

## 「常陽」プラグ応答解析におけるモデルの説明

### 1. はじめに

「常陽」プラグ応答解析では、高速実験炉「常陽」を対象として、ULOF において機械的エネルギーが生じる状況を想定した場合の、プラグの動的応答とプラグ間隙から噴出するナトリウム量を、PLUGを用いて解析する。この資料では「常陽」プラグ応答解析におけるモデル化の方針とその根拠を示す。

### 2. モデル化の方針

- ・ プラグの動的応答の解析に当たっては、スラグインパクトが生じ、プラグの間隙部が開口する際のナトリウム噴出量を保守的に評価するようモデル化する。
- ・ モデル化するプラグは、「常陽」の代表的なプラグである炉心上部機構、小回転プラグ及び大回転プラグとする。
- ・ 現実には小回転プラグの中心は大回転プラグの中心から 500mm の位置にあるが、偏心の影響は小さいため同心円状にモデル化する。
- ・ 保守的に評価するようプラグ底板より下方に位置する構造物は無視する。  
保守的に評価するよう受圧面積は全てのプラグについて以下によって計算する。  
受圧面積＝  
(当該プラグの受圧部面積にその外側間隙部の面積を加えたもの)－(搭載プラグの受圧面積)
- ・ プラグ同士が衝突する際の反発係数は、別途実施した簡易的なプラグ衝突解析の結果を保守的に丸めて、一律に 0.9 とする。

### 3. モデル化

#### 3.1. プラグのモデル化

##### 3.1.1. 炉心上部機構

- ・ 第 1 図に炉心上部機構の搭載状況を示す。
- ・ 据付ボルトによる小回転プラグへの固定をモデル化する。
- ・ 重量は 13ton とする。

### 3.1.1.1. 炉心上部機構の受圧面積

当該プラグの受圧部面積にその外側間隙部の面積を加えたものを当該プラグの受圧面積 $A_1$ とする。

$$A_1 = \pi (R_1 + L_{gap1})^2 \quad \dots (1)$$

ここで

$R_1$  : 炉心上部機構の受圧部半径 (0.505m)

$L_{gap1}$  : 炉心上部機構と小回転プラグの間隙部の幅 (0.030m)

値を代入すると

$$A_1 = 8.992 \times 10^{-1} \quad \dots (2)$$

### 3.1.2. 小回転プラグ

- ・ 第2図に小回転プラグの搭載状況を示す。
- ・ 受圧面からの力の伝達を考慮して、小回転プラグ本体と遮蔽上部胴、駆動フランジ、軸受及び軸受固定台を一体としてモデル化し、軸受固定台据付ボルトにて大回転プラグに固定されているものとする。
- ・ 重量は97tonとする。

#### 3.1.2.1. 小回転プラグの受圧面積

当該プラグの受圧部面積にその外側間隙部の面積を加えたものから、搭載プラグの受圧面積を差し引いたものを当該プラグの受圧面積 $A_3$ とする。

$$A_3 = \pi (R_3 + L_{gap3})^2 - A_1 \quad \dots (3)$$

ここで

$R_3$  : 小回転プラグの受圧部半径 (1.11m)

$L_{gap3}$  : 小回転プラグと大回転プラグの間隙部の幅 (0.02m)

$A_1$  : 炉心上部機構の受圧部面積 ( $8.992 \times 10^{-1} \text{m}^2$ )

値を代入すると

$$A_3 = 3.112 \quad \dots (4)$$

### 3.1.3. 大回転プラグ

- ・ 第3図に大回転プラグの搭載状況を示す。
- ・ 受圧面からの力の伝達を考慮して、大回転プラグ本体と駆動フランジ、軸受、軸受固定台及びミサイル防止リングを一体としてモデル化し、ミサイル防止ボルトにて原子炉容器ソールプレートに固定されているものとする。
- ・ 重量は143tonとする。

### 3.1.3.1. 大回転プラグの受圧面積

当該プラグの受圧部面積にその外側間隙部の面積を加えたものから、搭載プラグの受圧面積を差し引いたものを当該プラグの受圧面積 $A_4$ とする。

$$A_4 = \pi (R_4 + L_{gap4})^2 - A_1 - A_3 \quad \dots (5)$$

ここで

$R_4$  : 大回転プラグの受圧部半径 (1.93m)

$L_{gap4}$  : 大回転プラグと原子炉容器との間隙部の幅 (0.032m)

