

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-19-0414_改1
提出年月日	2021年10月12日

VI-2-8-3-2-2 管の耐震性についての計算書（緊急時対策所換気空調系）

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	13
3.1	計算方法	13
3.2	荷重の組合せ及び許容応力状態	14
3.3	設計条件	15
3.4	材料及び許容応力評価条件	24
3.5	設計用地震力	25
4.	解析結果及び評価	27
4.1	固有周期及び設計震度	27
4.2	評価結果	33
4.2.1	管の応力評価結果	33
4.2.2	支持構造物評価結果	35
4.2.3	弁の動的機能維持評価結果	36
4.2.4	代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	37

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、緊急時対策所換気空調系の管、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13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。



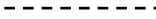
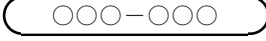

(3) 弁

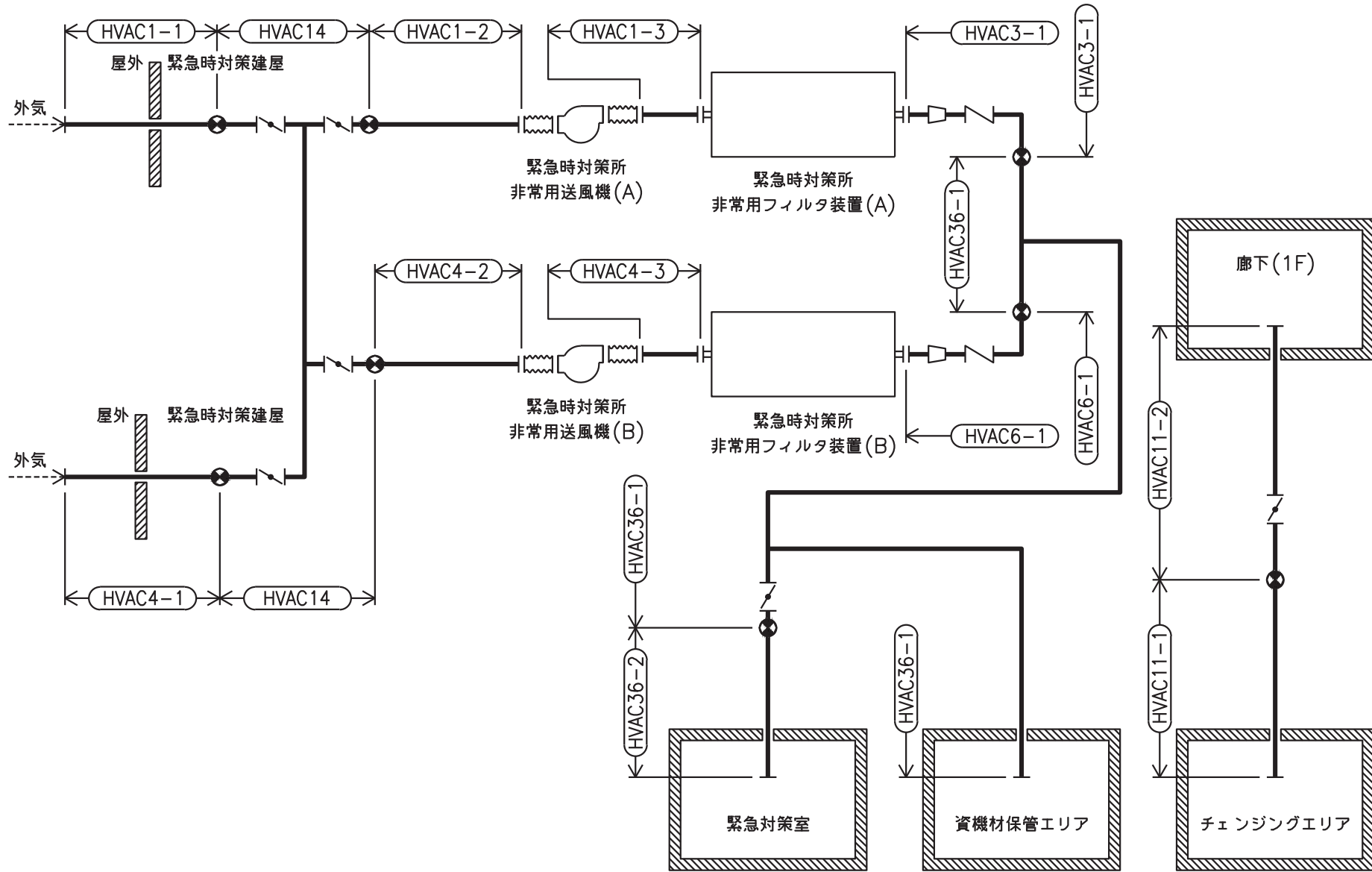
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

