

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-19-0075_改1
提出年月日	2021年9月21日

VI-2-13-7 地下水位低下設備配管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
3. 計算条件	11
3.1 計算方法	11
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	12
3.3 設計条件	13
3.4 材料及び許容応力評価条件	22
3.5 設計用地震力	23
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	35
4.2.1 管の応力評価結果	35
4.2.2 支持構造物評価結果	36
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	37
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	38

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、地下水位低下設備の管、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4.2.4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。




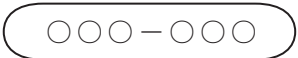

(3) 弁

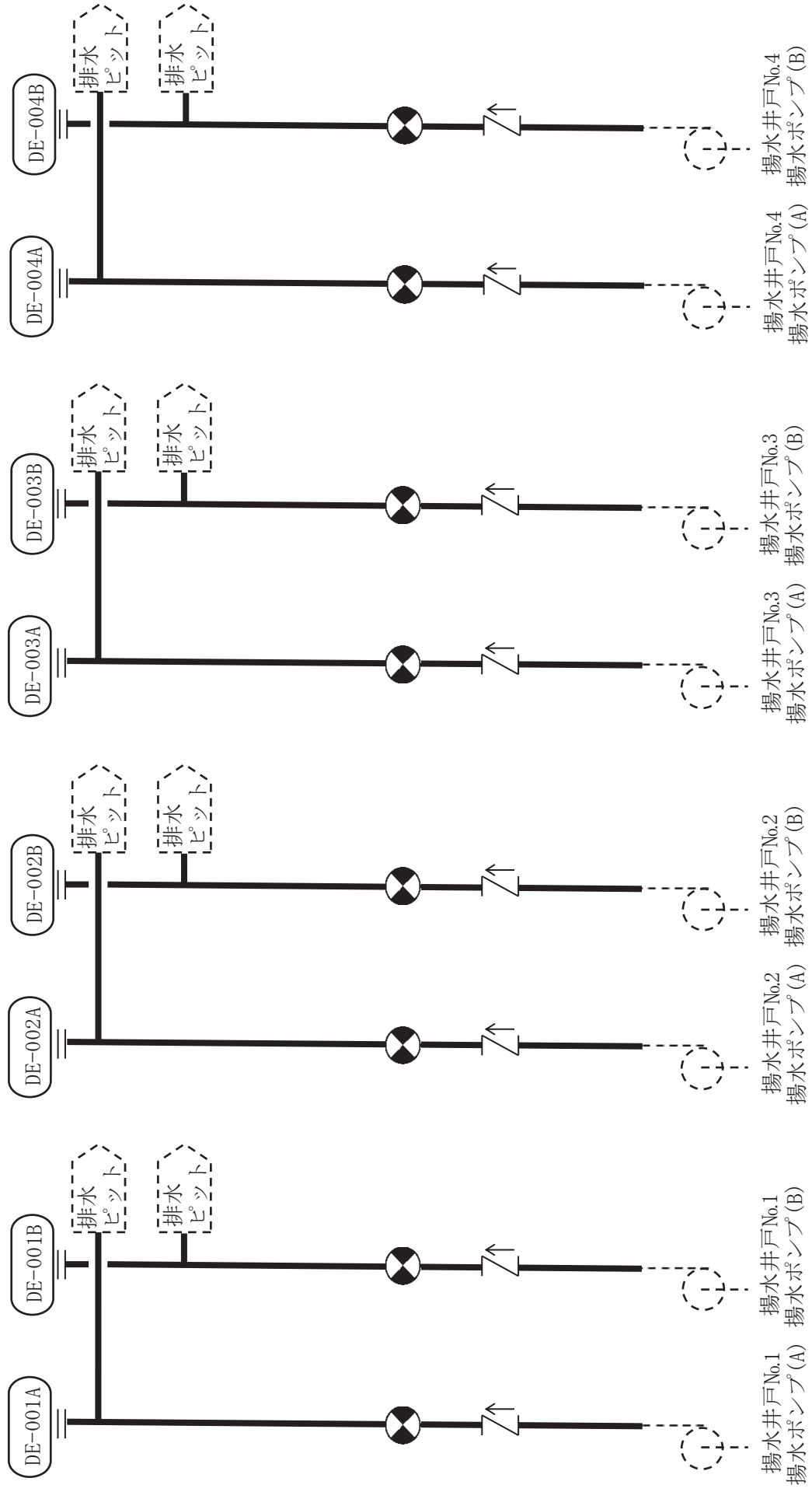
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図