$A_1$  : 炉心上部機構の受圧面積 ( $8.992 \times 10^{-1} \text{m}^2$ )

$A_3$  : 小回転プラグの受圧面積 ( $3.112 \text{m}^2$ )

値を代入すると

$$A_4 = 8.082 \quad \dots (6)$$

### 3.1.4 炉心上部機構、小回転プラグ、大回転プラグの組立図

参考第1図にプラグ類の組立図を示す。

## 3.2. ボルトのモデル化

モデル化した各プラグのボルトの諸元を第1表に示す。モデル化の基本方針は以下である。

#### 1) ボルトの有効長

ボルトの有効長とは、回転プラグを据え付けているボルトがバネのように弾性変形するとした場合のバネの長さに相当する長さである。ボルトによって固定されている回転プラグの据付部の厚さに対応する。ボルトの有効長を図面に基づき適切に設定する。

#### 2) ボルトの有効断面積

ボルトの有効長に相当する部位にねじが切つてある場合、JISB1082に基づいて有効断面積を算出する。ねじが切っていない場合、ボルトの有効長に相当する部位の直径から断面積を算出する。両者が混在する場合は、保守的に断面積の小さい方を採用する。

#### 3) ボルトの初期締め付け力

ボルトの初期締め付け力は、締め付けトルクに基づいて軸力に換算する。

各プラグのボルトの諸元の設定根拠を以下に記す。

### 3.2.1. 炉心上部機構

炉心上部機構の取り付けボルト（据付ボルト）の諸元を第1表に示す。

#### 3.2.1.1. 炉心上部機構のボルトの初期締め付け力の割合

ボルト軸力 $F_1$  (N) は以下の式で示される。

$$F_1 = \frac{T_1}{Kd} \quad \dots (7)$$

ここで、

$T_1$  : 締め付けトルク (600Nm)

$K$  : トルク係数 0.26

$d$  : ねじの呼び径 (33mm)

値を代入すると

$$F_1 = 6.99 \times 10^4 \quad \dots (8)$$

となる。

軸応力は

$$\sigma_1 = \frac{F_1}{a_1} \quad \dots (9)$$

ここで

$a_1$  : 断面積 (0.000694m<sup>2</sup>)

したがって

$$\sigma_1 = 1.01 \times 10^8 \quad \dots (10)$$

である。

降伏応力は 785MPa であるので、降伏応力に対する割合は

$$CF(1,5) = \frac{101 \times 10^6}{785 \times 10^6} = 1.290 \times 10^{-1} \quad \dots (11)$$

### 3.2.2. 小回転プラグ

小回転プラグの取り付けボルト（軸受固定台据付ボルト）の諸元を第 1 表に示す。

#### 3.2.2.1. 小回転プラグの初期締付力の割合

小回転プラグの締付力については基準軸応力より算出する。小回転プラグのボルトは呼び径 M30 である。

軸応力 $\sigma_3$  (N/m<sup>2</sup>)は基準軸応力より

$$\sigma_3 = 2.10 \times 10^8 \quad \dots (12)$$

降伏応力は 785MPa であるので、降伏応力に対する割合は

$$CF(3,5) = \frac{2.10 \times 10^8}{785 \times 10^6} = 2.68 \times 10^{-1} \quad \dots (13)$$

#### 3.2.3. 大回転プラグ

大回転プラグの取り付けボルト（ミサイル防止ボルト）の諸元を第 1 表に示す。

### 3.3. ナトリウム噴出流路のモデル化

#### 3.3.1. 炉心上部機構-小回転プラグ間のナトリウム噴出流路

第4図に炉心上部機構-小回転プラグ間のナトリウム噴出流路のモデルを示す。ナトリウム噴出レベルは遮蔽部胴上部フランジの底面とする。

#### 3.3.2. 小回転プラグ-大回転プラグ間のナトリウム噴出流路

第5図に小回転プラグ-大回転プラグ間のナトリウム噴出流路のモデルを示す。小回転プラグと駆動フランジとの間には、定格運転時鉛直方向に20mmの間隙がある。小回転プラグが下方より圧力を受けて持ち上げられた場合、20mm上昇した後に駆動フランジに接触し、軸受固定台据付ボルトに力を伝達する。このような状況を考慮して、小回転プラグのモデル化に際しては、最初から小回転プラグ全体が20mm上方に位置していたと仮定する。この位置を初期状態として流路幅を設定する。

