

|                       |           |
|-----------------------|-----------|
| 柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉審査資料 |           |
| 資料番号                  | KK67-0120 |
| 提出年月日                 | 平成28年9月5日 |

## 柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号炉

中空断面を有する構造物の浮き上がり  
に係る評価結果について

平成28年9月

東京電力ホールディングス株式会社

### 指摘事項

取水路等の中空断面を有する構造物について、液状化発生時の浮き上がりに係る評価結果を説明すること。

### 回答

中空断面を有する構造物における液状化発生時の浮き上がりについて、代表構造物として 7 号炉スクリーン室を選定し、評価を実施した。その結果、浮き上がりに係る安定性を確保していることを確認した。

検討の内容を次ページ以降に示す。

## 1. 代表構造物の選定

鉄筋コンクリート製の中空断面を有する構造としては、スクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路、燃料移送系配管ダクトおよび第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎が挙げられる。本検討では、液状化発生時の浮き上がりに係る安定性評価について、これら構造物の中から代表構造物を選定して実施する。

各構造物の構造概要、基礎形式、断面寸法および土被り厚について整理した結果を第1表に示す。

基礎形式は、杭基礎形式と直接基礎形式がある。杭基礎形式の構造物は、杭により鉛直方向に拘束されているため、直接基礎形式よりも浮き上がりに係る安定性が高いことから、代表構造物は直接基礎形式の設備から選定する。

直接基礎形式の設備であるスクリーン室、取水路および補機冷却用海水取水路の断面図および平面図を第1図に示す。

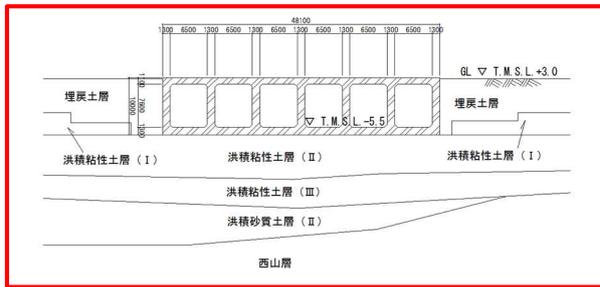
構造物の浮き上がりは、内空寸法が大きいほど浮力が働き、土被りが小さいほど抵抗力が小さく、現象が発生しやすい傾向となることから、代表構造物は、直接基礎形式の設備のうち、断面寸法が最も大きく、土被りが最も小さいスクリーン室を選定する。

第1表 中空断面構造物の整理結果（7号炉※1）

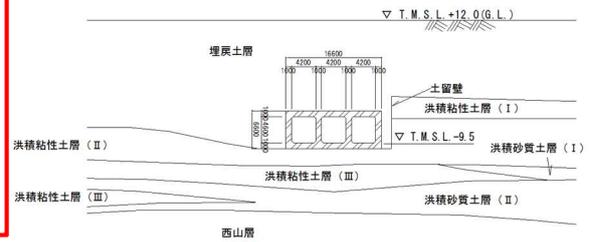
| 設備名称                | 構造概要             | 基礎形式 | 断面寸法※2<br>(m)   | 土被り厚<br>(m) |
|---------------------|------------------|------|-----------------|-------------|
| スクリーン室              | 鉄筋コンクリート製の中空断面構造 | 直接基礎 | W48.1×<br>H10.0 | なし          |
| 取水路（漸縮部）            |                  |      | W48.1×<br>H10.0 | 2.5         |
| 取水路（一般部）            |                  |      | W16.6×H6.6      | 2.5～19.2    |
| 取水路（漸拡部）            |                  |      | W37.6×H9.5      | 14.5～15.6   |
| 補機冷却用海水取水路（北側）      |                  |      | W15.7×H5.2      | 18.3        |
| 補機冷却用海水取水路（南側）      |                  |      | W19.9×H5.2      | 18.3        |
| 燃料移送系配管ダクト          |                  | 杭基礎  | W4.5×H3.3       | 1.0         |
| 第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎 |                  |      | W14.7×H8.3      | なし          |

