

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-19-0431_改1
提出年月日	2021年10月12日

VI-2-9-4-4-4-1 管の耐震性についての計算書
(可搬型窒素ガス供給系)

02 ⑤ VI-2-9-4-4-4-1 R0

2021年10月

東北電力株式会社

重大事故等対処設備

目次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	8
3.1 計算方法	8
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	9
3.3 設計条件	10
3.4 材料及び許容応力評価条件	18
3.5 設計用地震力	19
4. 解析結果及び評価	20
4.1 固有周期及び設計震度	20
4.2 評価結果	26
4.2.1 管の応力評価結果	26
4.2.2 支持構造物評価結果	27
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	28
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	29

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、可搬型窒素ガス供給系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全4モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。




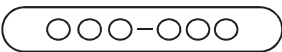
(3) 弁

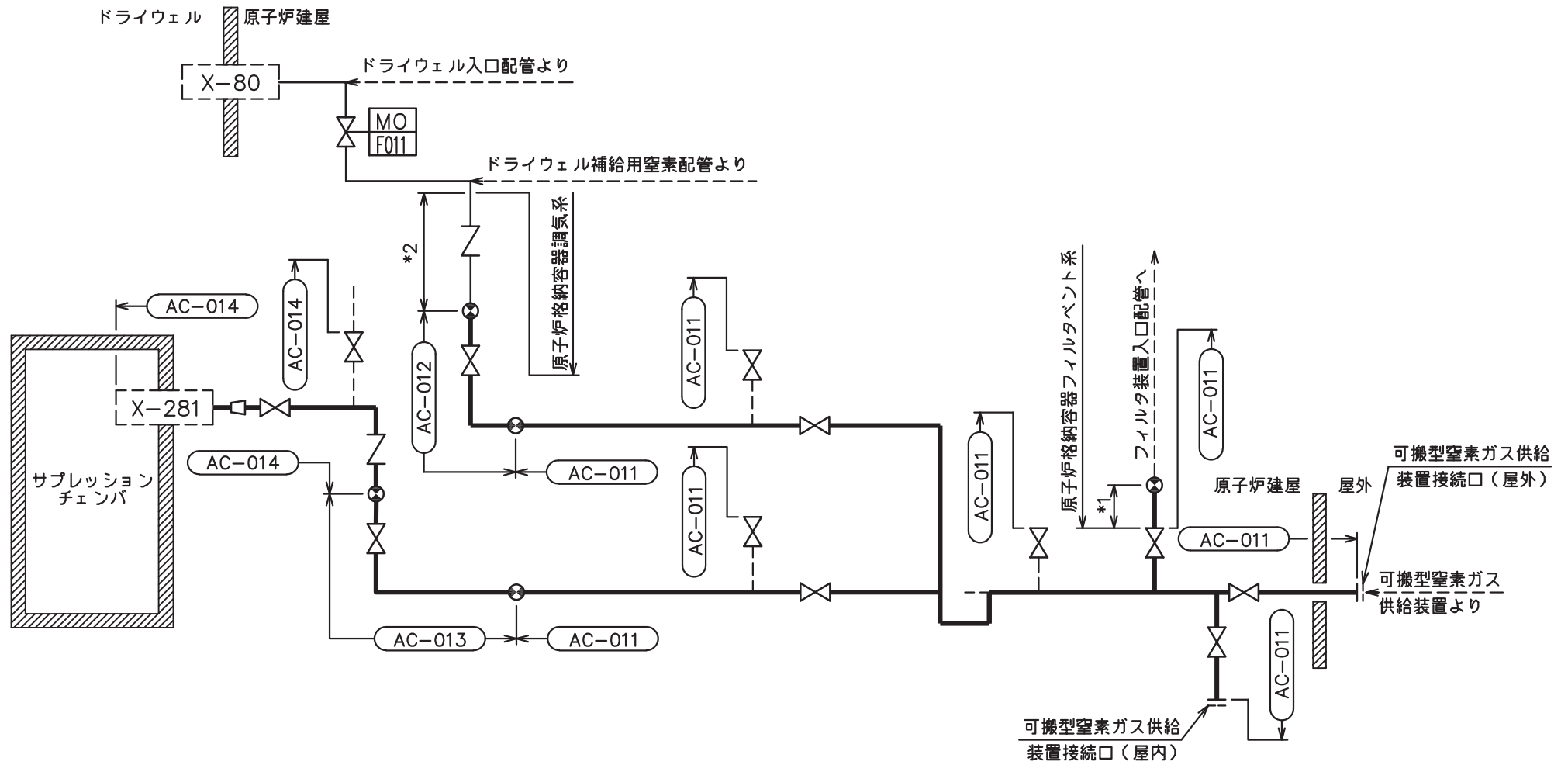
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ