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


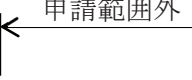


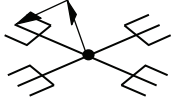
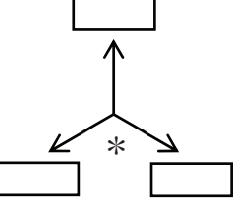
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ



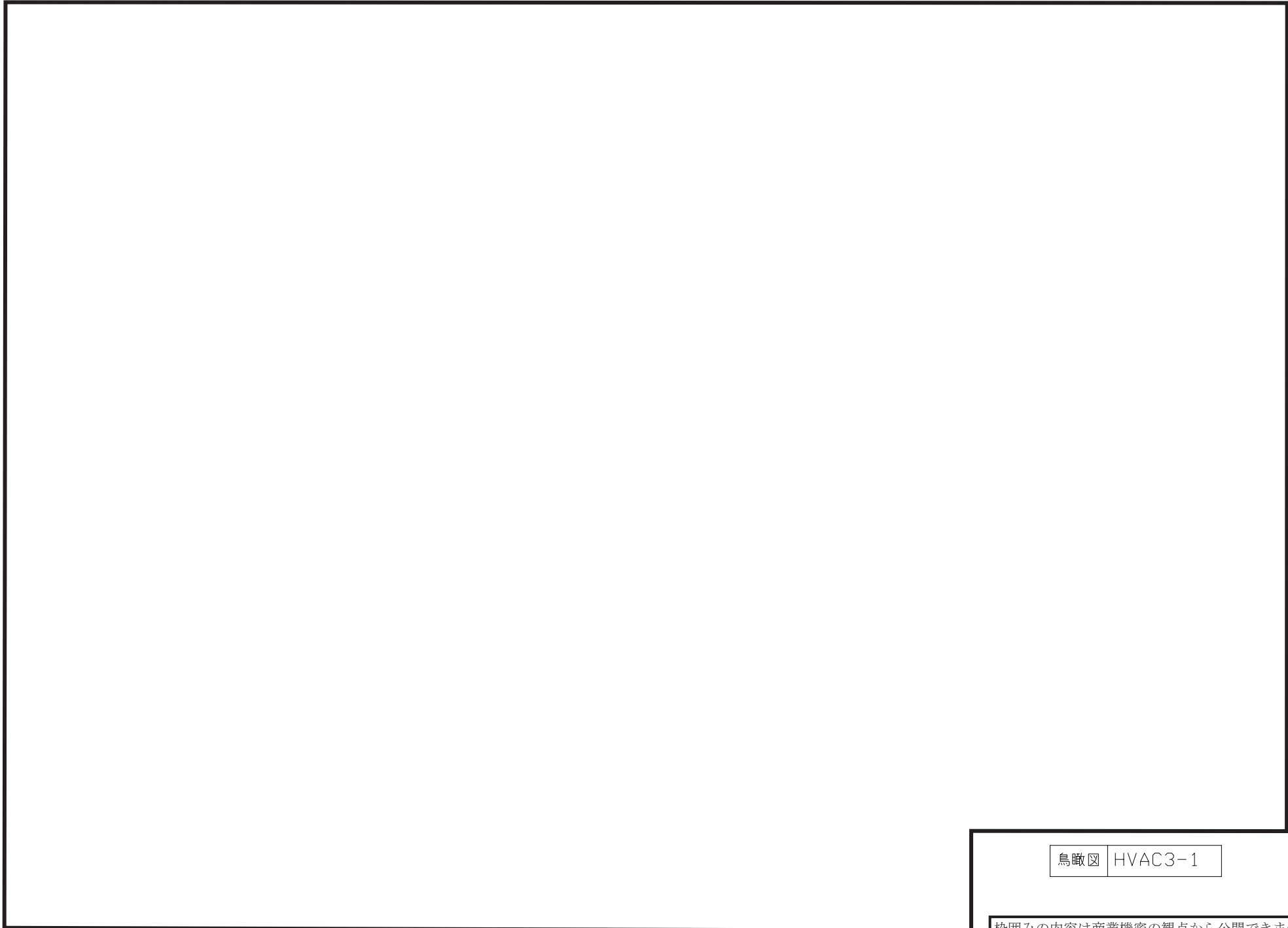
緊急時対策所換気空調系概略系統図(その1)

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>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。)</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>

O 2 ③ VI-2-8-3-2-2 (重) R 0



鳥瞰図 HVAC3-1

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 HVAC14<1/7>

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 HVAC14(2/7)

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 HVAC14(3/7)

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 HVAC14(4/7)

鳥瞰図 HVAC14(5/7)

鳥瞰図 HVAC14(6/7)

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 HVAC14(7/7)

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、「SOLVER」及び「NX NASTRAN」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
放射線管理施設	換気設備	緊急時対策所 換気空調系	SA	常設／緩和	重大事故等 クラス2管	—	$V_L + S_s$	V_{AS}

