

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-19-0189_改1
提出年月日	2021年9月7日

VI-2-別添 2-7 タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の耐震性についての計算書

2021年9月

東北電力株式会社

設計基準対象施設

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
2.3	構造計画	8
3.	計算条件	9
3.1	計算方法	9
3.2	荷重の組合せ及び許容応力状態	10
3.3	設計条件	11
3.4	材料及び許容応力	16
3.5	設計用地震力	17
4.	解析結果及び評価	18
4.1	固有周期及び設計震度	18
4.2	評価結果	24
4.2.1	管の応力評価結果	24
4.2.2	支持構造物評価結果	25
4.2.3	弁の動的機能維持評価結果	26
4.2.4	代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	28

1. 概要

本計算書は、添付資料「VI-2-別添 2-1 溢水防護に係る施設の耐震計算の方針」に従い、溢水量低減を目的として、タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁が基準地震動 S_s に対して十分に動的機能を維持していることを確認するものである。

タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁は、設計基準対象施設においては C クラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁は、タービン補機冷却海水系配管に設置される弁であり、配管と合わせて耐震評価を実施することから、添付資料「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。）に基づき評価を実施する。

評価結果記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

概略系統図に示す配管の評価対象部位のうち、各応力区分における最大応力評価点評価結果を記載する。また、全 3 弁をひとつの配管系として解析モデルを作成し、各応力区分における許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる部位を代表として計算条件及び評価結果を記載する。

(2) 支持構造物

対象配管の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持構造物の評価結果を代表として記載する。



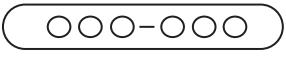

(3) 弁

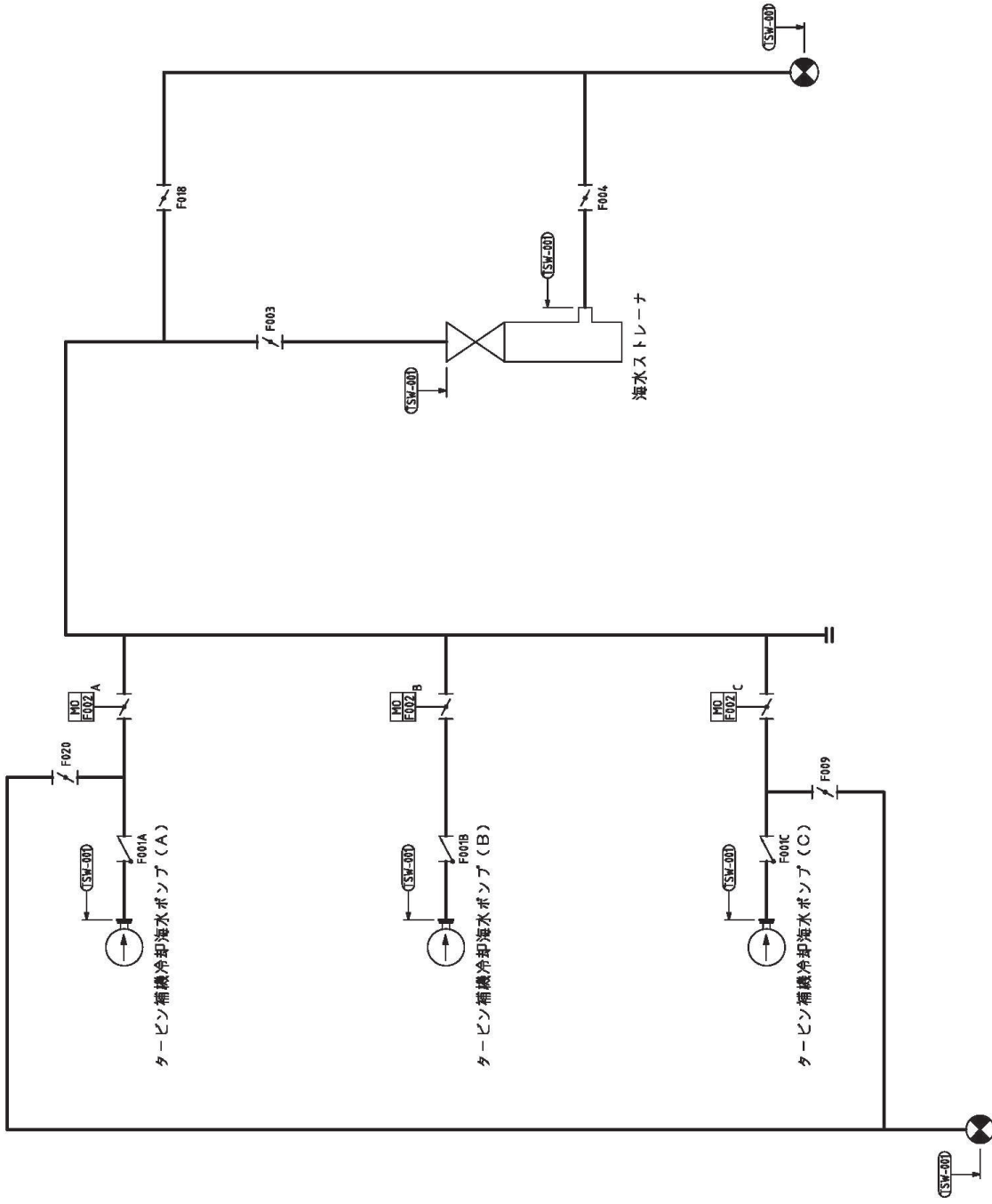
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

