

川内原子力発電所1, 2号炉 運転期間延長認可申請に係るヒアリング
コメント反映整理表<耐津波安全性評価>

資料-6-3

2023年6月15日 九州電力株

No	対象号機	日付	資料名	該当ページ	コメント内容	コメント対応	回答日	完了日
1	1/2号機	2月2日	耐津波安全性評価 劣化状況評価 補足説明資料	11	津波監視カメラの想定する荷重について、結果のみが記載されており、耐震評価時の最大許容荷重と同じ数値を用いている。耐震評価時と耐津波評価時では荷重の内訳が異なると考えられるが問題ないか、内訳と最大許容荷重の関係を追加し、説明すること。	回答資料 川内1, 2号炉-耐津波安全性評価-1のとおり。	2023.5.15	2023.5.16
2	1/2号機	2月2日	耐津波安全性評価 劣化状況評価 補足説明資料	別紙1 添付1	浸水防護施設の概要、津波監視装置が小さくて見えない、拡大図を示すこと。	回答資料 「川内1号炉 補足説明資料(耐津波安全性評価)別紙1 添付2」 「川内2号炉 補足説明資料(耐津波安全性評価)別紙1 添付2」 のとおり。	2023.5.15	2023.5.16
3	1/2号機	5月16日	川内1, 2号炉-耐津波安全性 評価-1	-	マスキング箇所の範囲について、再度検討を行うこと。	マスキング箇所を「回答資料 川内1, 2号炉-耐津波安全性評価-1(R1)」 の通り再度検討した。	2023.6.15	

川内1, 2号炉－耐津波安全性評価－1（R1）

<p>タイトル</p>	<p>津波監視カメラの想定する荷重について、結果のみが記載されており、耐震評価時の最大許容荷重と同じ数値を用いている。耐震評価時と耐津波評価時では荷重の内訳が異なると考えられるが問題ないか、内訳と最大許容荷重の関係を追加し、説明すること。</p>															
<p>説明</p>	<p>川内2号炉の津波監視カメラの津波時に生じる荷重について以下に示す。</p> <p>1. 基礎ボルトの仕様 荷重の算出に用いたデータを表1に示す。</p> <p style="text-align: center;">表1 基礎ボルト仕様</p> <table border="1" data-bbox="496 779 1259 987"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>単位</th> <th>仕様</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>基礎ボルトの評価温度</td> <td>℃</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>基礎ボルト呼び径</td> <td>—</td> <td>M36</td> </tr> <tr> <td>基礎ボルト本数</td> <td>本</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>減肉量（直径）</td> <td>mm</td> <td style="border: 2px solid black;"></td> </tr> </tbody> </table> <p>2. 入力（荷重）条件 津波監視カメラは、取水ピットに設置されており、その外側を防護堤により囲まれていることから、直接、遡上波やそれに伴う漂流物による影響を受けることは考えにくい。しかし、津波時の保守的な評価として、入力津波である遡上波による波力及び漂流物の衝突の組合せ等を考慮した評価を実施している。自重及び雪荷重については、鉛直方向成分のみであり、床部（基礎ボルト部）に生じる曲げモーメント及びせん断力に寄与しないため、本計算において考慮する荷重の組合せは以下の通りとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・遡上波による波力 ・漂流物による衝突荷重 ・風荷重 <p>(1) 遡上波による波力</p> <p>①津波監視カメラ設置用鉄柱に作用する津波荷重 津波監視カメラは取水ピット内に設置されていることから、設計に用いる遡上波の津波高さは、海水ポンプエリアの遡上波による津波高さとする。</p> <p>津波荷重P_tは、波力として作用するため、津波高さについて文献^(注)を参考に次式にて波力を三角形分布静水圧荷重に換算する。添付－1に津波荷重の作用イメージを示す。</p> <p>三角形分布静水圧荷重として算定した津波荷重P_tについては、添付－1に示すとおり分布して作用すると考える。</p>	項目	単位	仕様	基礎ボルトの評価温度	℃	40	基礎ボルト呼び径	—	M36	基礎ボルト本数	本	16	減肉量（直径）	mm	
項目	単位	仕様														
基礎ボルトの評価温度	℃	40														
基礎ボルト呼び径	—	M36														
基礎ボルト本数	本	16														
減肉量（直径）	mm															