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を示す。

*3：運転状態の添字Lは荷重を示す。

*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 H V A C 3 - 1

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	0.005	40	318.5	10.3	STS410	—	201670
2	0.005	40	267.4	9.3	STS410	—	201670

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 H V A C 3 - 1

管名称	対応する評価点									
1	1	2	3							
2	3	4	5	6	8	9				

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 HVAC 3-1

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)
1		3		5	
2		4		9	

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
6	
7	
8	

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	7			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 HVAC 3-1

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						
9						

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 H V A C 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	0.005	40	267.4	9.3	STS410	—	201670

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 H V A C 1 4

管名称	対応する評価点													
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	14	
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
	28	29	30	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	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	
	95	96	97	98	99	101	102							

配管の質量（付加質量含む）

鳥 瞰 図 HVAC14

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		22		43		61		79	
2		23		44		62		80	
3		24		45		63		81	
4		25		46		64		82	
5		26		47		65		86	
6		27		48		66		87	
7		28		49		67		88	
8		29		50		68		89	
9		33		51		69		90	
10		34		52		70		91	
14		35		53		71		92	
15		36		54		72		93	
16		37		55		73		94	
17		38		56		74		95	
18		39		57		75		96	
19		40		58		76		97	
20		41		59		77		98	
21		42		60		78		102	

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)
11		83	
12		84	
13		85	
103		107	
104		108	
106		110	

弁 3

弁 4

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
30		99	
31		100	
32		101	

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	12			
弁 2	84			
弁 3	31			
弁 4	100			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 HVAC14

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						
4						
7						
14						
19						
25						
33						
35						
40						
42						
47						
49						
51						
53						
58						
61						
64						
66						
71						
73						
75						
80						
86						
89						
92						
94						
96						
102						
105						
109						

O2 ③ VI-2-8-3-2-2 (重) R0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

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	40	—	245	410	—

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	建屋・構築物	標高 (O. P. (m))	減衰定数 (%)
HVAC 3-1	緊急時対策建屋		

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	建屋・構築物	標高 (O. P. (m))	減衰定数 (%)
HVAC 1 4	緊急時対策建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 HVAC 3-1

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								
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。

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 HVAC3-1

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

解析結果及び評価

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 HVAC 1 4

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								
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。

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 HVAC14

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 $S_{pr m} (S_s)$	許容応力 $0.9 S_u$	計算応力 $S_n (S_s)$	許容応力 $2 S_y$	疲労累積係数 $U S_s$
HVAC 3-1	$V_A S$	1	$S_{pr m} (S_s)$	22	369	—	—	—
	$V_A S$	1	$S_n (S_s)$	—	—	84	490	—

評価結果

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 S p r m (S s)	許容応力 0.9S u	計算応力 S n (S s)	許容応力 2S y	疲労累積係数 U S s
HVAC14	V _A S	33	S p r m (S s)	32	369	—	—	—
	V _A S	33	S n (S s)	—	—	60	490	—

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)
—	—	—	—	—	—	—

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			
K11003-404	レストレイント	ラグ	SM400B	50	11	6	20	—	—	—	組合せ	106	121
K11003-402	アンカ	ラグ	SM400B	50	27	21	27	20	5	20	組合せ	117	422

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	型式	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 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—

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	HVAC1-1	6	21	369	17.57	—	6	32	490	15.31	—	—	—	—
2	HVAC1-2	2	10	369	36.90	—	2	14	490	35.00	—	—	—	—
3	HVAC1-3	4	4	369	92.25	—	4	6	490	81.66	—	—	—	—
4	HVAC3-1	1	22	369	16.77	—	1	84	490	5.83	○*	—	—	—
5	HVAC4-1	6	21	369	17.57	—	6	32	490	15.31	—	—	—	—
6	HVAC4-2	1	7	369	52.71	—	1	10	490	49.00	—	—	—	—
7	HVAC4-3	4	4	369	92.25	—	4	6	490	81.66	—	—	—	—
8	HVAC6-1	1	22	369	16.77	—	1	84	490	5.83	—*	—	—	—

* : HVAC3-1とHVAC6-1は同一構造であり、設置建屋及び標高も同じ解析モデルのため、同じ評価結果である。

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
9	HVAC11-1	1	6	369	61.50	—	1	12	490	40.83	—	—	—	—
10	HVAC11-2	1	14	369	26.35	—	1	40	490	12.25	—	—	—	—
11	HVAC14	33	32	369	11.53	○	33	60	490	8.16	—	—	—	—
12	HVAC36-1	80	24	369	15.37	—	6	43	490	11.39	—	—	—	—
13	HVAC36-2	1	12	369	30.75	—	1	6	490	81.66	—	—	—	—