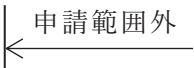
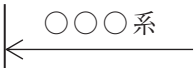


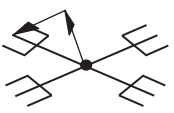
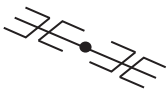

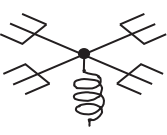
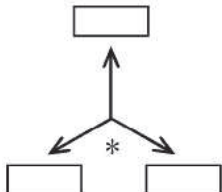
概略系統図記号凡例

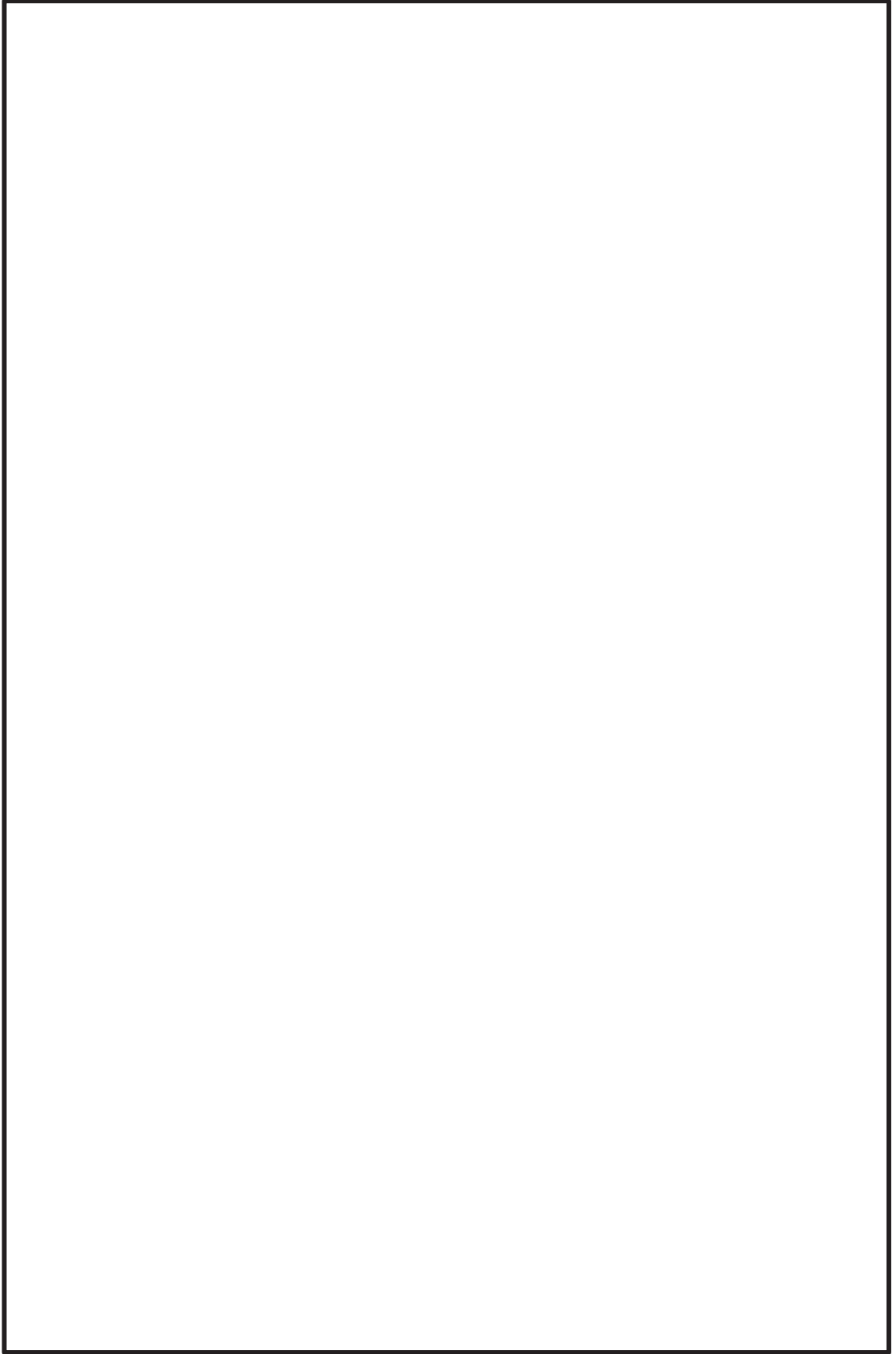
記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
 	鳥瞰図番号 アンカ