②津波荷重の算出条件及び結果

遡上津波荷重の算出条件を表2に、各区分における算出結果を表3に示す。

表2 遡上津波荷重の算出条件

津波高さ (m)	設置場所 及び 床面高さ (m)	浸水 深さ H (m)	海水の 密度 ρ (kg/m ³)	水平波圧 指標 a	重力加速度 g (m/s ²)
EL. 6.0	取水ピット EL. 4.5	1.5	1,030	3	9.80665

表3 遡上津波荷重による分布荷重の算出結果

部位	高さ		波圧の荷重		せん断力 Q_i (kN)	曲げ モーメント M_i (kN・m)	
	区分 境界 z_i (床上) (m)	区分 中央 z_s (床上) (m)	波圧 q_s (kN/m ²)	面積 A_p (区分) (m ²)			
柱部	18	4.50	4.375	1.27	0.153	0.10	0.00
	17	4.25	4.125	3.79	0.153	0.49	0.03
	16	4.00	3.875	6.32	0.153	1.27	0.15
	15	3.75	3.625	8.84	0.153	2.44	0.47
	14	3.50	3.375	11.37	0.153	3.99	1.08
	13	3.25	3.125	13.89	0.153	5.93	2.08
	12	3.00	2.875	16.42	0.153	8.26	3.56
	11	2.75	2.625	18.94	0.153	10.97	5.62
	10	2.50	2.375	21.47	0.153	14.07	8.37
	9	2.25	2.125	23.99	0.153	17.56	11.88
	8	2.00	1.875	26.52	0.153	21.43	16.27
	7	1.75	1.625	29.04	0.153	25.69	21.63
	6	1.50	1.375	31.57	0.153	30.34	28.05
	5	1.25	1.125	34.10	0.153	35.37	35.64
	4	1.00	0.875	36.62	0.153	40.79	44.48
	3	0.75	0.625	39.15	0.153	46.59	54.68
	2	0.50	0.375	41.67	0.153	52.78	66.33
	1	0.25	0.125	44.20	0.153	59.36	79.52
	床	0.00	—	—	—	62.75	94.36

(2) 漂流物による衝突荷重

①津波監視カメラ設置用鉄柱に作用する衝突荷重
衝突荷重 P_c は次式により算定する。



P_c : 衝突荷重 [kN]

W_d : 衝突荷重算出時に用いる漂流物の重量 [kN]

②衝突荷重の算出条件及び結果

衝突荷重の算出条件を表4に、各区分における算出結果を表5に示す。

表4 衝突荷重の算出条件

漂流物 衝突位置 (m)	漂流物質量 W (t)	衝突速度 V _d (m/s)	重力加速度 g (m/s ²)
EL. 8.0	3.0	2.0	9.80665

表5 衝突荷重の算出結果

部位	高さ 区分境界 z _i (床上) (m)	衝突物 の荷重 P _o (kN)	応力	
			せん断力 Q _i (kN)	曲げモーメント M _i (kN・m)
柱部	14	3.50	6.00	0.00
	13	3.25	—	1.50
	12	3.00	—	3.00
	11	2.75	—	4.50
	10	2.50	—	6.00
	9	2.25	—	7.50
	8	2.00	—	9.00
	7	1.75	—	10.50
	6	1.50	—	12.00
	5	1.25	—	13.50
	4	1.00	—	15.00
	3	0.75	—	16.50
	2	0.50	—	18.00
	1	0.25	—	19.50
床	0.00	—	21.00	

(3) 風荷重

①津波監視カメラ設置用鉄柱に作用する風荷重
風荷重 P_k は、次式により算定する。

$$P_k = q \cdot Cf \cdot A_k$$

$$q = 0.6E \cdot V_0^2$$

$$E = Er^2 \cdot Gf$$

P_k : 風荷重 [kN]

q : 速度圧 [N/m²]

