

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7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7 補足-028-10-62-1 改0
提出年月日	2020年8月5日

原子炉格納容器配管貫通部の設計荷重について

1. はじめに

原子炉格納容器配管貫通部は、配管側の設計確定前に設計・評価を行うことから、作用する荷重を予め設計荷重として設定し、評価を行っている。

本資料は、配管貫通部 X-10 を代表に、確定後の配管側の設計に基づく荷重が設計荷重に包絡されることを説明する資料である。

2. 設計荷重の包絡性確認方法

原子炉格納容器配管貫通部には、原子炉格納容器側から作用する配管荷重並びに原子炉建屋及びタービン建屋側から作用する荷重の2種類の荷重がかかる。

これらを合算した配管荷重を許容応力状態に応じて適切に組み合わせることにより、配管貫通部に加わる荷重を算出する。この荷重が V-2-9-2-12「原子炉格納容器配管貫通部の耐震性についての計算書」及び V-3-3-6-1-4-2「原子炉格納容器配管貫通部の強度計算書」に記載の設計荷重を下回ることを確認する。

3. 配管貫通部に加わる荷重の算出

配管貫通部 X-10 を対象に計算過程を示す。

3. 1 設計基準対象施設としての評価条件における配管貫通部に作用する配管荷重

設計基準対象施設としての評価条件（以下「DB条件」という。）における配管貫通部に作用する配管荷重は、V-2-5-2-1-2「管の耐震性についての計算書」及び V-3-3-3-1-1-3-2「管の応力計算書」における解析に基づき設定する。

配管荷重の内訳は各許容応力状態において以下の通りである。

X-10 に接続される主蒸気系配管は4系統あるため、配管解析結果もそれぞれの配管貫通部に対して算出されるが、配管貫通部に加わる配管荷重としては、2系統ごとの包絡値を使用する。

表 3-1 に許容応力状態毎の配管荷重を示し、図 3-1 に荷重作用方向を示す。

・ 一次応力評価

許容応力状態 I_A, II_A : 自重+機械荷重

許容応力状態 III_{AS} : 自重+機械荷重+地震慣性力(S_d^*)

許容応力状態 IV_{AS} : 自重+機械荷重+地震慣性力(S_s)

・ 一次+二次応力評価

許容応力状態 I_A, II_A : 自重+熱膨張+機械荷重

許容応力状態 III_{AS} : 地震慣性力(S_d^*)+地震相対変位(S_d^*)

許容応力状態 IV_{AS} : 地震慣性力(S_s)+地震相対変位(S_s)

表 3-1 配管貫通部に作用する配管荷重

項目		軸力	せん断力	ねじりモーメント	曲げモーメント	
		F_x (kN)	F_y (kN)	M_x (kN・m)	M_B (kN・m)	
許容応力状態 I A, II A	X-10A	一次	251.5	42.3	26.7	87.8
		一次+二次	412.6	150.2	269.0	326.3
	X-10B	一次	272.7	60.2	43.6	114.8
		一次+二次	399.5	123.9	314.5	312.5
	X-10C	一次	263.1	50.7	23.7	98.1
		一次+二次	366.7	105.1	200.7	257.6
	X-10D	一次	271.3	58.0	37.1	114.8
		一次+二次	406.1	130.2	203.8	312.6
許容応力状態 III A S	X-10A	一次	838.3	213.3	178.4	251.9
		一次+二次	768.9	333.6	345.9	345.2
	X-10B	一次	835.4	228.7	246.6	294.9
		一次+二次	737.3	306.8	339.3	351.8
	X-10C	一次	862.0	227.6	184.5	274.7
		一次+二次	1032.6	350.7	387.1	389.0
	X-10D	一次	956.6	240.6	211.6	286.8
		一次+二次	830.1	361.2	398.8	364.1
許容応力状態 IV A S	X-10A	一次	1400.7	384.9	330.0	416.1
		一次+二次	1551.9	683.7	715.9	712.8
	X-10B	一次	1371.7	397.4	440.3	481.8
		一次+二次	1473.2	626.3	690.1	731.7
	X-10C	一次	1438.1	406.1	347.0	470.1
		一次+二次	2104.1	719.3	794.8	821.8
	X-10D	一次	1615.6	422.1	406.0	466.2
		一次+二次	1667.4	741.1	844.5	766.2

