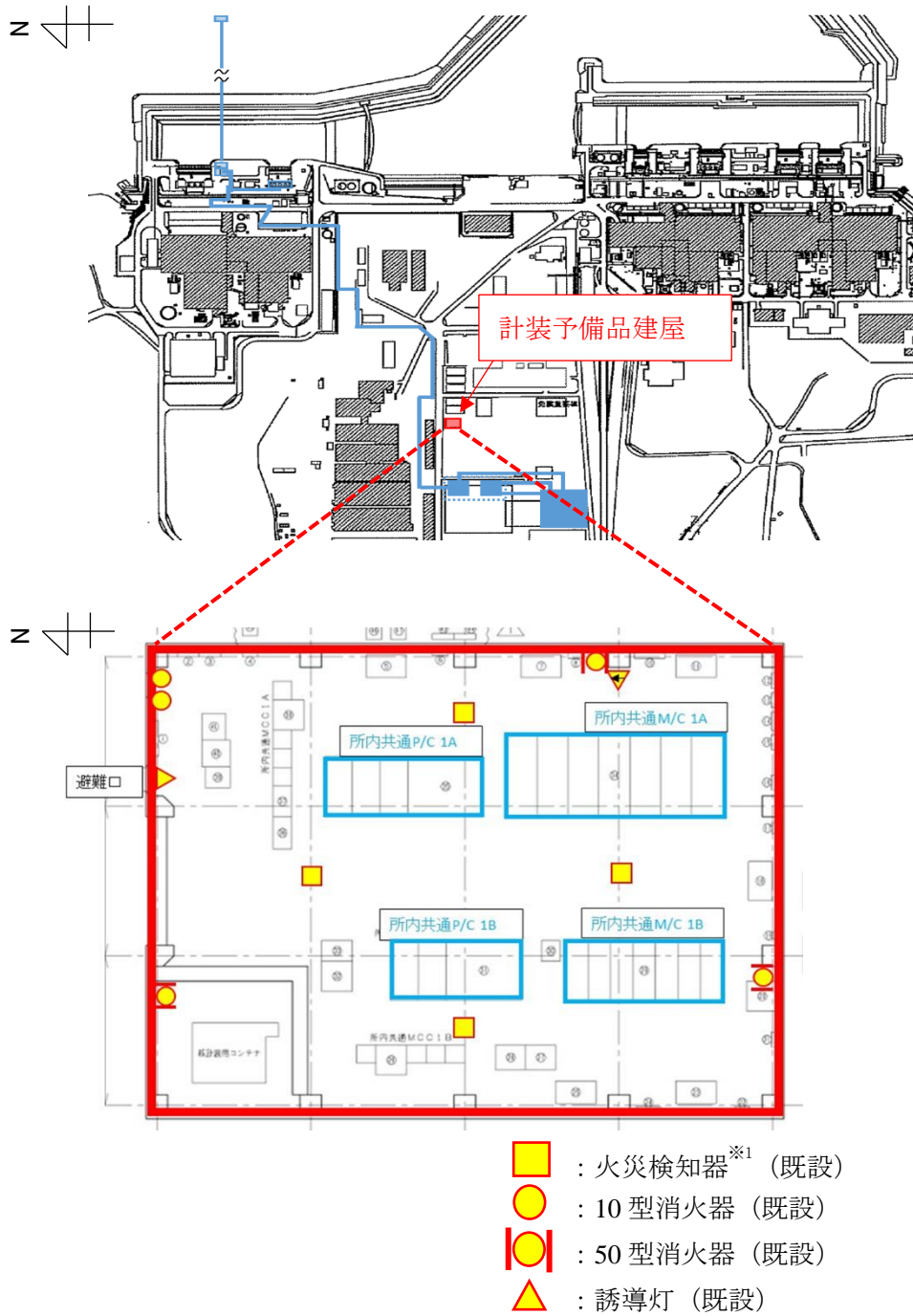


図 2.14.4.1-3 5,6号機東側電気品建屋の火災報知器及び消火器等の配置図



※1 : 煙感知器

図 2.14.4.1-4 計装予備品建屋の火災報知器及び消火器等の配置図

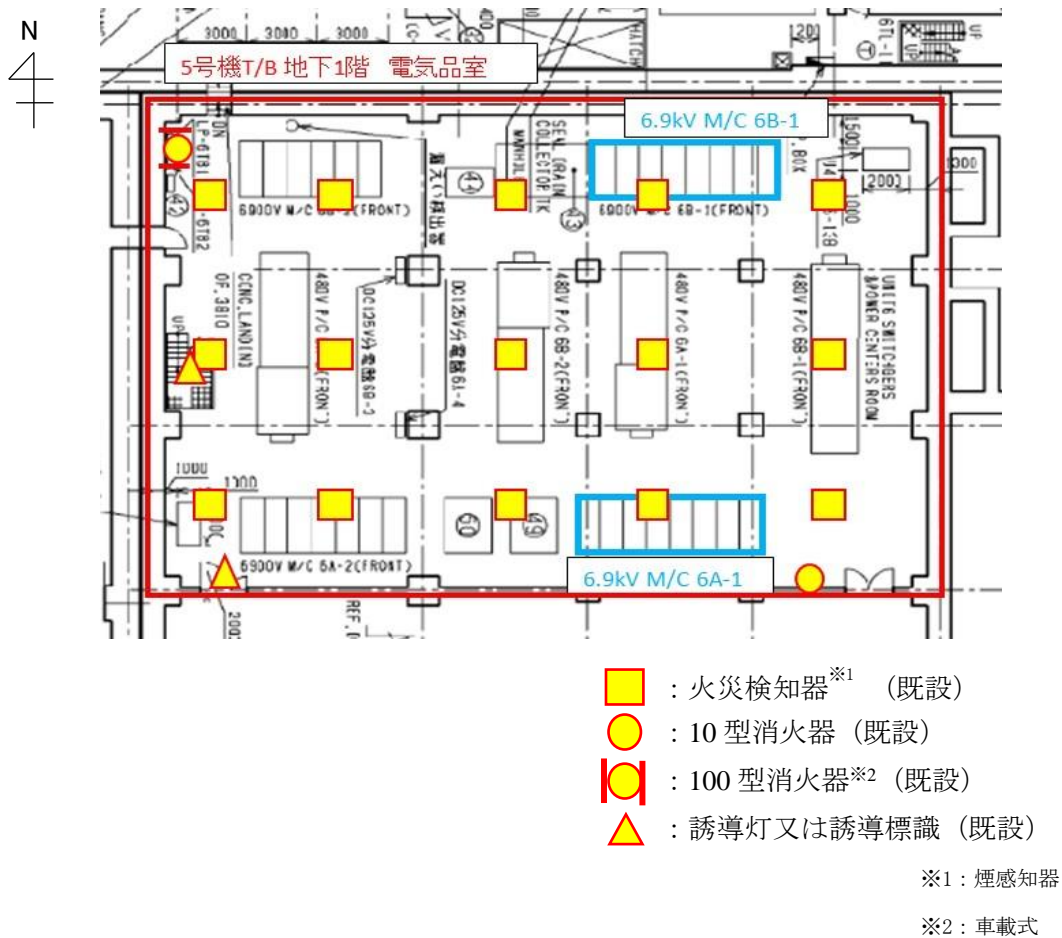


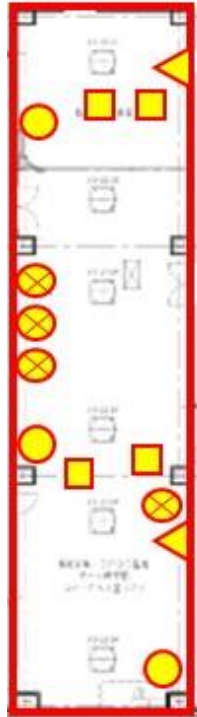
図 2.14.4.1-5 5号機 T/B<sup>※</sup>地下1階電気品室の火災報知器及び消火器等の配置図

※: 5, 6号機 T/B の中間部で、建屋躯体としては5号機 T/B 内に電源盤(6A-1、6B-1)が設置されている





集中監視室



- : 火災検知器<sup>※1</sup> (既設)
- : 10 型消火器 (既設)
- × : 5 型消火器<sup>※2</sup> (既設)
- : 誘導灯 (既設)

※1 : 煙感知器

※2 : CO2 消火器

図 2.14.4.1-6 免震重要棟 集中監視室の火災報知器及び消火器等の配置図

表 2.14.4.1-2 火災検知器の発報先及び対応箇所

	火災検知器の発報先	対応箇所
多核種移送設備建屋	免震重要棟	1-4 号当直
5,6 号機東側電気品建屋	5,6 号機 C/B	5,6 号当直
計装予備品倉庫	免震重要棟	1-4 号当直
5 号機 T/B 地下 1 階電気品室	5,6 号機 C/B	5,6 号当直
免震重要棟 集中監視室	免震重要棟	1-4 号当直