Cf : 風力係数

kz : 風荷重計算時の係数

A_k : 受風面積 [m²]

E : 建設省告示第1454号に定められる数値

V_0 : 基準風速 [m/s]

Er : 平均風速の高さ方向の分布を表す係数

Gf : ガスト影響係数

②風荷重の算出条件及び結果

風荷重の算出条件を表6に、各区分における算出結果を表7に示す。

表6 風荷重の算出条件

基準風速 V_0 (m/s)	地面粗度 区分	鉄柱高さ H_t (m)	地表面粗度 区分に応じた 係数 Z_b	地表面粗度 区分に応じた 係数 Z_g
36.0	II	13.3	5	350

地表面粗度 区分に応じた 係数 α	ガスト影響 係数 Gf	風力係数 Cf	
		鋼管部	鋼管部以外
0.15	1.0	0.9kz	2.0kz

表7 風荷重による分布荷重の算出結果

部位		高さ z_i (m)	鋼管部の風荷重				鋼管部以外の 風荷重				風荷重の 和	応力		
			k_z	C_f	A_k (m^2)	P_{k1} (kN)	k_z	C_f	A_k (m^2)	P_{k1} (kN)	P_k (kN)	せん断力 Q_i (kN)	曲げモー メント M_i (kN・m)	
避雷針部	上部	34	15.8	1.050	0.945	0.046	0.02	1.054	—	—	—	0.02	0.02	0.00
		33	15.4	1.041	0.937	0.058	0.05	1.045	—	—	—	0.05	0.07	0.01
	継手	32	14.9	1.031	0.928	0.046	0.05	1.035	2.070	0.019	0.04	0.09	0.16	0.05
	下部	31	14.5	1.022	0.920	0.046	0.04	1.027	—	—	—	0.04	0.20	0.11
		30	14.1	1.014	0.913	0.046	0.04	1.018	—	—	—	0.04	0.24	0.19
		29	13.7	1.005	0.905	0.046	0.04	1.009	—	—	—	0.04	0.28	0.20
継手	28	13.3	0.996	0.897	0.345	0.16	1.000	2.000	0.706	1.23	1.39	1.67	0.40	
上部	27	12.8	0.987	0.889	0.207	0.22	0.989	1.978	0.436	0.76	0.98	2.65	1.23	
	26	12.5	0.977	0.880	0.276	0.20	0.982	—	—	—	0.20	2.85	2.03	
	25	12.1	0.968	0.872	0.276	0.22	0.973	1.946	2.181	3.70	3.92	6.77	3.17	
	24	11.7	0.958	0.863	0.276	0.21	0.963	—	—	—	0.21	6.98	5.88	
	23	11.3	0.948	0.854	0.345	0.24	0.953	—	—	—	0.24	7.22	8.67	
	22	10.8	0.935	0.842	0.345	0.26	0.940	—	—	—	0.26	7.48	12.28	
	21	10.3	0.921	0.829	0.345	0.26	0.927	—	—	—	0.26	7.74	16.02	
	20	9.8	0.907	0.817	0.345	0.25	0.913	—	—	—	0.25	7.99	19.89	
	19	9.3	0.893	0.804	0.345	0.25	0.899	—	—	—	0.25	8.24	23.88	
	18	8.8	0.878	0.791	0.345	0.25	0.884	—	—	—	0.25	8.49	28.00	
	17	8.3	0.862	0.776	0.345	0.24	0.869	—	—	—	0.24	8.73	32.25	
	16	7.8	0.846	0.762	0.345	0.24	0.853	—	—	—	0.24	8.97	36.61	
	15	7.3	0.829	0.747	0.345	0.23	0.836	—	—	—	0.23	9.20	41.10	
	継手	14	6.8	0.811	0.730	0.396	0.25	0.818	1.636	0.072	0.11	0.36	9.56	45.70
下部	13	6.3	0.792	0.713	0.396	0.26	0.800	—	—	—	0.26	9.82	50.48	
	12	5.8	0.772	0.695	0.396	0.25	0.780	—	—	—	0.25	10.07	55.39	
	11	5.3	0.751	0.676	0.396	0.24	0.759	—	—	—	0.24	10.31	60.42	
	10	4.8	0.746	0.672	0.396	0.24	0.746	1.492	0.051	0.07	0.31	10.62	65.58	
	9	4.3	0.746	0.672	0.396	0.24	0.746	—	—	—	0.24	10.86	70.89	
	8	3.8	0.746	0.672	0.396	0.24	0.746	—	—	—	0.24	11.10	76.32	
	7	3.3	0.746	0.672	0.317	0.22	0.746	—	—	—	0.22	11.32	81.87	
	6	2.9	0.746	0.672	0.317	0.19	0.746	—	—	—	0.19	11.51	86.40	
	5	2.5	0.746	0.672	0.396	0.22	0.746	—	—	—	0.22	11.73	91.00	
	4	2.0	0.746	0.672	0.396	0.24	0.746	—	—	—	0.24	11.97	96.87	
	3	1.5	0.746	0.672	0.396	0.24	0.746	—	—	—	0.24	12.21	102.85	
	2	1.0	0.746	0.672	0.396	0.24	0.746	—	—	—	0.24	12.45	108.96	
	1	0.5	0.746	0.672	0.396	0.24	0.746	—	—	—	0.24	12.69	115.18	
脚部	床	0.0	—	—	—	0.12	0.746	1.492	0.466	0.61	0.73	13.42	121.53	