上記を踏まえ、ナトリウム噴出レベルは軸受固定台が着座するエレベーションとする。

#### 3.3.3. 大回転プラグ-原子炉容器間のナトリウム噴出流路

第6図に大回転プラグ-原子炉容器間のナトリウム噴出流路のモデルを示す。大回転プラグと駆動フランジとの間には、定格運転時鉛直方向に20mmの間隙がある。大回転プラグが下方より圧力を受けて持ち上げられた場合、20mm上昇した後に駆動フランジに接触し、ミサイル防止ボルトに力を伝達する。このような状況を考慮して、大回転プラグのモデル化に際しては、最初から大回転プラグ全体が20mm上方に位置していたと仮定する。この位置を初期状態として流路幅を設定する。

上記を踏まえ、ナトリウム噴出レベルは大回転プラグ支持フランジの上面とする。

#### 3.3.4. 区分流路の摩擦損失

区分流路の摩擦損失の計算方法は2020年12月24日のヒアリング資料【JY-52-3】「PLUGのモデルについて」に記している。

#### 3.3.5. エルボ及び入口部の形状損失

エルボ及び入口部の形状損失はダルシー・ワイズバッハの式を用いて計算する。

$$\Delta P = \zeta \frac{\rho V^2}{2} \quad \dots (14)$$

ここで

$\zeta$ : 抵抗係数 (-)

(14)式におけるエルボの流速の計算に当たっては入口側の流路断面積が、入口部の流速の計算に当たっては絞りが無い場合は入口側の流路断面積が、絞りがある場合は絞り後の流路断面積がそれぞれ用いられる。


エルボの抵抗係数は、第7図<sup>[1]</sup>に示すエルボの全損失係数を踏まえて、保守的な値として0.1を設定した。入口部の抵抗係数は、第7図に示す入口部損失係数を踏まえて、保守的な値として0.01を設定した。また、出口部の抵抗係数は保守的な値として0を設定した。

#### 4. 参考資料

- [1] 管路・ダクトの流体抵抗、日本機械学会、1979年1月

第1表 モデル化した各プラグのボルトの諸元


項目	炉心上部機構 (据付ボルト)	小回転プラグ (軸受固定台据付ボルト)	大回転プラグ (ミサイル防止ボルト)
呼び径	M33	M30	φ 40
ボルト径 (mm)	33	30	40
材質	SCM435	SCM435	SCM435
ボルト本数 (本)	24	36	35
ボルト有効長 (m)	0.225	0.449	1.839
有効断面積 (m <sup>2</sup> )	$6.94 \times 10^{-4}$	$5.61 \times 10^{-4}$	$1.26 \times 10^{-3}$
ヤング率 (GPa)	204	204	204
降伏応力 (MPa)	785	785	785
初期締付力 (軸力) (MPa)	101 (締め付けトルクから算出)	210 (基準軸力を設定)	0 (間隙を考慮し設定)