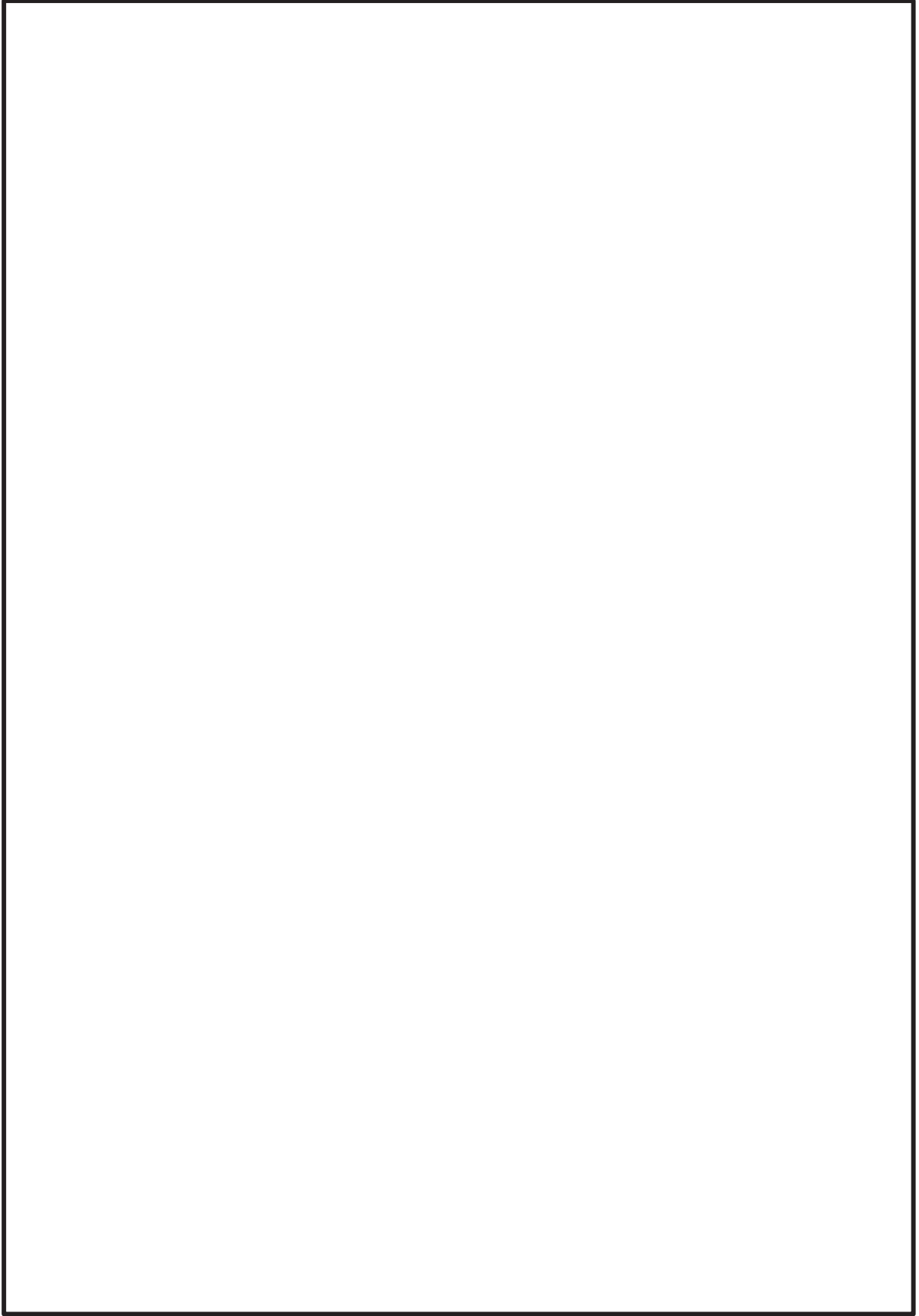


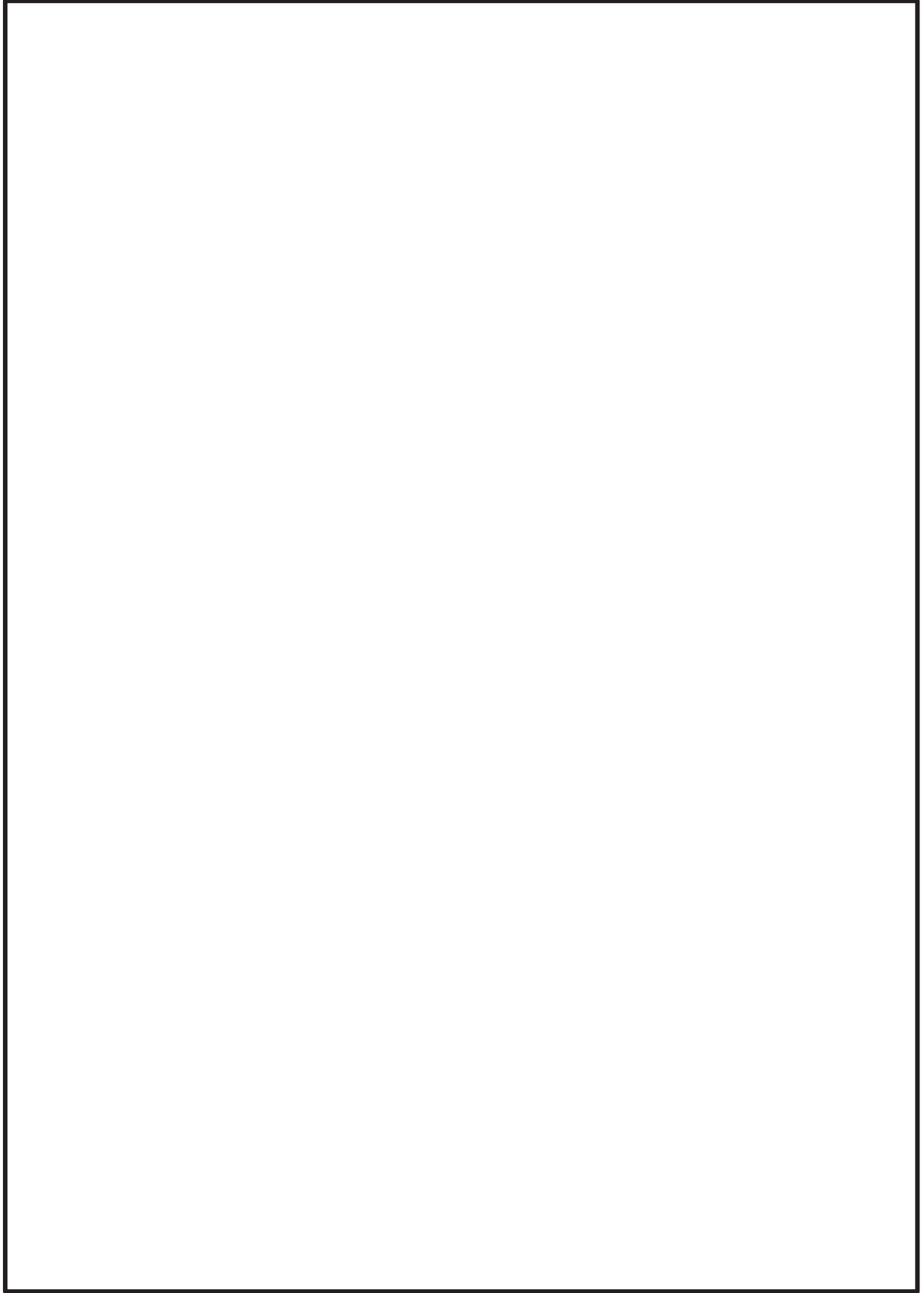
2.2 鳥瞰図

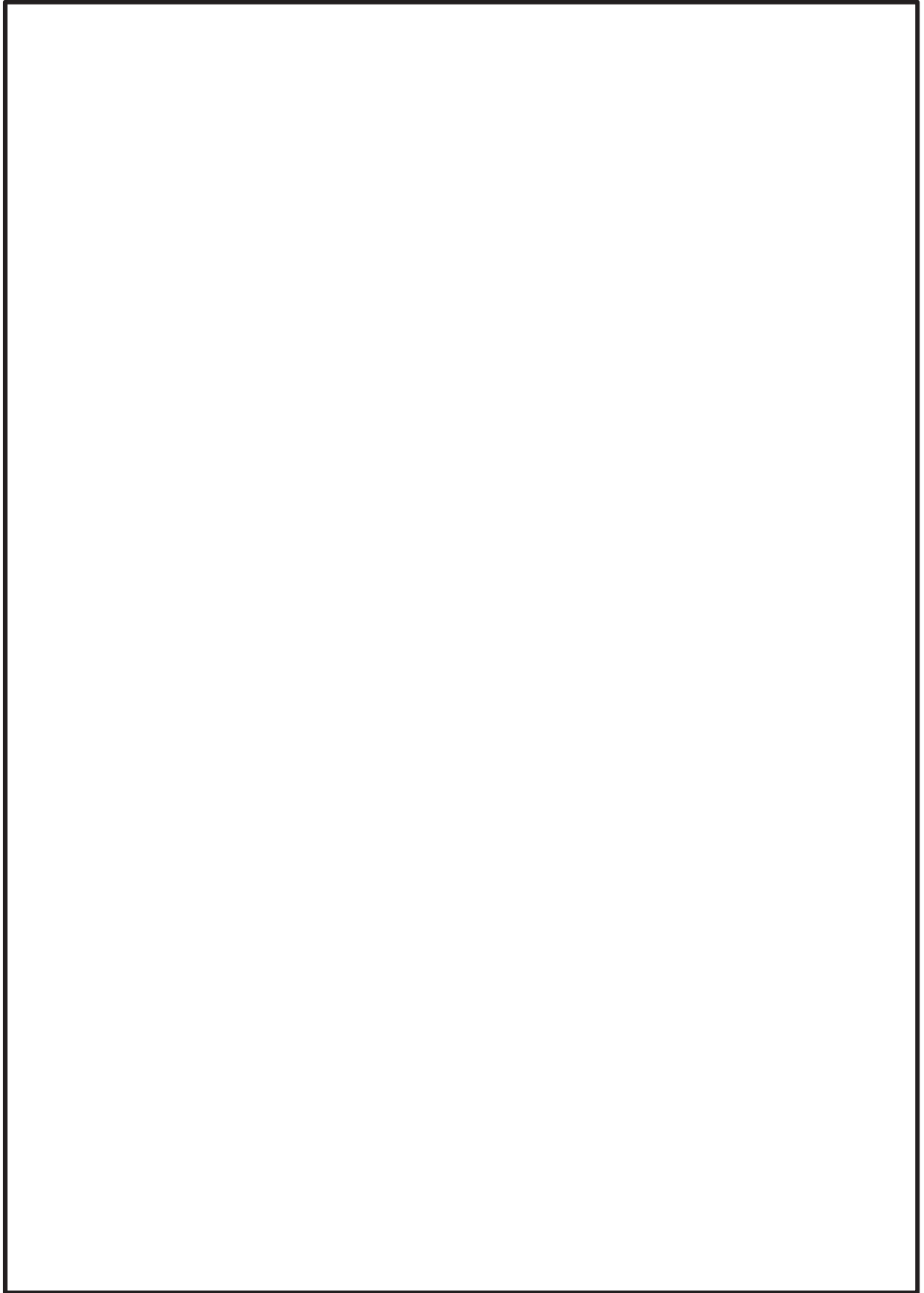