### (3) 火災の影響軽減

ポリエチレン管に関しては、図 2.14.4.1-7 に示す通り、管の外側に不燃性材料である鋼材製の外装管を取り付ける計画であり、これにより ALPS 処理水が通水される導管の火災の影響軽減を図る設計となっている。(漏えい拡大防止対策としても機能)

緊急遮断弁-1 及び緊急遮断弁-2 については、それぞれ十分な離隔距離を確保した場所に設置すること、また、海水移送ポンプに関しては、離隔距離を約 5m 取ることで火災の影響軽減を図る設計となっている。

また、前述した、可能な限り可燃物（配管敷設箇所周囲の草木等の可燃物を除去含む）を排除する対策にて、火災の影響軽減も図る計画としている。

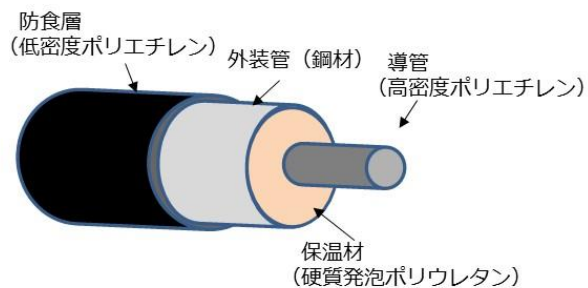


図 2.14.4.1-7 PE 管の構造

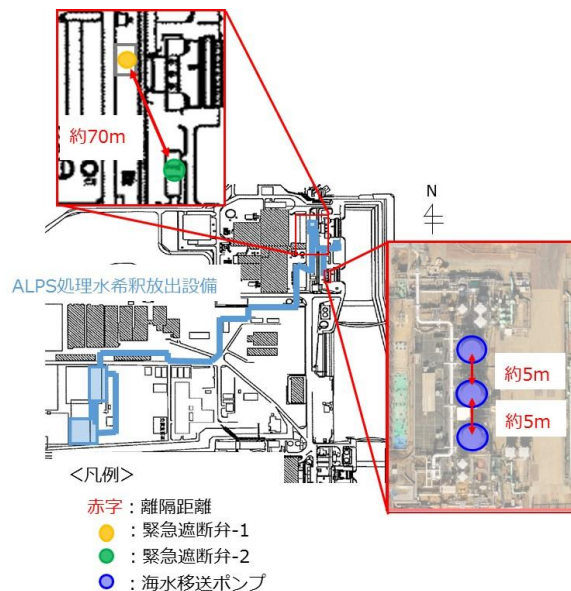


図 2.14.4.1-8 常時 2 系列の動作が必要となる機器の離隔距離

以上

#### (4) 移送配管と屋内貯蔵所の位置関係

ALPS 処理水希釈放出設備のうち，屋外に敷設する ALPS 処理水移送配管の近傍には，危険物倉庫等が存在する。なお，各屋内貯蔵所等の保有空地の適用基準は表 2.14.4.1-3～4 に示す通りであり，移送配管の施工に当たっては，法令で定める必要な有空地を確保する。(図 2.14.4.1-9 参照)



提供：日本スペースイメージング(株)2021.4.8撮影Product(C)[2021] DigitalGlobe, Inc., a Maxar company.

図 2.14.4.1-9 危険物倉庫等（保有空地含む）と移送配管の位置関係

表 2.14.4.1-3 高引火点危険物の平家建の屋内貯蔵所の特例※1

	当該建築物の壁、柱及び床が耐火構造である場合	上欄に掲げる場合以外の場合
指定数量の倍数が二十以下の屋内貯蔵所		〇・五メートル以上
指定数量の倍数が二十を超え五十以下の屋内貯蔵所	一メートル以上	一・五メートル以上
指定数量の倍数が五十を超え二百以下の屋内貯蔵所	二メートル以上	三メートル以上
指定数量の倍数が二百を超える屋内貯蔵所	三メートル以上	五メートル以上