3. 荷重の算出

(1) 津波監視カメラ設置用鉄柱の床部（基礎ボルト）に生じる曲げモーメント及びせん断力

遡上波による波力、漂流物による衝突荷重及び風荷重から床部（基礎ボルト部）に生じる曲げモーメント及びせん断力を表8に示す。

表8 床部（基礎ボルト部）に生じる曲げモーメント及びせん断力

荷重	曲げモーメントM (N・m)	せん断力Q (N)
遡上波による波力	94.36×10 ³	62.75×10 ³
衝突荷重	21.00×10 ³	6.00×10 ³
風荷重	121.53×10 ³	13.42×10 ³
床部（基礎ボルト部） に生じる荷重	236.89×10 ³	82.17×10 ³

(2) 基礎ボルトに生じる荷重

基礎ボルト1本あたりに生じる引張荷重とせん断荷重は、次式を用いて計算する。表9に基礎ボルトの荷重計算に用いる条件を示す。

(a) 引張荷重

全ボルトの断面係数は、

$$Z = A \cdot n \cdot \frac{D}{4}$$

Z : 全ボルトの断面係数

A : ボルト断面積（直径0.6mmの減肉考慮）

n : ボルト本数

D : ボルトサークルの直径

ボルト1本あたりの引張応力は、床部の曲げモーメントに対し、断面係数より、

$$\sigma_t = \frac{M}{Z}$$

σ_t : 引張応力

M : 床部の曲げモーメント

ボルト1本あたりの引張荷重は、

$$\begin{aligned} P_1 &= \sigma_t \cdot A \\ &= \frac{M}{Z} \cdot A \\ &= \frac{M}{n \cdot \frac{D}{4}} \end{aligned}$$

P_1 : ボルト 1 本当たりの引張荷重

(b) せん断荷重

全ボルトの断面積は、

$$A_a = A \cdot n$$

A_a : 全ボルトの断面積

ボルト1本当たりのせん断応力は、床部のせん断力に対し、全断面積より、

$$\tau = \frac{Q}{A_a}$$

τ : せん断応力

Q : 床部のせん断力

ボルト1本当たりのせん断荷重は、

$$Q_1 = \tau \cdot A$$

$$= \frac{Q}{A_a} \cdot A$$

$$= \frac{Q}{n}$$

Q_1 : ボルト 1 本当たりのせん断荷重

表 9 基礎ボルトの荷重計算に用いる条件

ボルト本数 n (本)	ボルトサークルの直径 D (mm)
16	1500

4. 荷重の比較

津波時に生じる荷重と最大許容荷重を比較した結果を表10に示す。耐津波評価の際は、長期最大許容荷重（引張： 111.5×10^3 [N]、せん断： 89.6×10^3 [N]）を1.5倍した短期最大許容荷重にて応力比を算出しているため、この短期最大許容荷重と発生荷重とを比較する。引張荷重及びせん断荷重のいずれにおいても、基礎ボルトでの発生荷重が短期最大許容荷重を下回っている。