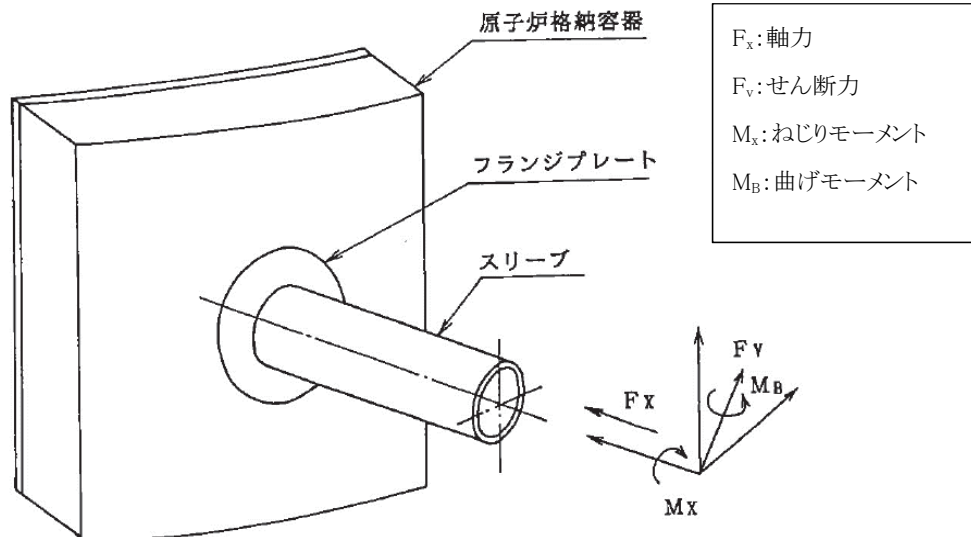


図 3-1 配管貫通部の荷重作用方向

3. 2 重大事故等対処設備としての評価条件における配管貫通部に作用する配管荷重
重大事故等対処設備としての評価条件（以下「SA 条件」という。）における配管貫通部に作用する配管荷重は、以下のように求める。

- ① 死荷重，機械的荷重は，DB 条件における配管荷重を用いる。
- ② 熱膨張による荷重は，DB 条件の熱膨張による配管荷重を以下のように温度補正することによって求める。
 - a. 系統温度が SA 時の格納容器雰囲気温度よりも低い配管
格納容器の内側と外側の系統全体が SA 時の格納容器雰囲気温度の影響を受けるわけではないが，保守的に系統全体が影響を受けたものとして温度補正を行う。
 - b. 系統温度が SA 時の格納容器雰囲気温度よりも高い配管
本書で例示する X-10 のように系統温度が高い配管は格納容器雰囲気温度の影響を受けないため，本来は温度補正が不要であるが，a. と同様に温度補正による荷重の割増を行う。
- ③ 温度補正は，設置位置（ドライウェル(D/W)又はサブプレッションチェンバ(S/C)）に応じた格納容器の雰囲気温度を用いて SA 条件との温度比を考慮する。

今回工認に用いた温度補正式を以下に示す。

(熱膨張による配管荷重 (許容応力状態 V_A))

$$= \{ (\text{許容応力状態 } I_A, II_A \text{ の一次} + \text{二次配管荷重}) - (\text{許容応力状態 } I_A, II_A \text{ の一次配管荷重}) \} \times (\text{温度比})$$

(温度比)

$$= \{ (\text{格納容器雰囲気温度 (SA 条件)}) - (\text{基準温度}) \} / \{ (\text{DB 条件温度}) - (\text{基準温度}) \}$$

ここで，

格納容器雰囲気温度 (SA 条件) : $V_A(S) = 200^\circ\text{C}$, $V_A(L) = 168^\circ\text{C}$, $V_A(LL) = 100^\circ\text{C}$

DB 条件温度 : 格納容器雰囲気温度 (D/W = 57°C , S/C = 35°C) *

基準温度 : 20°C

注記* : 補正処理を簡便にする目的で原則この値を用いるが，一部配管については配管解析における DB 条件温度を使用する。

上式で求めた熱膨張による配管荷重に死荷重及び機械荷重を加え，一次 + 二次応力評価における許容応力状態 V_A の配管荷重を作成する。

表 3-2 に一次 + 二次応力評価における許容応力状態 V_A の配管荷重を示す。

表 3-2 一次+二次応力評価における許容応力状態 V_A の配管荷重

項目		軸力	せん断力	ねじりモーメント	曲げモーメント	
		F_x (kN)	F_v (kN)	M_x (kN・m)	M_b (kN・m)	
許容応力状態 V_A (一次+二次)	X-10A	VA(S)	1035.2	585.1	1205.6	1289.9
		VA(L)	895.8	487.6	996.0	1073.8
		VA(LL)	599.8	280.5	550.6	615.1
	X-10B	VA(S)	889.3	386.8	1361.2	1094.2
		VA(L)	779.7	327.6	1126.9	919.0
		VA(LL)	546.7	202.1	629.2	547.0
	X-10C	VA(S)	766.8	336.6	884.8	874.5
		VA(L)	677.3	284.3	731.7	736.4
		VA(LL)	487.0	173.7	406.4	443.0
	X-10D	VA(S)	927.0	411.3	848.2	1081.8
		VA(L)	810.4	348.4	704.0	909.6
		VA(LL)	562.7	214.6	397.6	543.6