※1：「危険物の規制に関する規則 第十六条の二の四の2 第二項二号」抜粋

: 【No.3 危険物倉庫】が該当

: 【No.4,5 危険物倉庫】が該当

表 2.14.4.1-4 屋外タンク貯蔵所の基準※1

区分	空地の幅
指定数量の倍数が五百以下の屋外タンク貯蔵所	三メートル以上
指定数量の倍数が五百を超え千以下の屋外タンク貯蔵所	五メートル以上
指定数量の倍数が千を超え二千以下の屋外タンク貯蔵所	九メートル以上
指定数量の倍数が二千を超え三千以下の屋外タンク貯蔵所	十二メートル以上
指定数量の倍数が三千を超え四千以下の屋外タンク貯蔵所	十五メートル以上
指定数量の倍数が四千を超える屋外タンク貯蔵所	当該タンクの水平断面の最大直径（横型の場合は横の長さ）又は高さの数値のうち大きいものに等しい距離以上。ただし、十五メートル未満であつてはならない。

※1：「危険物の規制に関する政令 第十一条の二」抜粋

: 【No.3 軽油タンク】が該当

## 2.14.5 環境条件に対する設計上の考慮 への適合性

措置を講ずべき事項

## II. 設計，設備について措置を講ずべき事項

### 1 4. 設計上の考慮

○施設の設計については，安全上の重要度を考慮して以下に掲げる事項を適切に考慮されたものであること。

#### ⑤環境条件に対する設計上の考慮

安全機能を有する構築物，系統及び機器は，経年事象を含むすべての環境条件に適合できる設計であること。特に，事故や地震等により被災した建造物の健全性評価を十分に考慮した対策を講じること。

#### 2.14.5.1 措置を講ずべき事項への適合方針

ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設の構築物，系統及び機器は，経年事象を含むすべての環境条件に適合できる設計とする。

#### 2.14.5.2 対応方針

安全機能を有する構築物，系統及び機器は，それぞれの場所に応じた圧力，温度，湿度，放射線等に関する環境条件を考慮し，必要に応じて換気空調系，保温，遮へい等で維持するとともに，そこに設置する安全機能を有する構築物，系統及び機器は，これらの環境条件下で期待されている安全機能が維持できるものとする。

(実施計画：II-1-14-2)

ALPS 処理水希釈放出設備の構築物，系統及び機器は，経年事象を含む想定されるすべての環境条件に適合できる設計とする。

(実施計画：II-2-50-4)

放水設備を構成する設備は，経年事象を含む想定されるすべての環境条件に適合できる設計とする。

(実施計画：II-2-50-8)

ALPS 処理水希釈放出設備及び関連施設において使用する材料等に対して，環境条件に対する設計上の考慮は以下の通り。

##### (1) 圧力及び温度

ALPS 処理水希釈放出設備は通常運転時及び異常事象発生時に想定される圧力・温度を踏まえて，適切な最高使用圧力・最高使用温度を有する機器等を選定する。

##### (2) 腐食に対する考慮

ALPS 処理水希釈放出設備のうち，ALPS 処理水を貯蔵又は通水する機器等については，耐腐食性に優れた二相ステンレス鋼，耐腐食性を有するステンレス鋼，ポリエチレン，合成ゴム，十分な肉厚を有する炭素鋼等を使用する。また，海水を貯蔵又は通水する機器等については，耐腐食性に優れた二相ステンレス鋼，耐腐食性を有する塗装を施した炭素鋼等を使用する。

##### (3) 放射線

ALPS 処理水希釈放出設備の材質として使用するポリエチレン等については，放射線による材料特性に有意な変化がない期間を評価した上で，当該期間を超えて使用する場合には，あらかじめ交換等を行う。

(4) ひび割れ・塩害

放水立坑（上流水槽）および放水設備は、鉄筋コンクリート製の躯体に生じるひび割れ幅および塩害の照査を実施し、適切な鉄筋かぶりを設定し、供用期間中の耐久性が確保されることを確認している。

（実施計画：II-2-50-添2-12）

放水立坑（上流水槽）および放水設備については、下表の照査を行うことで、供用期間中の耐久性が確保されることを確認している。

表 2.14.5-1 放水設備の照査項目

照査項目	放水立坑 (上流水槽)	放水立坑 (下流水槽)	放水 トンネル	放水口	照査内容
ひび割れ	○	○	○	○	ひび割れ幅が許容ひび割れ幅以下であること
塩害	○	○	○	○	鋼材位置の塩化物イオン濃度が鋼材腐食発生限界に達しないこと

（実施計画：II-2-50-添5-5，詳細は、「2.14.1 準拠規格及び基準への適合性」に記載）



## ALPS 処理水希釈放出設備の環境条件に対する設計上の考慮の補足説明

ALPS 処理水希釈放出設備において使用する材料等に対して、環境条件に対する設計上の考慮を下記の通り確認している。

## 1. 圧力・温度

## 1.1 圧力

測定・確認用タンクから循環ポンプ、ALPS 処理水移送ポンプまでの配管については、水頭圧（約 0.12MPa）しかかからないものの、余裕をみて最高使用圧力を 0.49MPa と設定している。