※1：スクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路、燃料移送系配管ダクトは6,7号炉で形状がほぼ同じであることから、代表として7号炉にて検討する

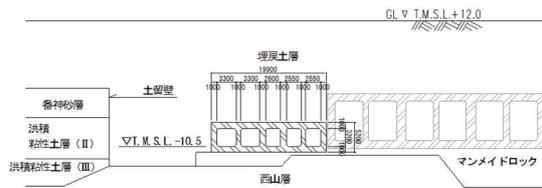
※2：各構造物の区間のうち、断面寸法の最も大きい断面での数値を示す



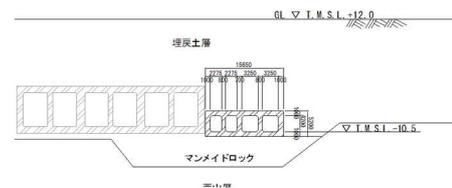
(スクリーン室断面図)



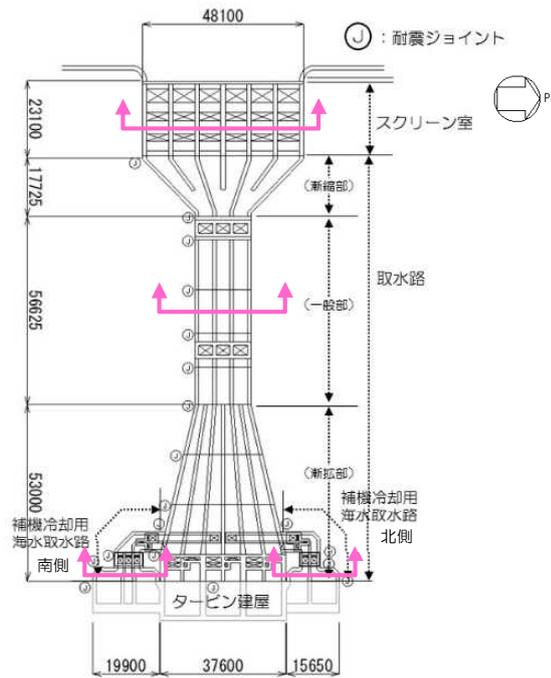
(取水路一般部断面図)



(補機冷却用海水取水路 南側 断面図)



(補機冷却用海水取水路 北側 断面図)



(取水路 全体 平面図)

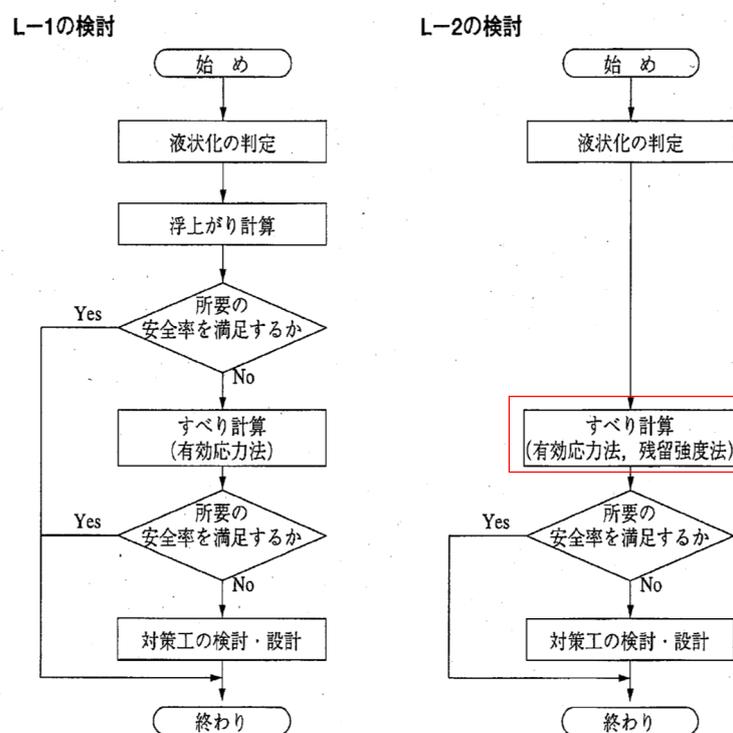
第 1 図 取水路の断面図および平面図 (7号炉)