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




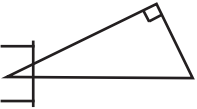

記号	内容
 (太線)	本計算書に評価結果を添付する配管（基準地震動 S_s による地震力に対して、十分な耐震性を有することを評価する範囲）
 (破線)	本計算書に評価結果を添付しない配管で計算モデルの概略を示すために表記する配管
	鳥瞰図番号
	アンカ

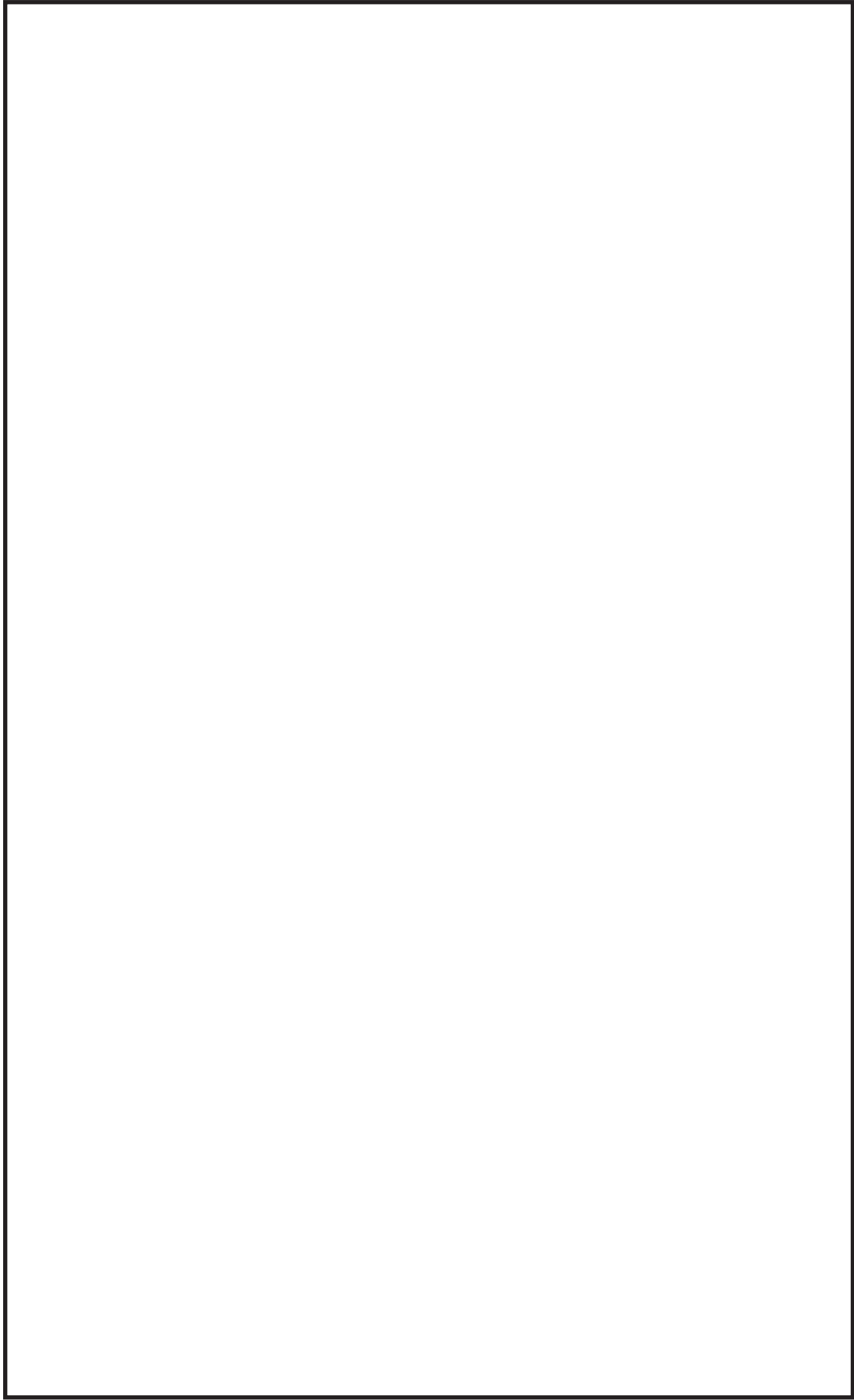


タービン補機冷却海水系概略系統図

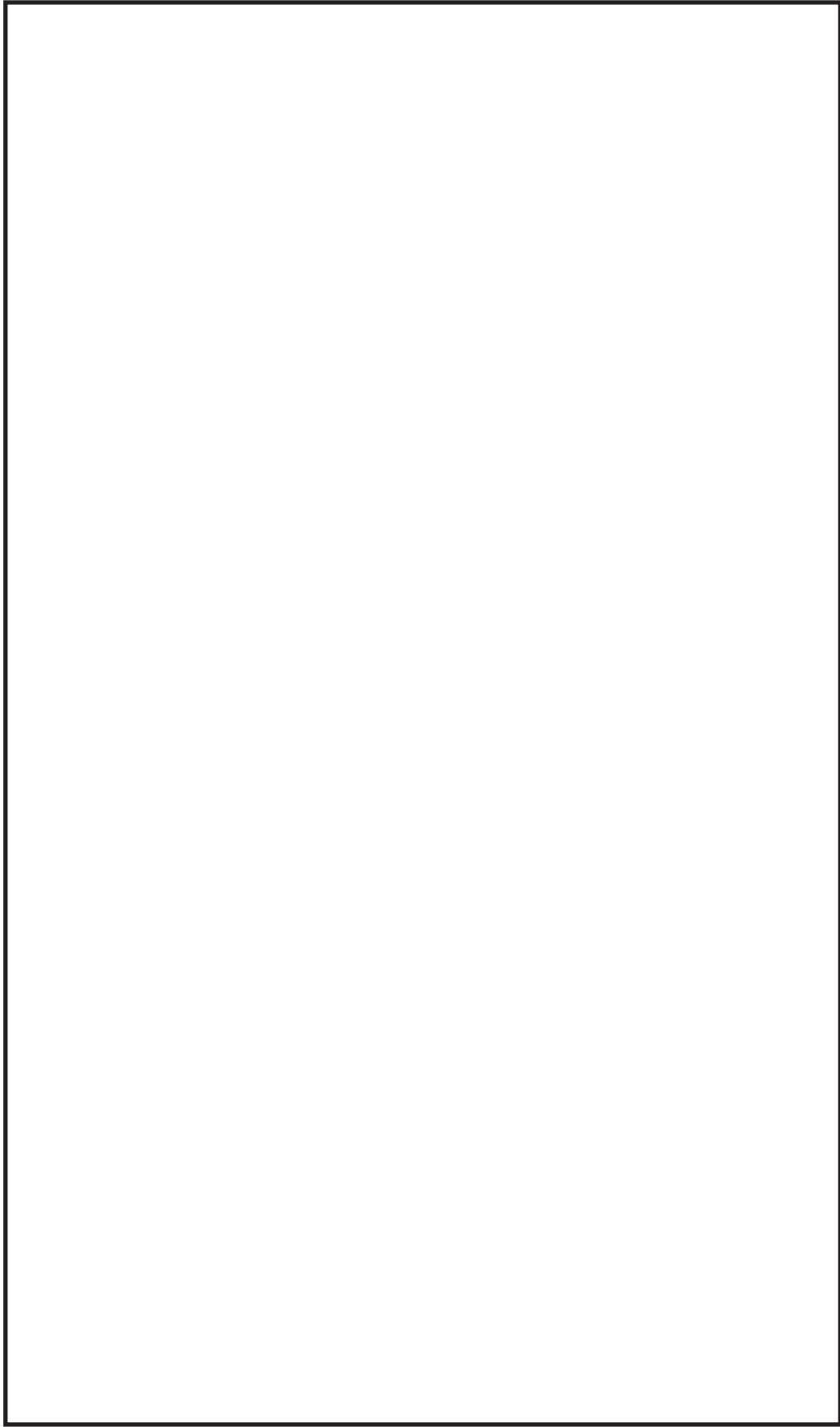
2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

