

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 改01
提出年月日	平成28年9月14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（9/8 審査会合）

今回提案した浮き上がり評価の手法の他に、一般土木構造物の設計指針等の手法があるが、その他複数の手法を比較検討した上で最も信頼性・保守性のある手法を適切に採用すべきと考えるが、本手法を採用または適用できると考える理由について説明すること。

#### 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、評価手法の適用性について確認した結果を、次ページ以降に示す。

## 構造物の浮き上がりに係る評価について

本資料では、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、設置許可段階における評価の見通しとして、代表構造物についての評価結果を示す。

### 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物としては、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、断面寸法および上載圧について整理した結果を第1表に示す。

基礎形式は、直接基礎形式と杭基礎形式がある。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。

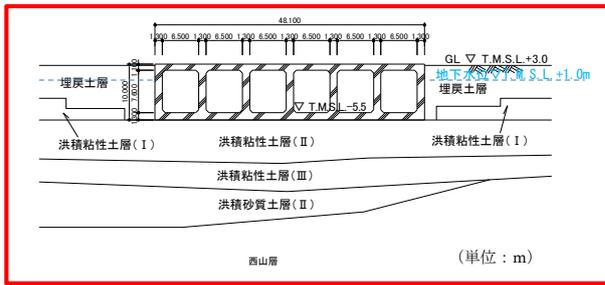
構造物の浮き上がりは、内空寸法が大きいほど浮力が働き、上載圧が小さいほど抵抗力が小さく、現象が発生しやすい傾向となることから、代表構造物は、直接基礎形式の設備のうち、断面寸法が最も大きく、上載圧が最も小さいスクリーン室を選定する。

第1表 中空断面構造物の整理結果（7号炉<sup>※1</sup>）

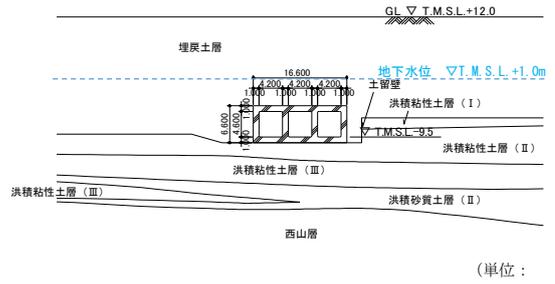
構造物名称	構造概要	基礎形式	断面寸法 <sup>※2</sup> (m)	上載圧 (kN/m <sup>2</sup> )
スクリーン室	鉄筋コンクリート製の中空断面構造	直接基礎	W48.1×H10.0	2.9
取水路（漸縮部）			W48.1×H10.0	47.1
取水路（一般部）			W16.6×H6.6	47.1～366
取水路（漸拡部）			W37.6×H9.5	274～295
補機冷却用海水取水路（北側）			W15.7×H5.2	348
補機冷却用海水取水路（南側）			W19.9×H5.2	348
燃料移送系配管ダクト		杭基礎	W4.5×H3.3	18.6
第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎			W14.7×H8.3	1.8

※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

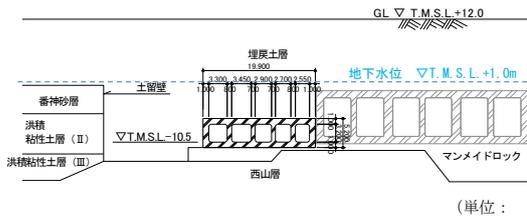
※2：各構造物の区間のうち、断面寸法の最も大きい断面での数値を示す



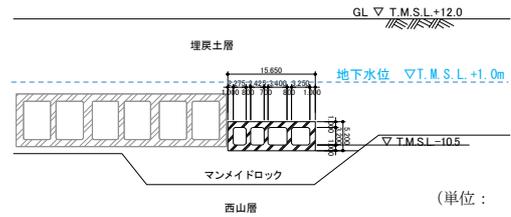
(スクリーン室断面図)



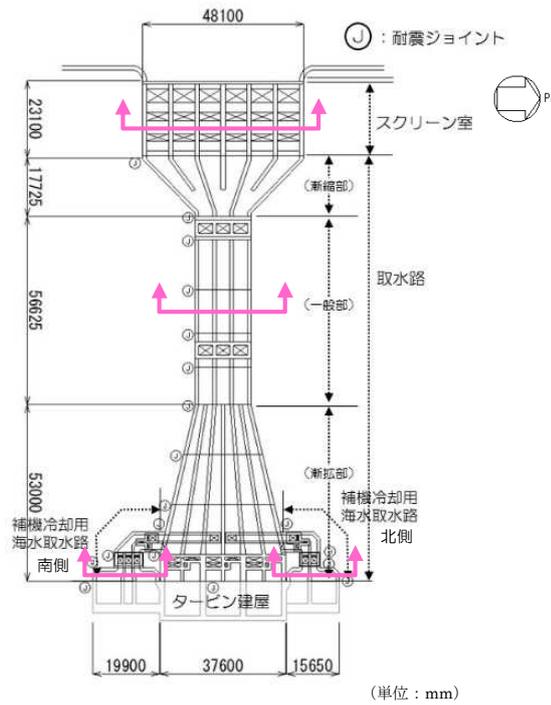
(取水路一般部断面図)



