

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第6号機	設計及び工事計画審査資料
資料番号	KK6 補足-028-10-51 改0
提出年月日	2024年1月15日

原子炉格納容器電気配線貫通部の設計荷重について

2024年1月

東京電力ホールディングス株式会社

目 次

1. はじめに	1
2. 設計荷重の算出方法	1
2.1 設計震度	1
2.2 各部位の荷重及びモーメント	2
2.2.1 質量	4
2.2.2 モーメント	4
2.3 設計荷重の計算	4
3. 設計荷重の計算例	6
3.1 質量	6
3.2 モーメント	7
3.3 設計荷重の算出	7
4. まとめ	7

1. はじめに

原子炉格納容器電気配線貫通部については、作用する荷重（圧力、死荷重及び地震荷重）のうち、死荷重及び地震荷重によるものを設計荷重として設定し、評価を行っている。

本資料は、VI-2-9-2-13「原子炉格納容器電気配線貫通部の耐震性についての計算書」の補足として、重大事故等時に水没する電気配線貫通部である X-300 を対象に設計荷重の設定方法及びその算出例について示し、設計荷重が適切に設定されていることを説明するものである。

2. 設計荷重の算出方法

電気配線貫通部の設計荷重は、設計基準対象施設としての許容応力状態 I_A 、 II_A 、 III_{AS} 、 IV_{AS} 、及び重大事故等対処設備としての許容応力状態 V_A 、 V_{AS} （SA 後長期/SA 後長々期）の各許容応力状態について、軸力、せん断力、モーメント*に対して設定される。

以下、設計荷重の算出に必要な設計震度、質量、モーメントの設定方法について述べた後、設計荷重の算出方法について説明する。

注記*：強度計算書及び耐震計算書においては、それぞれ、垂直力 (F_x)、垂直力 (F_y)、モーメント (M_B) として表記している。

2.1 設計震度

電気配線貫通部(X-300)は T. M. S. L. 6.0m の高さに存在することから、設計震度は保守的な設定となるよう、以下のように設定する。

弾性設計用地震動 S_d に関しては、VI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」における T. M. S. L. 4.8m～12.3m 間の設計用最大応答加速度 II の最大値、当該高さ範囲における静的震度の最大値のうち最も大きいものを用いる。

基準地震動 S_s に関しては、VI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」における T. M. S. L. 4.8m～12.3m 間の設計用最大応答加速度 II の最大値を用いる。

電気配線貫通部(X-300)の設計震度を表 2-1 にまとめる。

表 2-1 電気配線貫通部(X-300)の設計震度

地震荷重		水平方向震度	鉛直方向震度
S_d^*	設計用最大応答加速度 II (最大値)	0.59	0.56
	静的震度 (最大値)	0.56	0.24
	上記のうち最大	0.59	0.56
S_s	設計用最大応答加速度 II (最大値)	1.15	1.11

2.2 各部位の荷重及びモーメント

電気配線貫通部(X-300)はスリーブ（ケーブル、ヘッダ、アダプタ含む）、フランジ、端子箱及びエンドシールドにて構成される。電気配線貫通部の概略図を重大事故等時を例に図2-1に、記号の説明を表2-2に示す。