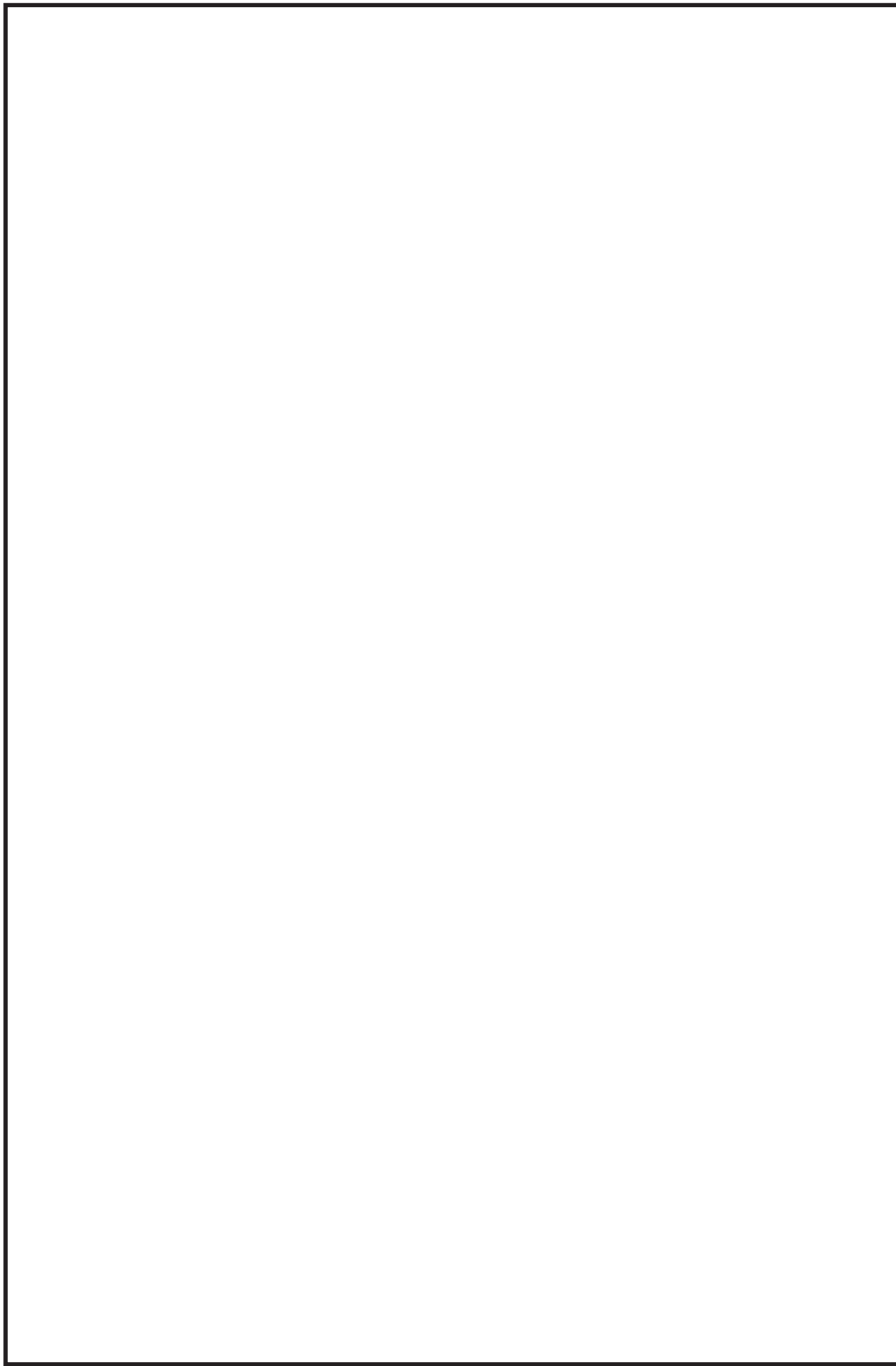
記号	内容
 (太線)	概略系統図記載の管のうち、本計算書に評価結果を添付する配管
 (破線)	概略系統図記載の管のうち基準地震動 S_s に対し機能維持を期待しない範囲の管であって解析モデルの概略を示すために表記する配管
	質点
	レストレイント (本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。)
	アンカ



鳥瞰図	TSW-001 (1/3)
-----	---------------



鳥瞰図	TSW-001 (2/3)
-----	---------------



鳥瞰図	TSW-001 (3/3)
-----	---------------

2.3 構造計画

タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁は、電動バタフライ弁であり、弁体を回転し弁座に密着することで止水する。電動バタフライ弁の構造計画を下表に示す。

構造計画

設備名称	計画の概要			概略構造図
	型式	主体構造	支持構造	
タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁	電動バタフライ弁	弁体を含む弁本体，弁体を電動にて駆動する駆動部で構成される。	タービン補機冷却海水系配管に設置され，配管にて支持される。配管については，支持構造物にて支持される。	

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、「AutoPIPE」、「NAPF」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	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*2,3	許容応力状態
—	—	タービン補機 冷却海水系	DB	—	—	C	I _L +S s II _L +S s	III _A 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：運転状態の添字Lは荷重を示す。