一方、循環ポンプ吐出配管及び、ALPS 処理水移送ポンプ～緊急遮断弁-1 までの配管は、それぞれのポンプの締め切り時の吐出圧力が、それぞれ約 0.50、0.55MPa であることから、それに余裕をみて最高使用圧力を 0.98MPa と設定している。なお、緊急遮断弁-1 閉止時のウォーターハンマー対策については、ミニフローラインを設置することで対策を実施している。（図 2.14.5.1-1 参照）

他方、緊急遮断弁-1 以降の移送配管に緊急遮断弁-1 閉止時の圧力はかからないこと、希釈設備は、海水移送ポンプの締め切り時の吐出圧力は 0.49MPa であることから、緊急遮断弁-1 以降の移送配管、海水配管等については最高使用圧力を 0.60MPa としている。

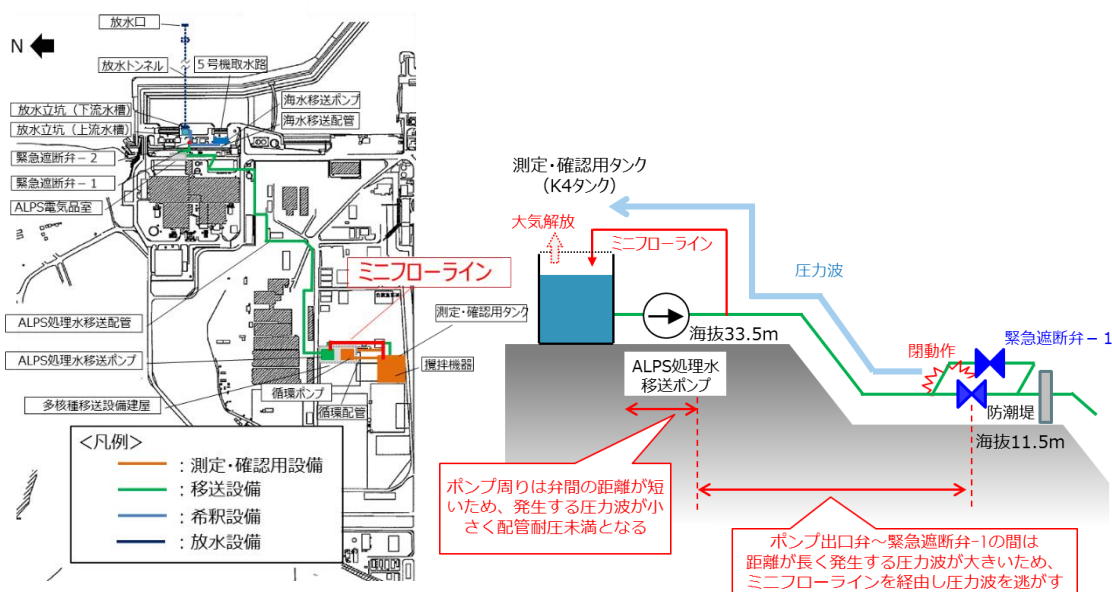


図 2.14.5.1-1 ミニフローラインの概要

## 1.2 温度

福島県の小名浜気象台の気象観測記録で過去に計測された気温は、最高で 37.7℃であり、これを超えない温度として、40℃と設定している。

## 2. 腐食に対する考慮

ALPS 処理水を扱うポンプ・配管に関して材料選定理由を表 2.14.5.1-1 に示す。表 2.14.5.1-1 のうち、二相ステンレス鋼、ステンレス鋼に対する耐腐食性について評価を行った。

表 2.14.5.1-1 ALPS 処理水希釈放出設備の漏えい発生防止（腐食）

機器	対象	材料	選定理由
ポンプ	循環ポンプ ALPS 処理水 移送ポンプ	二相ステンレス (SCS10 : ケー シング)	ALPS 処理水に、海水由来等の塩分が若干含まれることから、耐腐食性に優れる二相ステンレス鋼 (SCS10) を使用する。
配管	循環配管 移送配管	ポリエチレン管	施工性及び、耐腐食性に優れることから、屋外配管に使用する。
		ステンレス鋼鋼管 (SUS316L)	耐腐食性に優れるステンレス鋼 (SUS316L) を使用する。
		合成ゴム (EPDM)	可撓性を要する箇所 (タンク連結部) において、耐腐食性のある合成ゴム (EPDM) 製伸縮継手を使用する。