これらの部位を RCCV 内側、RCCV 外側の項目に分割して荷重及びモーメントを算出する。

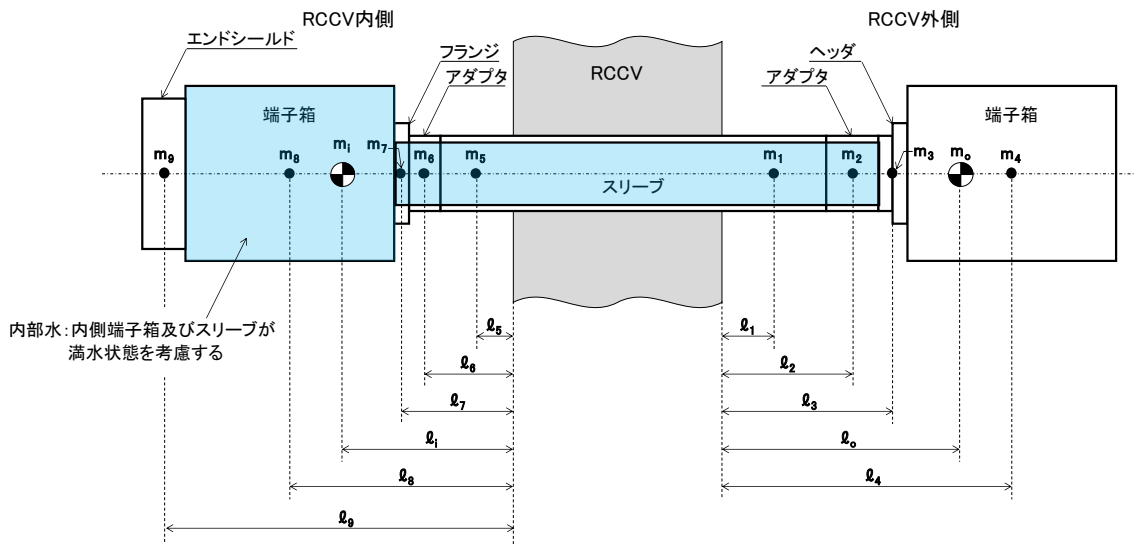


図2-1 電気配線貫通部(X-300)の概略図 (SA時)

表 2-2 記号の説明

記号	記号の説明	単位
m_0	質量(RCCV 外側の重心)	kg
m_i	質量(RCCV 内側の重心)	kg
m_1	質量(RCCV 外側スリーブ)	kg
m_2	質量(RCCV 外側アダプタ)	kg
m_3	質量(RCCV 外側電線類及びヘッダ)	kg
m_4	質量(RCCV 外側端子箱)	kg
m_5	質量(RCCV 内側スリーブ)	kg
m_6	質量(RCCV 内側電線類及びアダプタ)	kg
m_7	質量(フランジ)	kg
m_8	質量(RCCV 内側端子箱)	kg
m_9	質量(エンドシールド)	kg
l_0	モーメントアーム(RCCV 外側の重心)	mm
l_i	モーメントアーム(RCCV 内側の重心)	mm
l_1	モーメントアーム(RCCV 外側スリーブの長さの 1/2)	mm
l_2	モーメントアーム(RCCV 外側アダプタの長さの 1/2)	mm
l_3	モーメントアーム(ヘッダの長さの 1/2)	mm
l_4	モーメントアーム(RCCV 外側端子箱の長さの 1/2)	mm
l_5	モーメントアーム(RCCV 内側スリーブの長さの 1/2)	mm
l_6	モーメントアーム ((フランジ組立の長さ-フランジの厚さ)の 1/2)	mm
l_7	モーメントアーム(フランジの厚さの 1/2)	mm
l_8	モーメントアーム(RCCV 内側端子箱の長さの 1/2)	mm
l_9	モーメントアーム(エンドシールドの長さの 1/2)	mm

2.2.1 質量

設計基準対象施設としての評価においては、RCCV 外側、RCCV 内側それぞれにおいて、鋼材等の質量合計とする。ただし、RCCV コンクリート内部の質量は考慮しない。

重大事故等時の評価において、X-300 は水没する貫通部であるため、鋼材等の質量に加えて、スリーブ内及び内側端子箱内の水質量を考慮する。

2.2.2 モーメント

自重により発生する荷重にモーメントアームを乗じて求める。

RCCV 外側の重心までのモーメントアームは RCCV 外側のモーメントを合計し、RCCV 外側の合計質量で除して算出する。RCCV 内側の重心までのモーメントアームも同様に算出する。

2.3 設計荷重の計算

今回申請にて設計荷重の設定が必要な許容応力状態及びその内訳は以下のとおりである。地震時慣性力が作用する許容応力状態と作用しない許容応力状態に分けて設計荷重の計算方法を説明する。

・一次荷重及び一次＋二次荷重

許容応力状態 I_A , II_A : 死荷重

許容応力状態 III_{AS} : 死荷重＋地震慣性力 (Sd^*)