*3：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。

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 TSW-001

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	0.69	41	762.0	9.5	SM400B	C	201600
2	0.69	41	762.0	12.7	SM400B	C	201600
3	0.69	41	558.8	9.5	SM400B	C	201600
4	0.69	41	558.8	12.7	SM400B	C	201600
5	0.69	41	406.4	9.5	SM400B	C	201600
6	0.69	41	406.4	12.7	STPT370	C	201600
7	0.69	41	406.4	12.7	SM400B	C	201600

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 TSW-001

管名称	対応する評価点
1	D01～D07, D09～D17, D19～D21, D16～E01, E03～E07, E09～E47, E08～H01, H03～H04
2	C01～D01, D07～D09, E07～E09
3	A00～A01, A08～C00, D04～F05, F07～F09, F11～F12, D08～G01, G07～G08
4	A03～A06, G03～G05
5	A05～B11, B14～B56
6	B55～B14, i01～i05, i07～G09
7	B11～B55, B54～i01

フランジ部の質量

鳥瞰図 TSW-001

質量	対応する評価点
49kg	A00, A01, A03, A06, A08, F01, F03, F05, F07, F09, F11, F12, G01, G03, G05, G07, G08
26kg	B01, B03, B06, B08, B09, B11, B14, B16, B20, B24, B28, B30, B32, B34, B55, i01, i03, i05, i07
248kg	C01
87kg	C01, D01, D03, D05, D07, D09, D11, D13, D15, D17, D19, D21, E01, E03, E05, E07, E09, E12, E14
87kg	E17, E19, E23, H01, H03, H04

弁部の寸法

鳥瞰図 TSW-001

評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)	評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)
D17～D19, H01～H03, E01～E03	762.0	190.5	280	L01～L02, K01～K02, J01～J02	140.0	28.5	348
G01～G03, F05～F07, A06～A08	606.0	20.0	230	G05～G07, F09～F11, A01～A03	558.8	139.7	1067
G02～L01, F06～K01, A07～J01	606.0	20.0	303	B01～B03, i05～i07	406.4	101.6	180

弁部の質量

鳥瞰図 TSW-001

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
1320kg	D18, H02, E02	260kg	L02, K02, J02
461kg	G02, F06, A07	1500kg	G06, F10, A02
24kg	L01, K01, J01	325kg	B02, i06

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図 TSW-001

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・m/deg)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
B04	-	3.77×10^4	-	-	-	-
B12	5.68×10^5	2.96×10^5	-	-	-	-
B40	-	-	8.05×10^5	-	-	-
B18	-	2.96×10^5	5.68×10^5	-	-	-
B27	9.94×10^5	6.13×10^5	6.05×10^5	-	-	-
B33	7.14×10^5	-	8.66×10^5	-	-	-
D02	-	2.67×10^5	-	-	-	-
D06	7.94×10^4	4.71×10^5	1.91×10^5	-	-	-
D12	1.54×10^5	3.30×10^5	-	-	-	-
D20	-	1.79×10^5	1.04×10^5	-	-	-
E10	-	1.80×10^5	1.19×10^5	-	-	-
E21	3.40×10^5	-	4.69×10^5	-	-	-
E47	8.83×10^5	2.11×10^6	4.54×10^6	2.44×10^{11}	1.55×10^{12}	7.06×10^{11}
B56	9.19×10^5	1.03×10^6	1.71×10^6	6.83×10^{10}	2.00×10^{11}	1.38×10^{11}

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S _m	S _y	S _u	S _h
SM400B	41	-	244	399	-
STPT370	41	-	214	369	-

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資料「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、減衰定数は添付資料「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(%)
TSW-001	海水ポンプ室	7.250	2.0
		2.250	
		-0.550	
		-7.025	

4. 解析結果及び評価
 4.1 固有周期及び設計震度

鳥瞰図 TSW-001

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		X方向	Z方向	
1次	0.190	-	-	-	7.170	7.170	2.819
2次	0.172	-	-	-	5.790	5.790	2.880
3次	0.100	-	-	-	6.382	6.382	11.597
4次	0.086	-	-	-	6.191	6.191	11.770
5次	0.073	-	-	-	6.013	6.013	12.551
6次	0.070	-	-	-	6.385	6.385	10.147
7次	0.067	-	-	-	6.547	6.547	9.398
8次	0.058	-	-	-	6.385	6.385	7.894
11次	0.050	-	-	-	5.405	5.405	6.444
12次*2	0.046	-	-	-	6.530	6.530	6.207
動的震度*3		-	-	-	2.760	2.760	2.210
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0.050s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応答加速度より定められた震度を示す。