表 10 基礎ボルト評価結果

評価部位	荷重の種類	発生荷重 (N)	短期最大許容荷重※ (N)
基礎ボルト	引張荷重	39.5×10^3	167.3×10^3
	せん断荷重	5.2×10^3	134.4×10^3

※短期最大許容荷重＝長期最大許容荷重×1.5

以上より、津波監視カメラの基礎ボルトの評価において、最大許容荷重が津波時に発生した場合を仮定することは、保守的な評価となる。

以上

要素数:34
節点数:35(床含む)

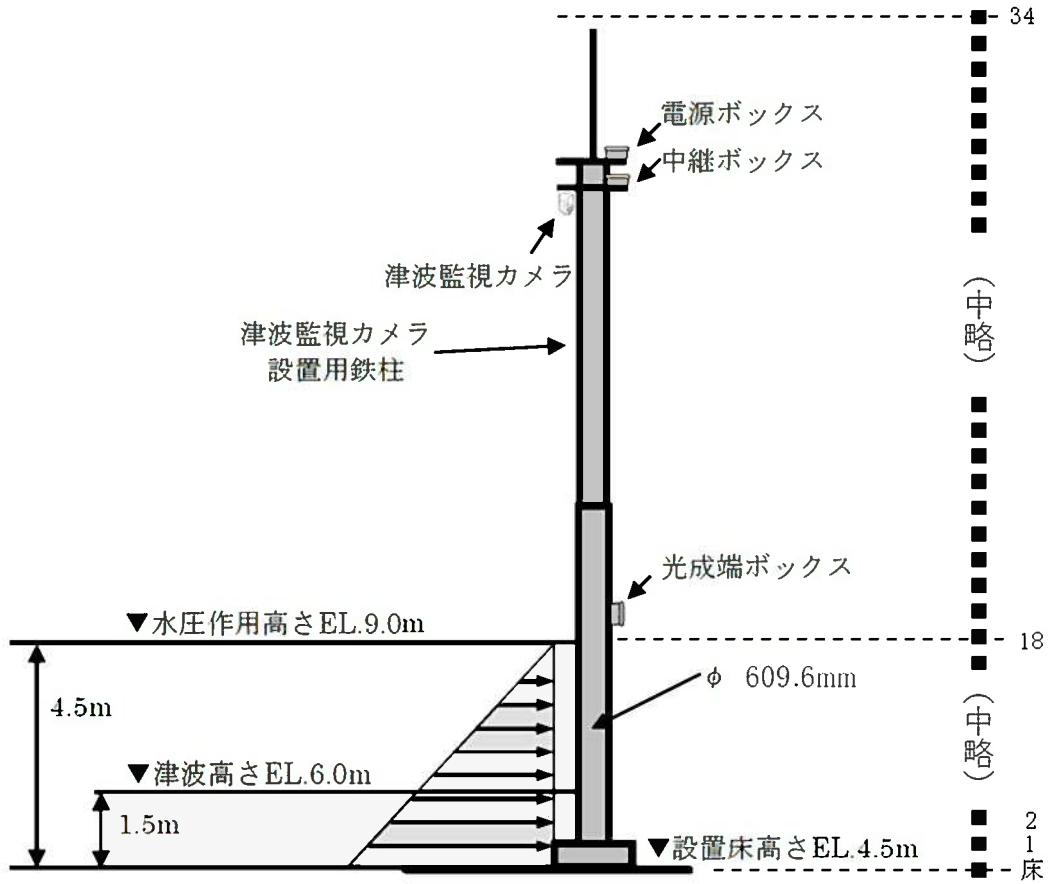


図 津波監視カメラ設置用鉄柱に作用する津波荷重のイメージ