許容応力状態 IV_{AS} : 死荷重＋地震慣性力 (Ss)

許容応力状態 V_A : 死荷重*

許容応力状態 V_{AS} (SA 後長期) : 死荷重*＋地震慣性力 (Sd^*)

許容応力状態 V_{AS} (SA 後長々期) : 死荷重*＋地震慣性力 (Ss)

注記* : 重大事故等時に水没することから、水質量による自重の増加を考慮する。

許容応力状態 I_A , II_A , V_A においては、設計荷重は死荷重による荷重のみであるため、水平方向荷重は発生しないことから軸力は 0 とする。せん断力は死荷重 (質量) により発生する力に等しいものとする。モーメントは、2.2.2 項にて説明のとおり、貫通部の各主要部において発生するせん断力によるモーメントの合計値とする。

許容応力状態 III_{AS} , IV_{AS} , V_{AS} が対象となる地震時においては、地震による水平方向荷重が発生することから、自重と水平震度の積を軸力とする。せん断力は自重と合成震度の積にて算出する。このとき、合成震度は 1G 及び鉛直震度を足し合わせたものと水平震度のベクトル和により求める。モーメントは地震荷重の合成震度、RCCV 外側及び内側それぞれの質量合計、重心までのモーメントアームを乗算して求める。

許容応力状態 V_A , V_{AS} においては、電気配線貫通部 (X-300) が水没することから、軸力及びせん断力については水質量による自重の増加を考慮する。

また、最終的に、算出した軸力、せん断力及びモーメントは、1.5 倍の裕度を考慮する。

原子炉格納容器電気配線貫通部の荷重作用方向を図 2-2 に示す。

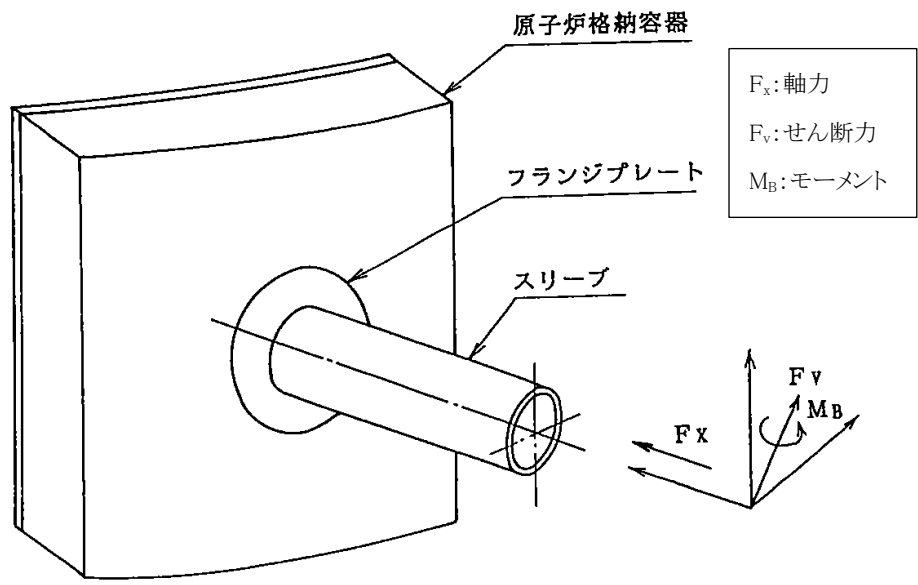


図 2-2 原子炉格納容器電気配線貫通部の荷重作用方向

3. 設計荷重の計算例

3.1 質量

表 3-1 に電気配線貫通部(X-300)を対象とした設計荷重の算定に用いる質量を示す。

表 3-1 電気配線貫通部(X-300)の質量分布

項目	部位	記号	鋼材等質量(kg)	水質量* ¹ (kg)
RCCV 外側	スリーブ	m ₁		
	アダプタ	m ₂		
	電線類・ヘッド	m ₃		
	端子箱	m ₄		
RCCV 内側	スリーブ	m ₅		
	電線類・アダプタ	m ₆		
	フランジ	m ₇		
	端子箱	m ₈		
	エンドシールド	m ₉		
外側合計		m _o		
内側合計		m _i		