## 2. 評価内容

### 2.1 評価方法

浮き上がりに係る安定性の評価について、建設省土木研究所他（1999）は、中規模地震動（L-1）と大規模地震動（L-2）とを分けた第2図のフローを示し、想定する地震動レベルに応じた計算を行うこととしている。また、古関・松尾（1995）は、浮き上がり計算法は地盤構成が比較的一様な場合を前提としたものであることを踏まえ、地盤構成が非一様な場合に適用する手法としてすべり計算法（有効応力法）を提案している。

本検討では、基準地震動  $S_s$  の地震規模を踏まえ、建設省土木研究所他のフローでは大規模地震動（L-2）の方が適していること、ならびに、スクリーン室断面の地盤構成は第1図に示すように非一様であることから、すべり計算法（有効応力法）を採用する。



第2図 浮き上がりに係る安定性検討のフロー

(建設省土木研究所他に一部加筆)

### 【参考文献】

- ・ 建設省土木研究所他：液状化対策工法設計・施工マニュアル（案），1999.
- ・ 古関潤一，松尾修：共同溝の地震時浮上り安定性の簡易評価法に関する検討，土質工学研究発表会論文集，1995.

すべり計算法（有効応力法）では、上載圧と地中構造物の自重による抵抗モーメントと、すべり面上でのせん断抵抗による抵抗モーメントの和と、すべり土塊の自重による作用モーメントの比を、すべり安全率として算定する。

$$F_s = \frac{M_{r1} + M_{r2} + M_{r3} + M_{r4}}{M_{d1} + M_{d2} - M_{d3}} \dots\dots\dots(\text{解 } 5.3.3)$$

ここに、

$F_s$ ：すべり安全率

$M_{r1}$ ：上載圧と地中構造物の自重による抵抗モーメント (tf/m・m)

$M_{r2} \sim M_{r4}$ ：すべり面上でのせん断抵抗による抵抗モーメント (tf/m・m)

$M_{d1} \sim M_{d3}$ ：すべり土塊の自重による作用モーメント (tf/m・m)

$B$ ：共同溝幅 (m)

$l$ ：すべり面の長さ (m)

$\tau_f$ ：せん断抵抗 (tf/m<sup>2</sup>) ( $= c + \sigma'_{n0} \cdot \tan \phi'$ )

$c$ ：粘着力 (tf/m<sup>2</sup>)

$\phi'$ ：せん断抵抗角 (度)

$\Delta u$ ：過剰間隙水圧 (tf/m<sup>2</sup>) ( $= L_u \times \sigma'_v$ )

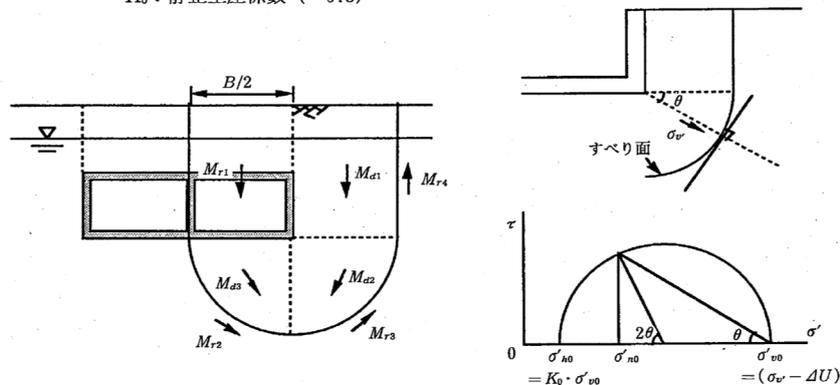
$L_u$ ：過剰間隙水圧比

$\sigma'_v$ ：有効上載圧 (tf/m<sup>2</sup>)