鳥瞰図記号凡例

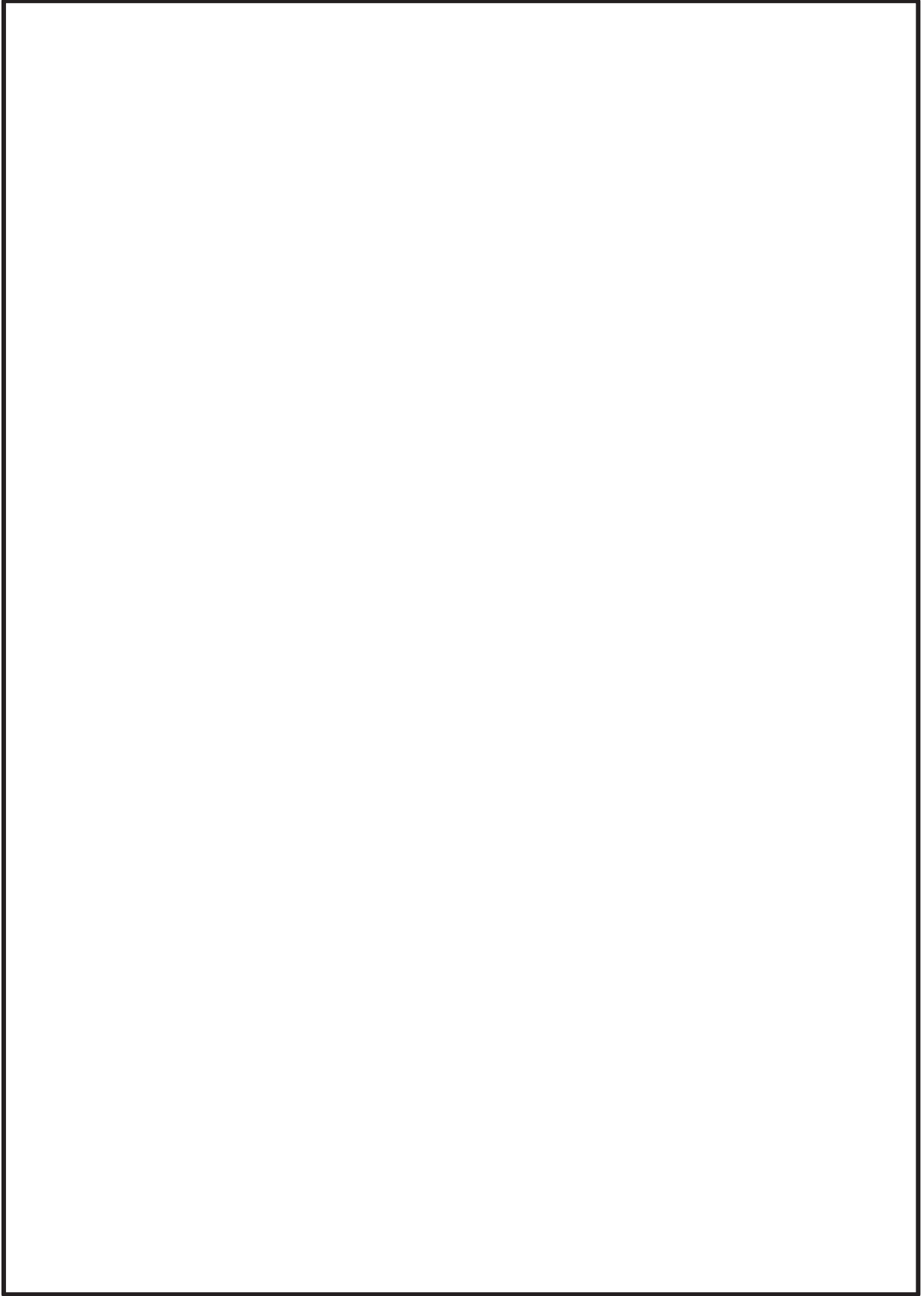
記 号	内 容
	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管
	工事計画記載範囲外の管
	工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルとして本系統に記載する管
	質 点
	ア ン カ
	レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)
	スナップ
	ハンガ
	ガイド
	拘束点の地震による相対変位量 (mm) (*は評価点番号，矢印は拘束方向を示す。また， <input type="text"/> 内に変位量を記載する。)

