

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-19-0190_改1
提出年月日	2021年9月7日

VI-2-別添 2-8 復水器水室出入口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	6
3.	計算条件	7
3.1	計算方法	7
3.2	荷重の組合せ及び許容応力状態	8
3.3	設計条件	9
3.4	材料及び許容応力	13
3.5	設計用地震力	14
4.	解析結果及び評価	15
4.1	固有周期及び設計震度	15
4.2	評価結果	20
4.2.1	管の応力評価結果	20
4.2.2	弁の動的機能維持評価結果	21
4.2.3	代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	23

1. 概要

本計算書は、添付書類「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、復水器水室入口弁及び出口弁（以下「復水器水室出入口弁」という。）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。

復水器水室出入口弁は、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、復水器水室出入口弁は、循環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 8 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 4.2.3 に記載する。



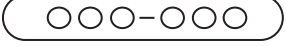

(2) 弁

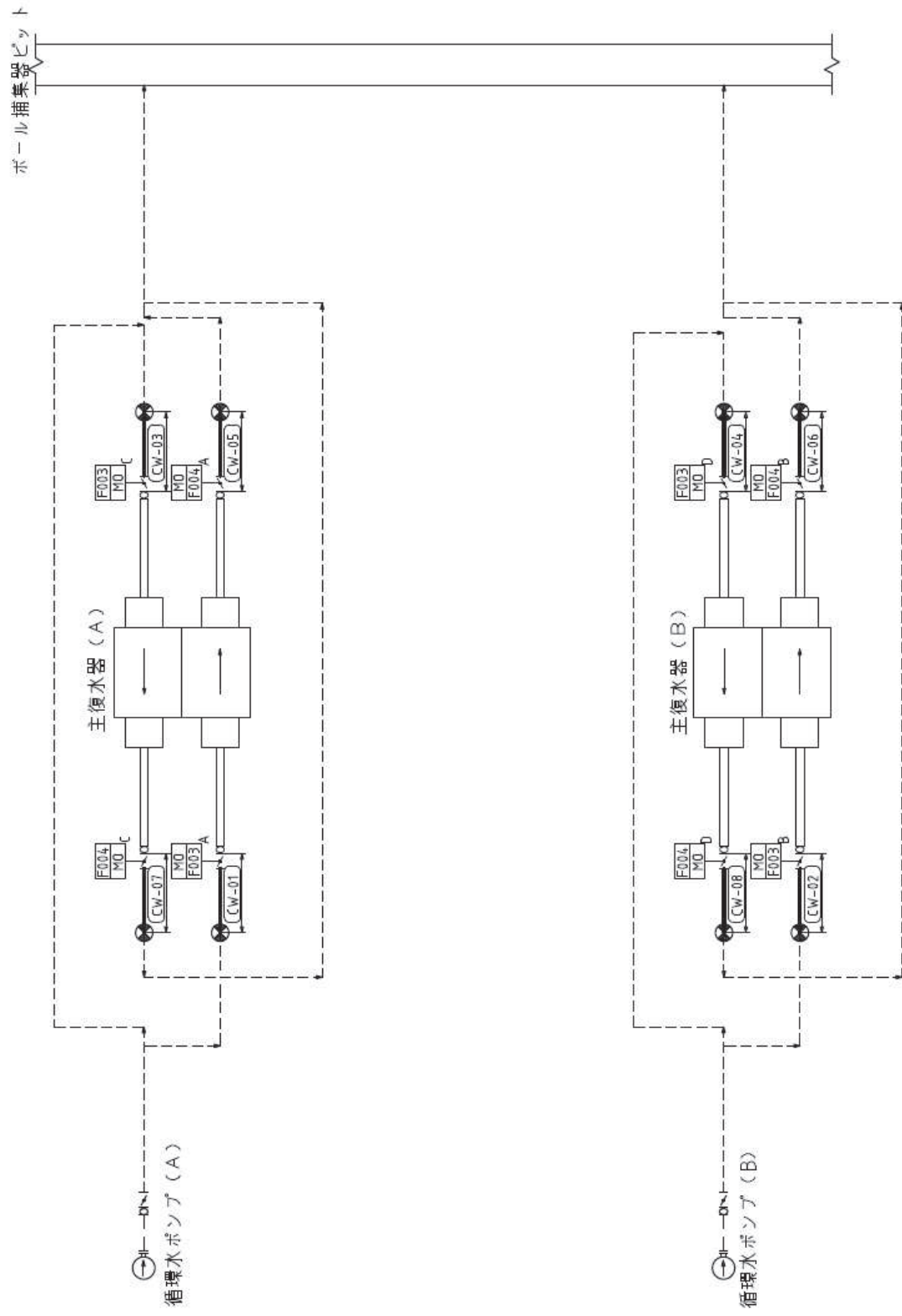
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