*4：3.6C_I及び1.2C_Vより定められた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

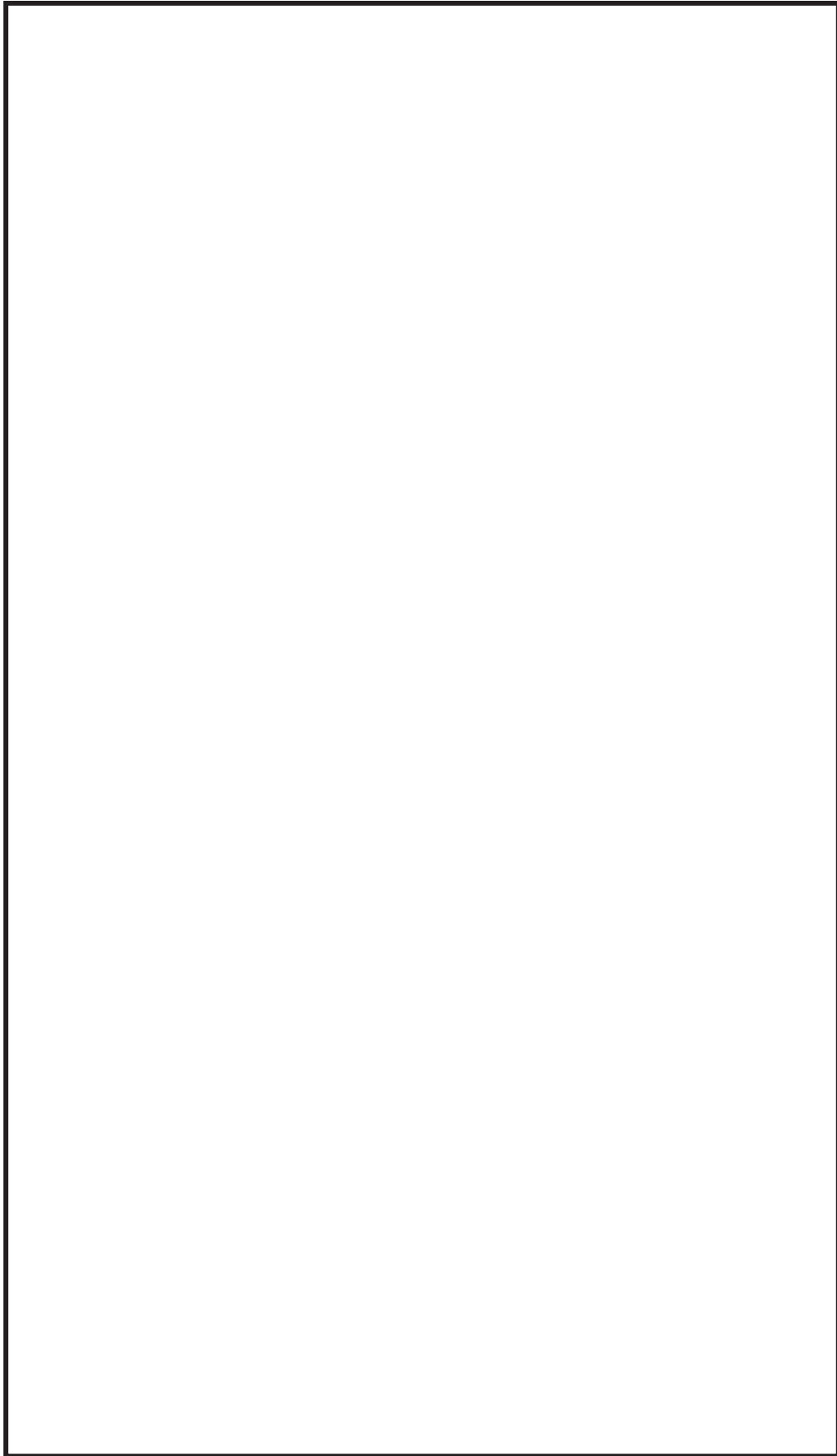
鳥瞰図 TSW-001

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次	0.190	0.003	0.040	0.008
2次	0.172	0.005	0.011	0.037
3次	0.100	0.028	0.001	0.020
4次	0.086	0.034	0.013	0.056
5次	0.073	0.045	0.007	0.005
6次	0.070	0.061	0.017	0.004
7次	0.067	0.004	0.048	0.015
8次	0.058	0.122	0.007	0.011
9次	0.056	0.003	0.001	0.016
10次	0.054	0.037	0.001	0.017
11次	0.050	0.000	0.011	0.001
12次	0.046	0.000	0.052	0.011