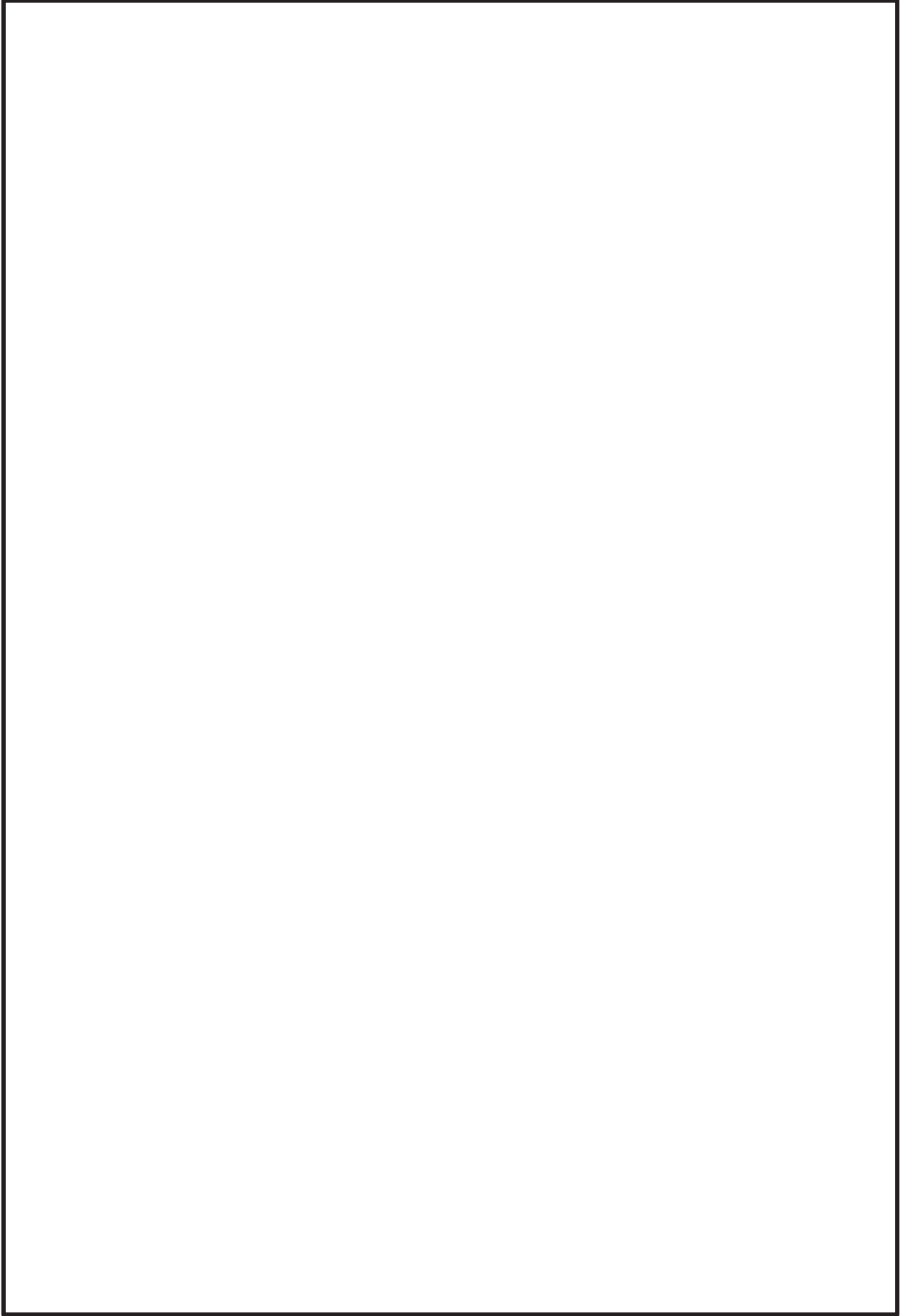












3. 計算条件

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、「MSAP(配管)」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。