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

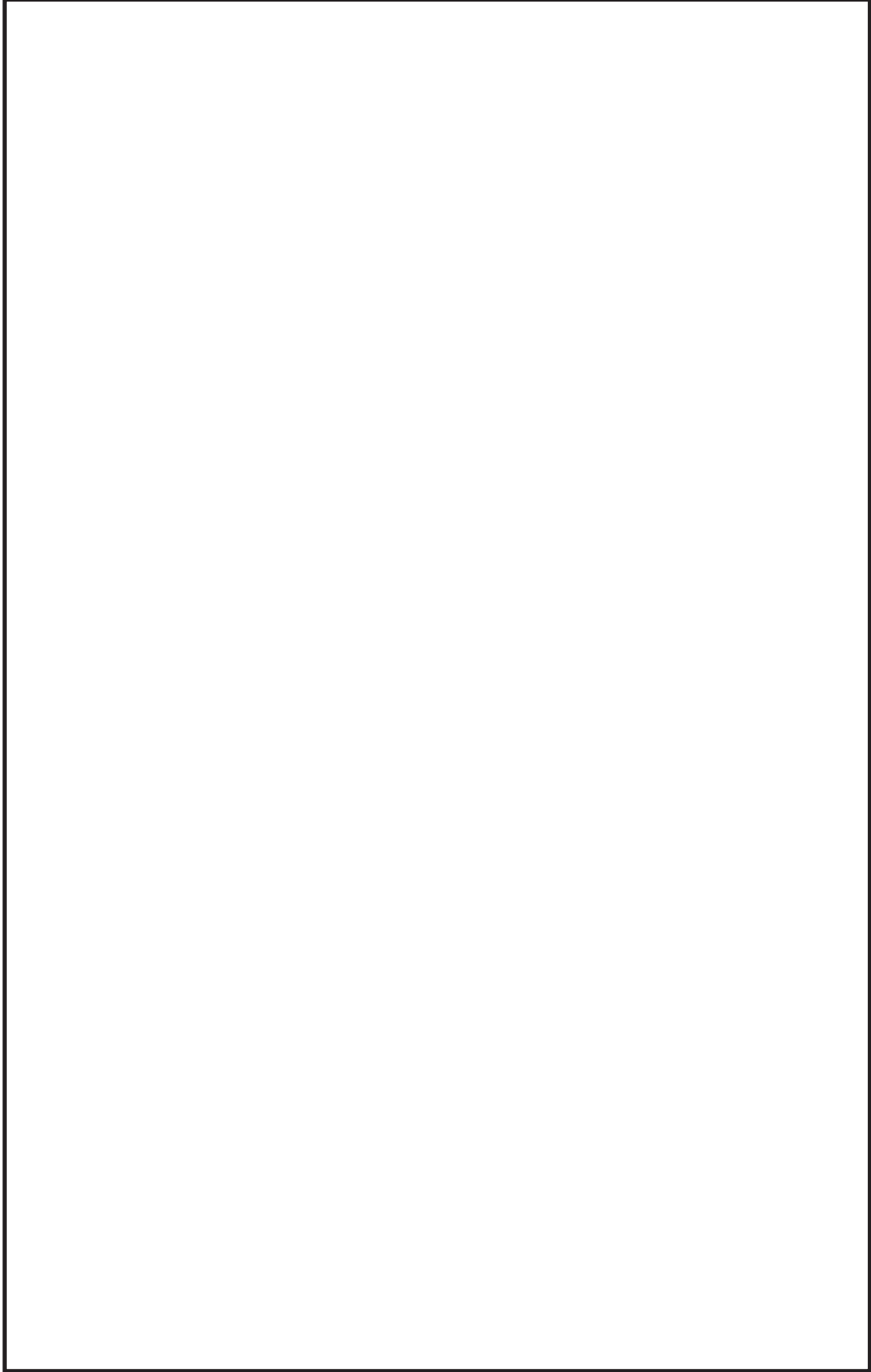


循環水系概略系統図

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及び弁の質量分布をモデル化するために設定している梁要素
	質点
	アンカ



CW-01

鳥瞰図

2.3 構造計画

復水器水室出入口弁は、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	
復水器水室出入口弁	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。	循環水配管に設置され，配管に支持される。	

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」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		
—	—	循環水系	DB	—	—	C	<table border="1"> <tr> <td>I_L+S_s</td> </tr> <tr> <td>II_L+S_s</td> </tr> </table>	I _L +S _s	II _L +S _s	III _A S
I _L +S _s										
II _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：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 CW-01

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	0.48	41	2526.0	13.0	SS400	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 CW-01

管名称	対応する評価点
1	1 2 3

フランジ部の質量

鳥瞰図 CW-01～CW-08

質量	対応する評価点
1770kg	2
885kg	3

弁部の寸法

鳥瞰図 CW-01～CW-08

評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)	評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)
3～5	2582.0	28.0	520	4～6	2582.0	28.0	1427.5
6～7	523.0	112	391	7～8	675.0	25.0	430
8～9	330.0	109.4	275				

弁部の質量

鳥瞰図 CW-01～CW-08

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
885kg	3	8018kg	4
1992kg	5	520kg	6
490kg	7	2713kg	9

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
SS400 (厚さ ≤ 16mm)	41	—	244	399	—

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-別添 2-1 溢水防護に係る施設の耐震計算の方針」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-別添 2-1 溢水防護に係る施設の耐震計算の方針」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(%)
CW-01	タービン建屋	0.800	0.5

4. 解析結果及び評価
 4.1 固有周期及び設計震度

鳥瞰図 CW-01

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S 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
モード	固有周期 (s)	X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次	0.098	—	—	—	6.51	6.51	4.21
2次	0.095	—	—	—	6.51	6.51	4.21
3次*2	0.050	—	—	—	—	—	—
動的震度*3		—	—	—	1.14	1.14	0.71
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床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