二相ステンレス鋼およびステンレス鋼の主たる腐食モードは局部腐食である。その主要因は塩化物イオン (Cl<sup>-</sup>) による攻撃であり、Cl<sup>-</sup>濃度が高いほど局部腐食が起きやすい。局部腐食 (すきま腐食、孔食、SCC) のうち、最も温和な環境で発生するのは、すきま腐食であるため、すきま腐食の発生限界が材料の耐食限界に相当する。

すきま腐食の発生には、使用温度、塩化物イオン濃度が影響する。

二相ステンレス鋼のすきま腐食に関しては、50℃、塩化物イオン濃度 19,000ppm の条件でも、腐食発生までに 80 年以上を有するというデータもあり<sup>1)</sup>、すきま腐食が発生する可能性は低いと考えられる。(図 2.14.5.1-2 参照)

316 系ステンレス鋼のすきま腐食に関しては、淡水や海水などの中性塩化物溶液中において、下限界の Cl<sup>-</sup>濃度は、30℃で約 16,000ppm 程度<sup>2)</sup>との報告例がある。(図 2.14.5.1-3 参照) また、316 系ステンレス鋼はセシウム吸着装置、第二セシウム吸着装置、多核種除去設備の主配管及び吸着塔等に使用されており、これまでに最大約 11,000ppm の塩化物イオン濃度での使用実績があるが、次亜塩素酸注入等の腐食加速因子がない場合においては、腐食事象は見られていない。

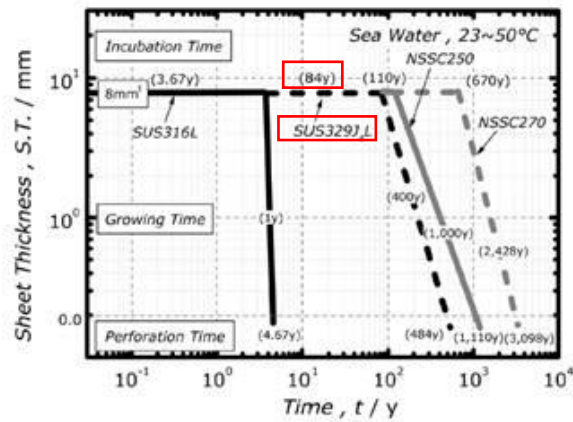


図20 海水中での各種ステンレス鋼のすきま腐食寿命線図  
Crevice corrosion life time for various stainless steels in sea water

図 2.14.5.1-2 海水中での各種ステンレス鋼のすきま腐食寿命線図<sup>1)</sup>

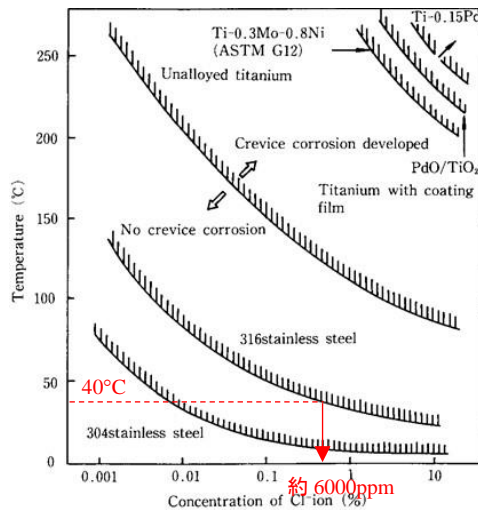


図1.27 塩化物溶液中における各種金属材料の隙間腐食発生限界

図 2.14.5.1-3 塩化物溶液中における各種金属材料の隙間腐食発生限界<sup>2)</sup>

- 1) 松橋亮, 松橋透: 第 167 回腐食防食シンポジウム資料 (2010) .
- 2) L. F. Plock and H. B. Bomberger: CORROSION/68, NACE International, Paper No. 36 (1968)

### 3. 放射線

ALPS 処理水希釈放出設備の材質として使用するポリエチレンについては、集積線量が  $2 \times 10^5 \text{Gy}$  に達すると、引張強度は低下しないが、破断時の伸びが減少する傾向を示す。このため、ALPS 処理水の放射線による材料特性に有意な変化がない期間を評価した上で、当該期間を超えて使用する場合には、あらかじめ交換等を行う。

以上