$\sigma'_{n0}$ ：すべり面に対して法線方向の有効直応力 (tf/m<sup>2</sup>) で式 (解 5.3.4) による

$$\sigma'_{n0} = \left( \frac{1 + K_0}{2} - \frac{1 - K_0}{2} \cos 2\theta \right) \cdot (\sigma'_v - \Delta u) \dots\dots\dots(\text{解 } 5.3.4)$$

$K_0$ ：静止土圧係数 (=0.5)



(a) 計算モデルの概念図

(b) せん断抵抗の算定方法

(建設省土木研究所他に一部加筆)

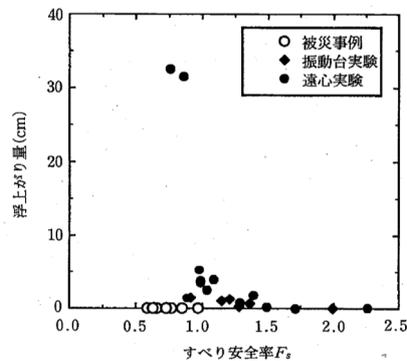
## 2.2 所要安全率

すべり計算法（有効応力法）における所要安全率について、建設省土木研究所他は、第2表に示すとおり、大規模地震動（L-2）は「適切に定める」とされている。

本検討では、第2表から、建設省土木研究所他に示される中規模地震動（L-1）における所要安全率が1.5であること、ならびに、第3図から、すべり安全率と浮上り量の関係について兵庫県南部地震における被災事例、振動台実験、遠心実験での浮上り量が、すべり安全率1.1以上では約2cm以下と小さく、安全率1.5以上ではほぼゼロになることを踏まえ、所要安全率は保守的な評価として1.5とする。

第2表 所要安全率（建設省土木研究所他に一部加筆）

| 計算法<br>想定地震動    | 浮上がり計算   | すべり計算                  |                        |
|-----------------|----------|------------------------|------------------------|
|                 |          | 有効応力法                  | 残留強度法                  |
| 中規模地震動<br>(L-1) | ○<br>1.1 | ○<br>所要安全率<br>1.5      | —                      |
| 大規模地震動<br>(L-2) | —        | ○<br>所要安全率<br>(適切に定める) | ○<br>所要安全率<br>(適切に定める) |



(b) すべり安全率 $F_s$ （有効応力法）～浮上がり量

\* 被災事例については、地震後の概略調査で明白な浮上りによる被害は確認されていないことから、浮上がり量を0としてプロットしている。

第3図 すべり安全率と浮き上がり量の関係  
(建設省土木研究所他より)

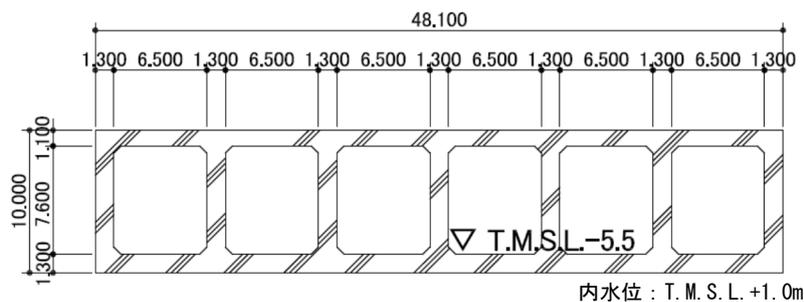
### 3. 評価結果

#### 3.1 計算条件

##### a. 躯体諸元

スクリーン室の構造を第4図に示す。

鉄筋コンクリートの単位体積重量は  $23.5\text{kN/m}^3$ ，内水の単位体積重量は  $10.1\text{kN/m}^3$  とする。



第4図 スクリーン室の構造図 (単位: m)

##### b. 機器重量

機器重量を第3表に示す。

第3表 機器重量 (一室あたり)

| 機器          | 作用位置   | 荷重 (kN) |
|-------------|--------|---------|
| バースクリーン     | 底版     | 121     |
| レーキ付バースクリーン | 頂版, 底版 | 324     |
| トラベリングスクリーン | 頂版, 底版 | 309     |