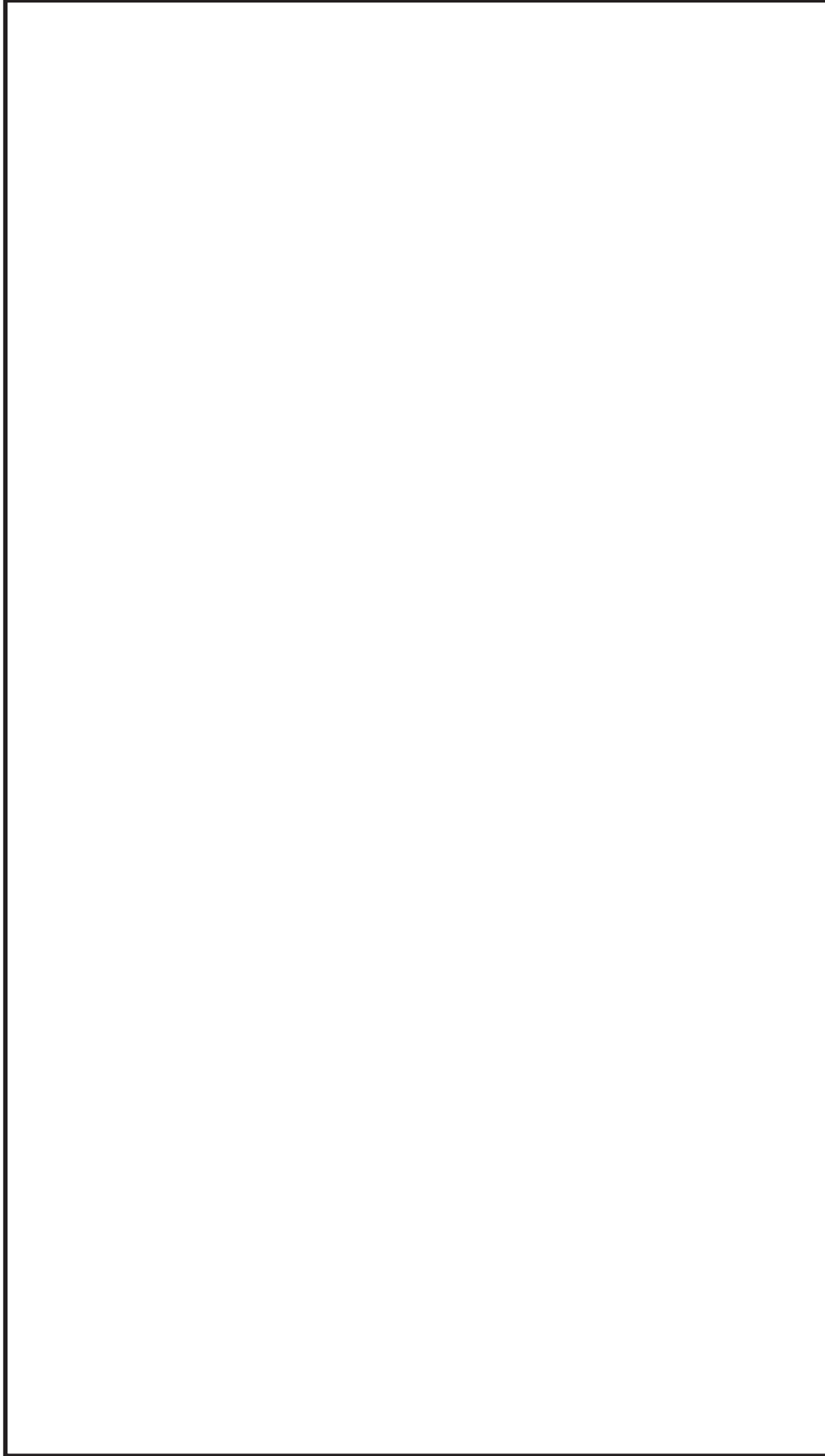
鳥瞰図 CW-01

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次	0.098	0.148	0.017	0.044
2次	0.095	0.045	0.000	0.154