3. 3 荷重の組合せ

表 3-1 及び表 3-2 の配管荷重を表 3-3 の組合せで合算し、配管貫通部に作用する荷重を求める。

表 3-3 荷重の組合せ

許容応力状態	配管荷重			
	許容応力 状態 I_A, II_A	許容応力 状態 III_{AS}	許容応力 状態 IV_{AS}	温度補正
I_A, II_A	○			
III_{AS}		○		
IV_{AS}			○	
V_A	○			○
V_{AS} (SA 後長期)		○		
V_{AS} (SA 後長々期)			○	

4. 設計荷重の包絡性確認

3. 3の組合せに従って合算した結果を、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備に用いるものを表 4-3 に示す。

また、V-2-9-2-12「原子炉格納容器配管貫通部の耐震性についての計算書」及びV-3-3-6-1-4-2「原子炉格納容器配管貫通部の強度計算書」に記載の設計荷重を設計基準対象施設の評価に用いるものについて整理したものを表 4-2 に、重大事故等対処設備に用いるものを整理したものを表 4-4 に示す。

表 4-1 は表 4-2 の、表 4-3 は表 4-4 の値に包絡されていることから、設計荷重は配管貫通部 (X-10) に作用する荷重を包絡している。

5. まとめ

配管貫通部 X-10 に作用する荷重を包絡していることから、V-2-9-2-12「原子炉格納容器配管貫通部の耐震性についての計算書」及びV-3-3-6-1-4-2「原子炉格納容器配管貫通部の強度計算書」に記載の設計荷重は妥当である。

他の貫通部についても、設計が完了していない配管が接続される貫通部（X-60, 70, 170）を除いて同様に設計荷重の包絡性確認を実施している。

なお、設計が完了していない配管が接続される貫通部については、配管荷重が設計荷重以内となるよう設計を行うとともに、設計完了後に包絡性を確認する。

以上

表 4-1 確定後の配管反力による荷重（設計基準対象施設）

貫通部 番号	許容応力 状態	一次荷重				一次+二次荷重			
		垂直力 (N)		モーメント (N・mm)		垂直力 (N)		モーメント (N・mm)	
		F _X	F _V	M _X	M _B	F _X	F _V	M _X	M _B
X-10A, D	I _A , II _A	2.72E+05	5.80E+04	3.71E+07	1.15E+08	4.13E+05	1.51E+05	2.69E+08	3.27E+08
	III _A S	9.57E+05	2.41E+05	2.12E+08	2.87E+08	8.31E+05	3.62E+05	3.99E+08	3.65E+08
	IV _A S	1.62E+06	4.23E+05	4.06E+08	4.67E+08	1.67E+06	7.42E+05	8.45E+08	7.67E+08
X-10B, C	I _A , II _A	2.73E+05	6.02E+04	4.36E+07	1.15E+08	4.00E+05	1.24E+05	3.15E+08	3.13E+08
	III _A S	8.62E+05	2.29E+05	2.47E+08	2.95E+08	1.04E+06	3.51E+05	3.88E+08	3.89E+08
	IV _A S	1.44E+06	4.07E+05	4.41E+08	4.82E+08	2.11E+06	7.20E+05	7.95E+08	8.22E+08

表 4-2 配管貫通部に作用する荷重（設計荷重）（設計基準対象施設）

貫通部 番号	許容応力 状態	一次荷重				一次+二次荷重			
		垂直力 (N)		モーメント (N・mm)		垂直力 (N)		モーメント (N・mm)	
		F _X	F _V	M _X	M _B	F _X	F _V	M _X	M _B
X-10A, D	I _A , II _A	3.94E+05	8.41E+04	5.38E+07	1.67E+08	6.00E+05	2.20E+05	3.89E+08	4.77E+08
	III _A S	1.54E+06	3.73E+05	3.47E+08	4.31E+08	1.33E+06	4.82E+05	5.24E+08	4.78E+08
	IV _A S	2.65E+06	6.67E+05	6.71E+08	7.08E+08	2.66E+06	9.72E+05	1.09E+09	9.92E+08
X-10B, C	I _A , II _A	3.96E+05	8.73E+04	6.33E+07	1.67E+08	5.80E+05	1.80E+05	4.56E+08	4.54E+08
	III _A S	1.37E+06	3.49E+05	4.08E+08	4.40E+08	1.49E+06	4.65E+05	5.25E+08	5.06E+08
	IV _A S	2.35E+06	6.36E+05	7.31E+08	7.27E+08	3.01E+06	9.38E+05	1.07E+09	1.06E+09