他社技術情報が含まれているため公開できません。

第1図 炉心上部機構の搭載状況



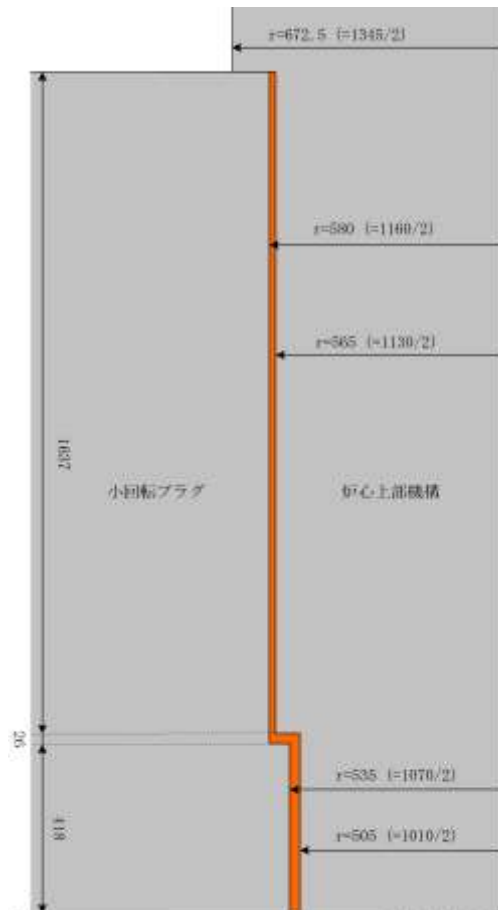


他社技術情報が含まれているため公開できません。

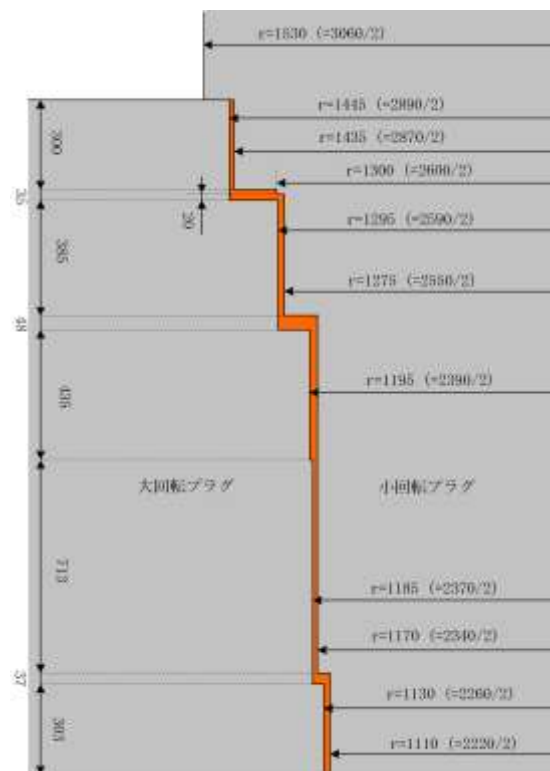
第2図 小回転プラグの搭載状況

他社技術情報が含まれているため公開できません。

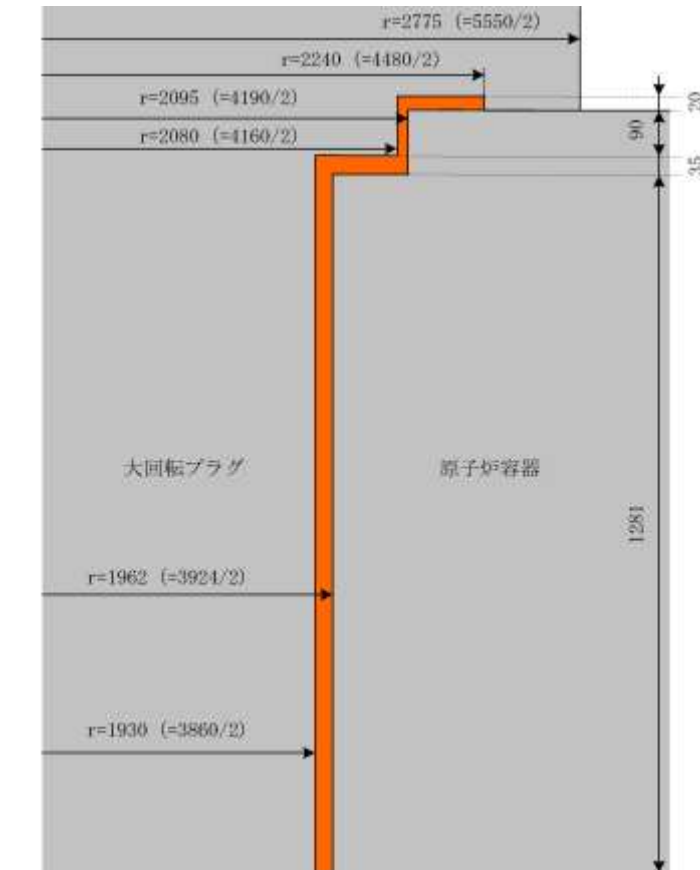
第3図 大回転プラグの搭載状況



第4図 炉心上部機構-小回転プラグ間のナトリウム噴出流路のモデル



第5図 小回転プラグ-大回転プラグ間のナトリウム噴出流路のモデル



第 6 図 大回転プラグ-原子炉容器間のナトリウム噴出流路のモデル

著作権の関係から公開できません。

第 7 図 技術資料 管路・ダクトの流体抵抗[1]

他社技術情報が含まれているため公開できません。

参考第1図 炉心上部機構、小回転プラグ、大回転プラグの組立図