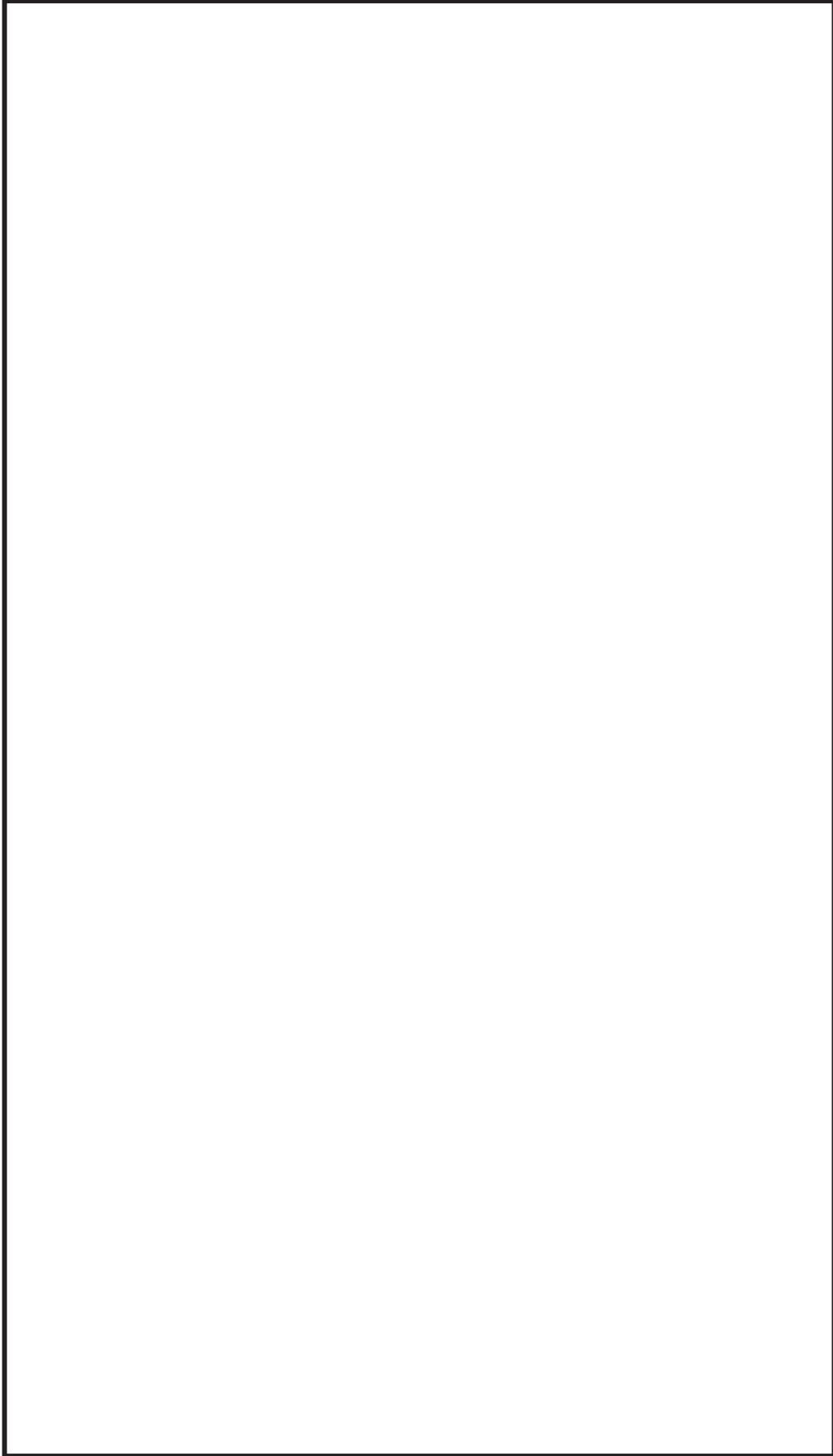
注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