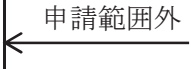




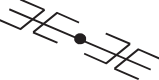

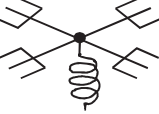
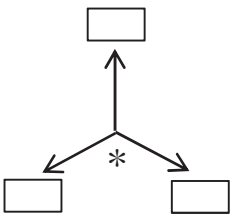
注記 *1：原子炉格納容器フィルタベント系
解析モデル上本系統に含める。

*2：解析モデル上
原子炉格納容器調気系に含める。

可搬型窒素ガス供給系概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	<p>工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管</p>
	<p>工事計画記載範囲外の管</p>
	<p>工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルとして本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>ガイド</p>
	<p>拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号，矢印は拘束方向を示す。また，<input type="text"/> 内に 変位量を記載する。)</p>

5

鳥瞰図	AC-014-1/3
-----	------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

9

鳥瞰図 AC-014-2/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

7

鳥瞰図	AC-014-3/3
-----	------------

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「I S A P」及び「S A P-V」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*3, *4	許容応力状態*5
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	可搬型窒素ガス供給系	SA	常設/緩和	重大事故等クラス2管	—	$V_L(L) + S_d$	V_{AS}
							$V_L(LL) + S_s$	
							$V_L + S_s$	
原子炉格納施設	放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備	原子炉格納容器フィルタベント系	SA	常設/緩和	重大事故等クラス2管	—	$V_L(L) + S_d$	V_{AS}
							$V_L(LL) + S_s$	
							$V_L + S_s$	
原子炉格納施設	圧力逃がし装置	原子炉格納容器フィルタベント系	SA	常設耐震/防止 常設/緩和	重大事故等クラス2管	—	$V_L(L) + S_d$	V_{AS}
							$V_L(LL) + S_s$	
							$V_L + S_s$	
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	原子炉格納容器フィルタベント系	SA	常設耐震/防止	重大事故等クラス2管	—	$V_L(L) + S_d$	V_{AS}
							$V_L(LL) + S_s$	
							$V_L + S_s$	

注記*1: DBは設計基準対象施設, SAは重大事故等対処設備を示す。

*2: 「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備, 「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

*3: 運転状態の添字Lは荷重, (L)は荷重が長期間作用している状態, (LL)は(L)より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

*4: 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5: 許容応力状態 V_{AS} は許容応力状態 IV_{AS} の許容限界を使用し, 許容応力状態 IV_{AS} として評価を実施する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 A C - 0 1 4

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	854kPa (0.854MPa)	66	60.5	5.5	STS410	—	200360
2	854kPa (0.854MPa)	200	60.5	5.5	STS410	—	191000
3	854kPa (0.854MPa)	200	34.0	4.5	STS410	—	191000
4	854kPa (0.854MPa)	200	34.0	3.4	SUS316LTP	—	183000

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 A C - 0 1 4

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
2	143														
	107	108	109	110	111	112	114	115	116	117	118	119	120	121	122
3	123	124	125	142											
	125	126	127	128	129										
4	129	130	131	132											