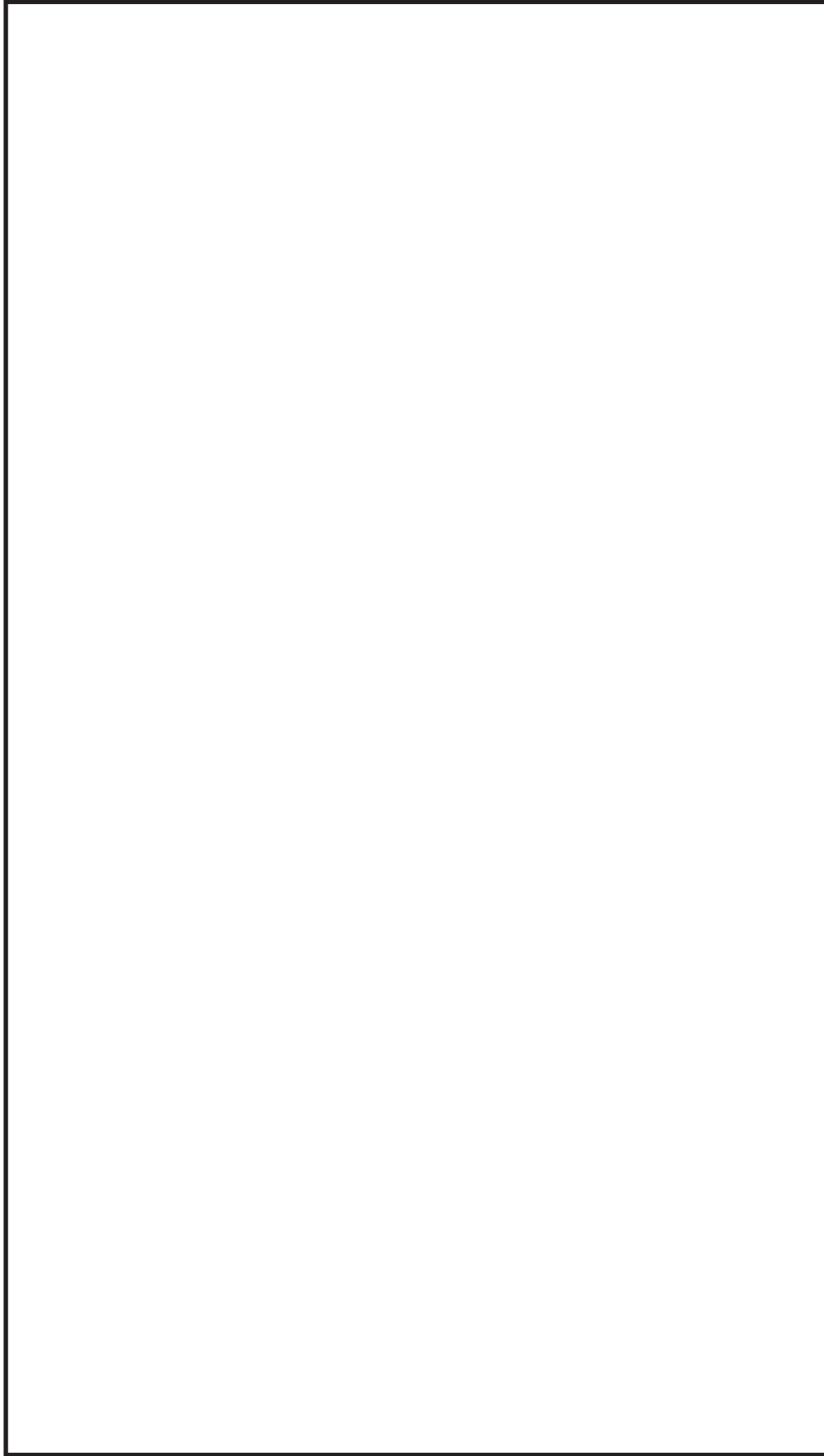
注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

代表的振動モード図

振動モード図は、2 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	CW-01
-----	-------



鳥瞰図	CW-01
-----	-------

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
				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 $2S_y$	
CW-01	Ⅲ _A S	2 2	$S_{prim}(S_s)$ $S_n(S_s)$	41 —	244 —	— 200	— 489	— —

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 $1.2S_h$ 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 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	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
N71-F004(D)	電動バタフライ弁	β (S s)	11.1*	4.9	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と最大加速度を1.2倍した値（1.2ZPA）の何れか大きい方を示す。

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
N71-F004(D)	電動バタフライ弁	β (S s)	11.1	4.9	20.0	20.0	ヨーク 下部	曲げ	27.7	214*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 SS400 (40mm < t) の最高使用温度 41℃における Sy 値を示す。

4.2.3 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、設計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 (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	CW-01	2	41	244	5.95	○	2	200	489	2.44	○	-	-	-
2	CW-02	2	41	244	5.95	-	2	200	489	2.44	-	-	-	-
3	CW-03	2	41	244	5.95	-	2	200	489	2.44	-	-	-	-
4	CW-04	2	41	244	5.95	-	2	200	489	2.44	-	-	-	-
5	CW-05*	2	41	244	5.95	-	2	200	489	2.44	-	-	-	-
6	CW-06*	2	41	244	5.95	-	2	200	489	2.44	-	-	-	-
7	CW-07*	2	41	244	5.95	-	2	200	489	2.44	-	-	-	-
8	CW-08*	2	41	244	5.95	-	2	200	489	2.44	-	-	-	-

注記*：復水器出口配管の最高使用圧力は 0.38MPa であるが、評価としては、復水器入口配管の最高使用圧力 0.48MPa を

用いて応力計算を行った。