##### c. 地盤物性値

地盤物性値を第4表に示す。

第4表 地盤物性値

| 地層           | 単位体積重量<br>$\rho$ ( $\text{t/m}^3$ ) | 粘着力<br>$C'$ ( $\text{kN/m}^2$ ) | 内部摩擦角<br>$\phi'$ ( $^\circ$ ) |
|--------------|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| 埋戻土層 (地下水以浅) | 1.90                                | 10.8                            | 33.8                          |
| 埋戻土層 (地下水以深) | 2.00                                | 0.0                             | 41.1                          |
| 洪積粘性土層 (I)   | 1.82                                | 0.0                             | 33.0                          |
| 洪積粘性土層 (II)  | 1.80                                | 191.0                           | 27.3                          |
| 洪積粘性土層 (III) | 1.86                                | 218.0                           | 27.9                          |
| 洪積砂質土層 (II)  | 1.90                                | 0.0                             | 45.0                          |
| 西山層          | 1.73                                | $C_u = 1370 - 5.04Z$ (Z: 標高)    |                               |

### 3.2 浮き上がり安全率の算定

浮き上がり安全率をすべり計算法（有効応力法）により算定する。各モーメントの内訳と安全率の算定結果を以下に示す。

#### Mr1 :

|                       |                   |
|-----------------------|-------------------|
| 躯体および均しコンの抵抗モーメント     | 21,200 kN・m       |
| 内水による抵抗モーメント          | 15,800 kN・m       |
| <u>機器荷重による抵抗モーメント</u> | <u>1,300 kN・m</u> |
| Mr1(合計)               | 38,300 kN・m       |

#### Mr2 :

|                            |                     |
|----------------------------|---------------------|
| 洪積粘性土層Ⅱのせん断抵抗による抵抗モーメント    | 41,100 kN・m         |
| 洪積粘性土層Ⅲのせん断抵抗による抵抗モーメント    | 34,400 kN・m         |
| 洪積砂質土層Ⅱのせん断抵抗による抵抗モーメント    | 24,200 kN・m         |
| <u>西山層のせん断抵抗による抵抗モーメント</u> | <u>386,400 kN・m</u> |
| Mr2(合計)                    | 486,100 kN・m        |

#### Mr3 :

|                            |                     |
|----------------------------|---------------------|
| 洪積粘性土層Ⅱのせん断抵抗による抵抗モーメント    | 38,900 kN・m         |
| 洪積粘性土層Ⅲのせん断抵抗による抵抗モーメント    | 27,500 kN・m         |
| 洪積砂質土層Ⅱのせん断抵抗による抵抗モーメント    | 43,600 kN・m         |
| <u>西山層のせん断抵抗による抵抗モーメント</u> | <u>357,500 kN・m</u> |
| Mr3(合計)                    | 467,500 kN・m        |

#### Mr4 :

|                                  |                 |
|----------------------------------|-----------------|
| <u>埋戻土層（不飽和）のせん断抵抗による抵抗モーメント</u> | <u>820 kN・m</u> |
| Mr4(合計)                          | 820 kN・m        |

#### Md1

|                              |                    |
|------------------------------|--------------------|
| 埋戻土層（不飽和）の自重による作用モーメント       | 10,800 kN・m        |
| <u>埋戻土層（飽和）の自重による作用モーメント</u> | <u>44,200 kN・m</u> |
| Md1（合計）                      | 55,000 kN・m        |

Md2, Md3 は Md2 ≒ Md3 のため略

$$\begin{aligned}
 F_s &= (Mr_1+Mr_2+Mr_3+Mr_4) / (Md_1+Md_2-Md_3) \\
 &= (38,300+486,100+467,500+820) / 55,000 \\
 &= 18.0
 \end{aligned}$$

### 3.3 評価結果

すべり計算法（有効応力法）により求めた浮き上がり安全率は、第 4 表に示すとおり、所要安全率を上回ることから、7号炉スクリーン室は浮き上がりに係る安定性を確保していることを確認した。

第 4 表 浮き上がりに係る安定性の評価結果

| 浮き上がり安全率 | 所要安全率 | 評価                 |
|----------|-------|--------------------|
| 18.0     | 1.5   | 浮き上がりに係る安定性を確保している |

以 上