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 A C - 0 1 4

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		27		53		79		108	
2		28		54		80		109	
3		29		55		81		110	
4		30		56		82		111	
5		31		57		83		115	
6		32		58		84		116	
7		33		59		85		117	
8		34		60		86		118	
9		35		61		87		119	
10		36		62		88		120	
11		37		63		89		121	
12		38		64		90		122	
13		39		65		91		123	
14		40		66		92		124	
15		41		67		93		125	
16		42		68		94		126	
17		43		69		95		127	
18		44		70		96		128	
19		45		71		97		129	
20		46		72		98		130	
21		47		73		99		131	
22		48		74		100		132	
23		49		75		101		142	
24		50		76		102		143	
25		51		77		103			
26		52		78		104			

O 2 ⑤ VI-2-9-4-4-4-1 (重) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥 瞰 図 AC-014

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

弁 2

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
105		112	
106		113	
107		114	
	135		
	136		

鳥 瞰 図 A C - 0 1 4

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	106			
弁2	113			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 AC-014

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1						
8						
** 8 **						
10						
** 10 **						
12						
** 12 **						
17						
** 17 **						
24						
** 24 **						
31						
** 31 **						
33						
** 33 **						
35						
** 35 **						
44						
46						
48						
50						
53						
62						
** 62 **						
64						
** 64 **						
66						
** 66 **						

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 AC-014

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
** 69 **						
76						
** 76 **						
78						
** 78 **						
80						
** 80 **						
82						
** 82 **						
** 89 **						
92						
** 92 **						
94						
** 94 **						
** 96 **						
111						
115						
120						
** 120 **						
122						
** 122 **						
** 133 **						

[Redacted area]

O 2 ⑤ VI-2-9-4-4-4-1 (重) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 AC-014

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
136						
142						
143						

3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _h (MPa)
STS410	66	—	231	407	—
	200	—	207	404	—
SUS316LTP	200	—	120	407	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
A C - 0 1 4	原子炉建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 AC-014

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X 方向	Z 方向	Y 方向	X 方向	Z 方向	Y 方向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次							
6 次*2							
動的震度*3							
静的震度*4							

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

*2：固有周期が0.050 s 以下であることを示す。

*3：S d 又は S s 地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。

*4： $3.6C_I$ 及び $1.2C_V$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 AC-014

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X 方向	Y 方向	Z 方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				

注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。

鳥瞰図 AC-014

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

鳥瞰図 AC-014

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

25

鳥瞰図 AC-014

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力	許容応力	計算応力	許容応力	疲労累積係数
				$S_{p r m}(S s)$	$0.9 \cdot S_u$	$S_n(S s)$	$2 \cdot S_y$	$U S s$
AC-014	$V_A S$	40	$S_{p r m}(S s)$	146	366	—	—	—
	$V_A S$	40	$S_n(S s)$	—	—	291	462	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
AC-011-051B	ロッドレストレイント	RTS-06	添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐 震計算について」参照		2	9
AC-014-136SA	メカニカルスナップ	SMS-06-100			2	9
AC-014-136SB	メカニカルスナップ	SMS-06-100			3	9

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力(kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
AC-013-070A	アンカ	ラグ	SGV410	66	4	5	11	2	2	1	曲げ	154	490
AC-014-053R	レストレイント	Uボルト	SS400	130	2	0	5	—	—	—	せん断	77	147

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果



弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
			水平	鉛直	水平	鉛直
—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管モデル	許容応力状態 V A S												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労 累積 係数	代表
1	AC-011	134	82	366	4.46	—	134	179	462	2.58	—	—	—	—
2	AC-012	71	26	366	14.07	—	1	101	462	4.57	—	—	—	—
3	AC-013	13	29	366	12.62	—	11	71	462	6.50	—	—	—	—
4	AC-014	40	146	366	2.50	○	40	291	462	1.58	○	—	—	—