(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 取水路の断面図及び平面図 (7号炉)

## 2. 評価内容

### 2.1 評価方法

地盤の液状化に伴う構造物の浮き上がりに対する主な簡易評価手法としては、浮き上がり計算法とすべり計算法がある。

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、液状化による過剰間隙水圧の上昇に伴う揚圧力の増加を考慮した、力の釣り合いに基づく方法であり、日本道路協会（1986）及び鉄道総合技術研究所（2012）に示されている。

すべり計算（有効応力法）は、地盤構成が非一様な場合に適用する評価法として、古関・松尾（1998）に示される、円弧すべり面を仮定したモーメントの釣り合いに基づく方法である。

建設省土木研究所他（1999）は、浮き上がり計算法とすべり計算法を、地震動レベルに応じて適用する方法を採用している。大規模地震動（L-2）の検討では、すべり計算法を実施することとし、具体的な計算方法として、古関・松尾（1995）によるすべり計算（有効応力法）を示している。建設省土木研究所他による検討フローを第2図に示す。

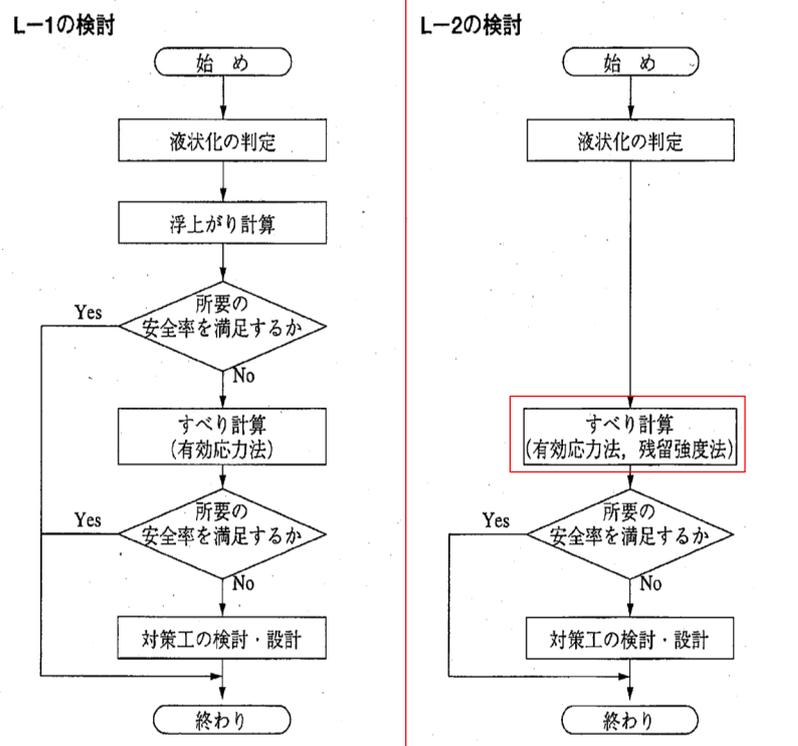
本検討では、7号炉スクリーン室の特徴として、対象地盤が成層であり深さ方向に非一様であること、基準地震動  $S_s$  の地震規模が大きいことから、第2表に示す簡易評価手法の適用性の整理結果を踏まえ、最も適した評価手法としてすべり計算（有効応力法）を採用し、浮き上がりに係る安定性を評価する。

第2表 簡易評価手法の適用性（7号炉スクリーン室）

	7号炉スクリーン室 の特徴	浮き上がり計算法		すべり計算（有効応力法）	
			適用性		適用性
地層構成	成層であり 深さ方向に非一様	比較的一様	△	非一様に対応	○
地震力	基準地震動 $S_s$ 地震規模大	中規模地震	△	大規模地震	○

【参考文献】

- ・ 社団法人日本道路協会：共同溝設計指針，1986.
- ・ 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，2012.
- ・ 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.
- ・ 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.