注記*1：重大事故等時に考慮する。

*2：重大事故等時に RCCV 内側の電気配線貫通部(X-300)は完全に水没するので、
軸力，せん断力及びモーメントは，水質量に対する影響は受けないものとする。

注：記号は図 2-1 及び表 2-2 の記号に対応している。

3.2 モーメント

各部位に対応するモーメントアーム及び算出モーメント、RCCV 外側、RCCV 内側それぞれの重心までのモーメントを表 3-2 に示す。

表 3-2 電気配線貫通部(X-300)のモーメント

項目	部位	モーメントアーム (mm)			質量 (kg)		モーメント ($\times 10^4$ N・mm)	
		記号	DBA 時	SA 時	DBA 時	SA 時	DBA 時	SA 時
RCCV 外側	スリーブ	l_1					5.737	22.37*
	アダプタ	l_2					7.723	
	電線類・ヘッド	l_3					52.97	52.97
	端子箱	l_4					131.8	131.8
RCCV 内側	スリーブ	l_5					2.550	2.550
	電線類・アダプタ	l_6					14.77	14.77
	フランジ	l_7					4.091	4.091
	端子箱	l_8					121.5	121.5
	エンドシールド	l_9					151.0	151.0
RCCV 外側重心		-					198.2	207.1*
RCCV 内側重心		-					293.9	293.9

注記*：SA 時の RCCV 外側にかかる水荷重分のモーメントを考慮している。

注：単位換算に関する説明は省略している。なお、質量(kg)から力(N)への変換に用いる重力加速度は $9.80665 \text{ (m/s}^2\text{)}$ とする。

3.3 設計荷重の算出

3.1 及び 3.2 にてまとめた質量及びモーメント、並びに 2.1 にてまとめた震度を用いて、2.3 の手法で算出した各許容応力状態における設計荷重を表 3-3 にまとめる。

4. まとめ

原子炉格納容器電気配線貫通部に作用する設計荷重について、その設定方法及びその算出例について示した。

算出過程において設計荷重が保守的となるよう算出を行っており、設計荷重は適切に設定されている。

表 3-3 電気配線貫通部(X-300)の設計荷重

許容応力状態		地震荷重				合計 質量 (kg)	モーメント アーム (mm)	軸力 ($\times 10^3$ N)*	せん断力 ($\times 10^3$ N)*	モーメント ($\times 10^6$ N・mm)*
		地震	水平	鉛直	合成					
I _A , II _A	RCCV 外側	-	-	-	-					2.973
	RCCV 内側	-	-	-	-					4.409
	上記の内最大	-	-	-	-					4.409
III _A S	RCCV 外側*	Sd	0.59	0.56	1.67					4.959
	RCCV 内側*	Sd	0.59	0.56	1.67					7.353
	上記の内最大	-	-	-	-					7.353
IV _A S	RCCV 外側	Ss	1.15	1.11	2.40					7.145
	RCCV 内側	Ss	1.15	1.11	2.40					10.59
	上記の内最大	-	-	-	-					10.59
V _A	RCCV 外側	-	-	-	-					3.107
	RCCV 内側	-	-	-	-					4.409
	上記の内最大	-	-	-	-					4.409
V _A S (SA 後長期)	RCCV 外側*	Sd	0.59	0.56	1.67					5.182
	RCCV 内側*	Sd	0.59	0.56	1.67					7.353
	上記の内最大	-	-	-	-					7.353
V _A S (SA 後長々期)	RCCV 外側	Ss	1.15	1.11	2.40	7.466				
	RCCV 内側	Ss	1.15	1.11	2.40	10.59				
	上記の内最大	-	-	-	-	10.59				

注記*：軸力，せん断力及びモーメントは，算出値に対し 1.5 倍の裕度を考慮した値を記載する。

注：単位換算に関する説明は省略している。なお，質量(kg)から力(N)への変換に用いる重力加速度は 9.80665 (m/s²)とする。