表 4-3 確定後の配管反力による荷重（重大事故等対処設備）

貫通部 番号	許容応力 状態	一次荷重				一次+二次荷重			
		垂直力 (N)		モーメント (N・mm)		垂直力 (N)		モーメント (N・mm)	
		F _X	F _V	M _X	M _B	F _X	F _V	M _X	M _B
X-10A, D	重大事故等時	2.72E+05	5.80E+04	3.71E+07	1.15E+08	1.04E+06	5.86E+05	1.21E+09	1.29E+09
	V _A *	2.72E+05	5.80E+04	3.71E+07	1.15E+08	8.96E+05	4.88E+05	9.96E+08	1.08E+09
		2.72E+05	5.80E+04	3.71E+07	1.15E+08	6.00E+05	2.81E+05	5.51E+08	6.16E+08
V _A S*	9.57E+05	2.41E+05	2.12E+08	2.87E+08	8.31E+05	3.62E+05	3.99E+08	3.65E+08	
	1.62E+06	4.23E+05	4.06E+08	4.67E+08	1.67E+06	7.42E+05	8.45E+08	7.67E+08	
X-10B, C	重大事故等時	2.73E+05	6.02E+04	4.36E+07	1.15E+08	8.90E+05	3.87E+05	1.37E+09	1.10E+09
	V _A *	2.73E+05	6.02E+04	4.36E+07	1.15E+08	7.80E+05	3.28E+05	1.13E+09	9.19E+08
		2.73E+05	6.02E+04	4.36E+07	1.15E+08	5.47E+05	2.03E+05	6.30E+08	5.47E+08
V _A S*	8.62E+05	2.29E+05	2.47E+08	2.95E+08	1.04E+06	3.51E+05	3.88E+08	3.89E+08	
	1.44E+06	4.07E+05	4.41E+08	4.82E+08	2.11E+06	7.20E+05	7.95E+08	8.22E+08	

注記*：上段はS A後長期設計荷重，下段はS A後長々期設計荷重を示す。

表 4-4 配管貫通部に作用する荷重（設計荷重）（重大事故等対処設備）

貫通部 番号	許容応力 状態	一次荷重				一次+二次荷重			
		垂直力 (N)		モーメント (N・mm)		垂直力 (N)		モーメント (N・mm)	
		F _X	F _V	M _X	M _B	F _X	F _V	M _X	M _B
X-10A, D	重大事故等時	3.94E+05	8.41E+04	5.38E+07	1.67E+08	1.51E+06	8.50E+05	1.75E+09	1.88E+09
	V _A *	3.94E+05	8.41E+04	5.38E+07	1.67E+08	1.31E+06	7.09E+05	1.45E+09	1.56E+09
		3.94E+05	8.41E+04	5.38E+07	1.67E+08	8.72E+05	4.08E+05	7.97E+08	8.95E+08
V _A S*	1.54E+06	3.73E+05	3.47E+08	4.31E+08	1.33E+06	4.82E+05	5.24E+08	4.78E+08	
	2.65E+06	6.67E+05	6.71E+08	7.08E+08	2.66E+06	9.72E+05	1.09E+09	9.92E+08	
X-10B, C	重大事故等時	3.96E+05	8.73E+04	6.33E+07	1.67E+08	1.30E+06	5.61E+05	1.98E+09	1.59E+09
	V _A *	3.96E+05	8.73E+04	6.33E+07	1.67E+08	1.14E+06	4.75E+05	1.64E+09	1.34E+09
		3.96E+05	8.73E+04	6.33E+07	1.67E+08	7.95E+05	2.93E+05	9.12E+08	7.93E+08
V _A S*	1.37E+06	3.49E+05	4.08E+08	4.40E+08	1.49E+06	4.65E+05	5.25E+08	5.06E+08	
	2.35E+06	6.36E+05	7.31E+08	7.27E+08	3.01E+06	9.38E+05	1.07E+09	1.06E+09	

注記*：上段はS A後長期設計荷重，下段はS A後長々期設計荷重を示す。