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)



すべり計算（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>) (=  $c + \sigma'_{no} \cdot \tan \phi'$ )

$c$ ：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>) (=  $L_u \times \sigma_v'$ )

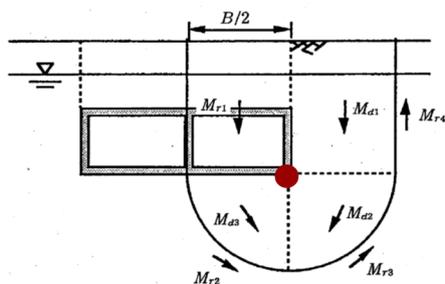
$L_u$ ：過剰間隙水圧比

$\sigma_v'$ ：有効上載圧 (tf/m<sup>2</sup>)

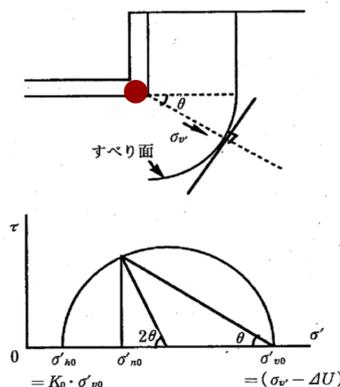
$\sigma'_{no}$ ：すべり面に対して法線方向の有効直応力 (tf/m<sup>2</sup>) で式 (解 5.3.4) による

$$\sigma'_{no} = \left( \frac{1 + K_0}{2} - \frac{1 - K_0}{2} \cos 2\theta \right) \cdot (\sigma_v' - \Delta u) \dots\dots\dots(\text{解 } 5.3.4)$$

$K_0$ ：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

第4図 すべり計算法  
(建設省土木研究所他に一部加筆)

## 2.2 所要安全率

所要安全率について、建設省土木研究所他は、第3表に示すとおり、大規模地震動(L-2)におけるすべり計算(有効応力法)では「適切に定める」としている。

本検討では、第3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図における、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以上ではほぼゼロとなることを踏まえ、所要安全率は保守的な評価として1.5とする。

第3表 所要安全率(建設省土木研究所他に一部加筆)

想定地震動	計算法 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 (L-1)	○ 1.1	○ 所要安全率 1.5	-
大規模地震動 (L-2)	-	○ 所要安全率 (適切に定める)	○ 所要安全率 (適切に定める)

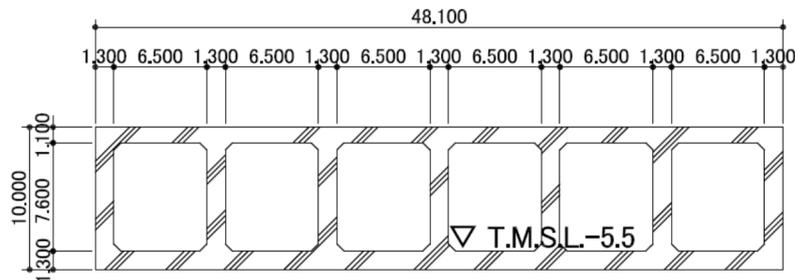
### 3. 評価結果

#### 3.1 計算条件

##### a. 躯体諸元

スクリーン室の構造を第5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。なお、内水位は、抵抗モーメントを保守的に考慮するために、朔望平均干潮位 (T.M.S.L. +0.03m) よりも低い水位として T.M.S.L.  $\pm 0.0\text{m}$  とする。



第5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4表に示す。

第4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5表に示す。

第5表 地盤物性値

地層	単位体積重量 $\rho$ ( $\text{t/m}^3$ )	粘着力 $C'$ ( $\text{kN/m}^2$ )	内部摩擦角 $\phi'$ ( $^\circ$ )
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（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。

<u>Mr1(合計)</u>	<u>35,300 kN・m</u>
躯体の抵抗モーメント	20,600 kN・m
内水による抵抗モーメント	13,400 kN・m
機器荷重による抵抗モーメント	1,300 kN・m

<u>Mr2(合計)</u>	<u>484,000 kN・m</u>
洪積粘性土層Ⅱのせん断抵抗による抵抗モーメント	40,600 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	34,000 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	23,000 kN・m
西山層のせん断抵抗による抵抗モーメント	386,400 kN・m

<u>Mr3(合計)</u>	<u>467,500 kN・m</u>
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
西山層のせん断抵抗による抵抗モーメント	357,500 kN・m

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

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

Md2, Md3 は Md2 ≒ Md3 のため略

$$\begin{aligned}
 F_s &= (Mr1+Mr2+Mr3+Mr4) / (Md1+Md2+Md3) \\
 &= (35,300+484,000+467,500+820) / 55,000 \\
 &= 18.0
 \end{aligned}$$

### 3.3 評価結果

算定された浮き上がり安全率は、第 6 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 6 表 浮き上がりに係る安定性の評価結果（7号炉スクリーン室）

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