代表的振動モード図

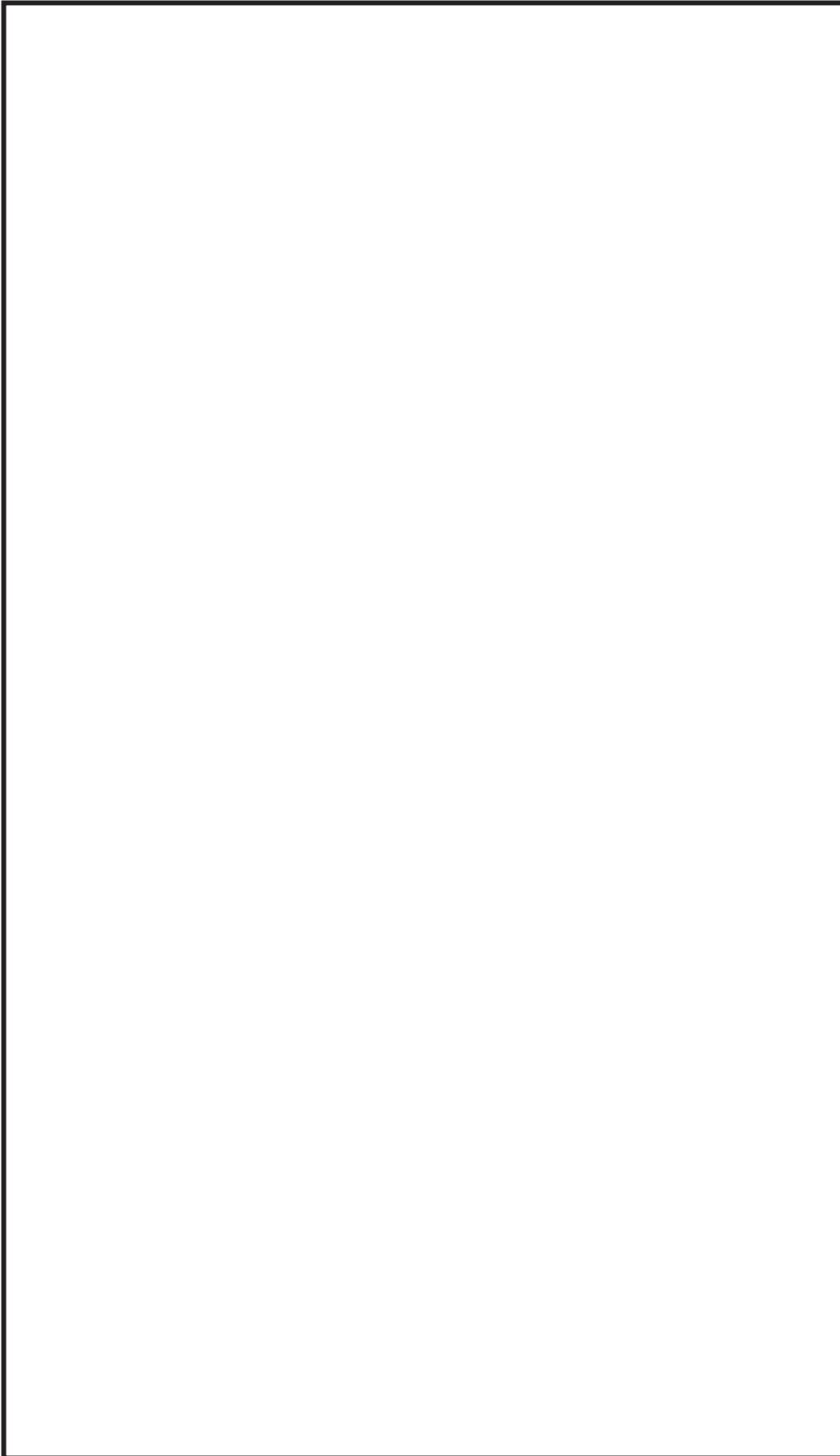
振動モード図は、3 次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を図示し、次ページ以降に示す。



鳥瞰図	TSW-001
-----	---------



鳥瞰図	TSW-001
-----	---------



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。

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 疲労累積係数 U S s
				計算応力 S _{prim} (S s)	許容応力 S _y *1,*2	計算応力 S _n (S s)	許容応力 2S _y	
TSW-001	Ⅲ _A S	E11N B54	S _{prim} (S s) S _n (S s)	240 —	244 —	— 416	— 488	— —

注記*1：オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、S_yと1.2S_nのうち大きい方の値とする。

*2：S s 地震動に対し許容応力状態Ⅲ_ASの評価を行う。

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）

支持点番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
B40	ロッドレス トレイント	RST-5	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		63	273

支持構造物評価結果（応力評価）

支持点番号	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			
D06	レスト レイント	—	STKR400	55	403	194	107	—	—	—	—	145	228
E47	アンカ	—	STKR400	55	101	200	120	199	50	129	組合せ	286	456

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を超える弁については、詳細評価を実施する。

弁番号	形式	要求機能 β (S s)	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
P46-F002B	電動バタフライ弁	β (S s)	13.3*	8.99*	6.0	6.0

注：機能維持評価用加速度は、配管系の地震応答解析による打ち切り振動数を 50Hz として計算した結果を示す。

注記*：機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、詳細評価を行う。

詳細評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下及び計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		動作機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)			
			水平	鉛直	水平	鉛直	評価部位*1	応力分類	計算応力	許容応力
P46-F002B	電動バタフライ弁	β (S s)	13.3	8.99	20.0	20.0	弁箱 上部	曲げ	84.7	280*2

注記*1：裕度が最小となる部位に対する評価を実施する。

*2：弁の材料 FCD450-10 の Sy 値として、JIS G 5502「球状黒鉛鋳鉄品」による 0.2%耐力を示す。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果
 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 (クラス 3 管相当)

No.	配管モデル	許容応力状態 III _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	TSW-001	E11N	240	244	1.01	○	B54	416	488	1.17	○	—	—	—