また、設計用床応答曲線の作成には、「CHERRY」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
施設共通 (地震)	地下水位 低下設備	—	DB	—	—*4	C	I _L + S _s II _L + S _s	IV _{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 : 運転状態の添字 L は荷重が作用している状態を示す。

*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。

*4 : クラス 3 相当として評価する。

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 DE-001A

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	0.98	40	267.4	9.3	STPT370-S	C	202000
2	0.00	40	267.4	9.3	STPT370-S	C	202000

鳥 瞰 図 DE-003B

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	0.98	40	267.4	9.3	STPT370-S	C	202000
2	0.00	40	267.4	9.3	STPT370-S	C	202000

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 DE-001A

管名称	対応する評価点
1	1001, 501, 3, 516, 6, 502, 311, 312, 801, 600, 503, 601, 7, 9, 504, 10, 12, 602, 505, 802, 603, 506, 803, 604, 605, 606, 507, 804, 607, 608, 609, 508, 805, 610, 611, 612, 509, 806, 613, 807, 614, 615, 510, 808, 616, 617, 618, 511, 809, 619, 620, 621, 512, 810, 622, 623, 624, 625, 513
2	513, 811, 412, 411, 413, 514, 414, 515, 13

配管の質量(付加質量含む)

鳥 瞰 図 DE-001A

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)
1001		802		509		810	
501		603		806		622	
3		506		613		623	
516		803		807		624	
6		604		614		625	
502		605		615		513	
801		606		510		811	
600		507		808		412	
503		804		616		411	
601		607		617		413	
7		608		618		514	
9		609		511		414	
504		508		809		515	
10		805		619		13	
12		610		620			
602		611		621			
505		612		512			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
311	
901	
312	

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	901	267.4	9.3	562.8

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 DE-003B

管名称	対応する評価点
1	1006, 501, 1, 515, 4, 516, 311, 312, 600, 801, 502, 601, 7, 9, 503, 10, 12, 802, 504, 602, 803, 505, 603, 604, 605, 804, 506, 606, 607, 608, 805, 507, 806, 609, 610, 807, 508, 611, 612, 613, 808, 509, 614, 615, 616, 809, 510, 617, 618, 619, 810, 511, 620, 621, 622, 811, 623, 512
2	512, 812, 412, 411, 413, 513, 414, 514, 13

配管の質量(付加質量含む)

鳥 瞰 図 DE-003B

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)
1006		504		610		810	
501		602		807		511	
1		803		508		620	
515		505		611		621	
4		603		612		622	
516		604		613		811	
600		605		808		623	
801		804		509		512	
502		506		614		812	
601		606		615		412	
7		607		616		411	
9		608		809		413	
503		805		510		513	
10		507		617		414	
12		806		618		514	
802		609		619		13	

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
311	
901	
312	

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	901	267.4	9.3	562.8

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 DE-001A

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
1001						
801						
** 801 **						
** 801 **						
** 801 **						
** 801 **						
** 802 **						
** 802 **						
** 803 **						
** 803 **						
** 804 **						
** 804 **						
** 805 **						
** 805 **						

**印は斜め拘束を示しばね定数を X に示す。下段は方向余弦を示す。

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
** 806 **						
** 806 **						
807						
** 808 **						
** 808 **						
** 809 **						
** 809 **						
** 810 **						
** 810 **						
** 811 **						
** 811 **						

** 印は斜め拘束を示しばね定数を X に示す。下段は方向余弦を示す。

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 DE-003B

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
1006						
801						
** 801 **						
** 801 **						
** 801 **						
** 801 **						
** 802 **						
** 802 **						
** 803 **						
** 803 **						
** 804 **						
** 804 **						
** 805 **						
** 805 **						

**印は斜め拘束を示しばね定数を X に示す。下段は方向余弦を示す。

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
806						
** 807 **						
** 807 **						
** 808 **						
** 808 **						
** 809 **						
** 809 **						
** 810 **						
** 810 **						
** 811 **						
** 811 **						
** 812 **						
** 812 **						

** 印は斜め拘束を示しばね定数を X に示す。下段は方向余弦を示す。

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)
STPT370-S	40	—	215	370	—

3.5 設計用地震力

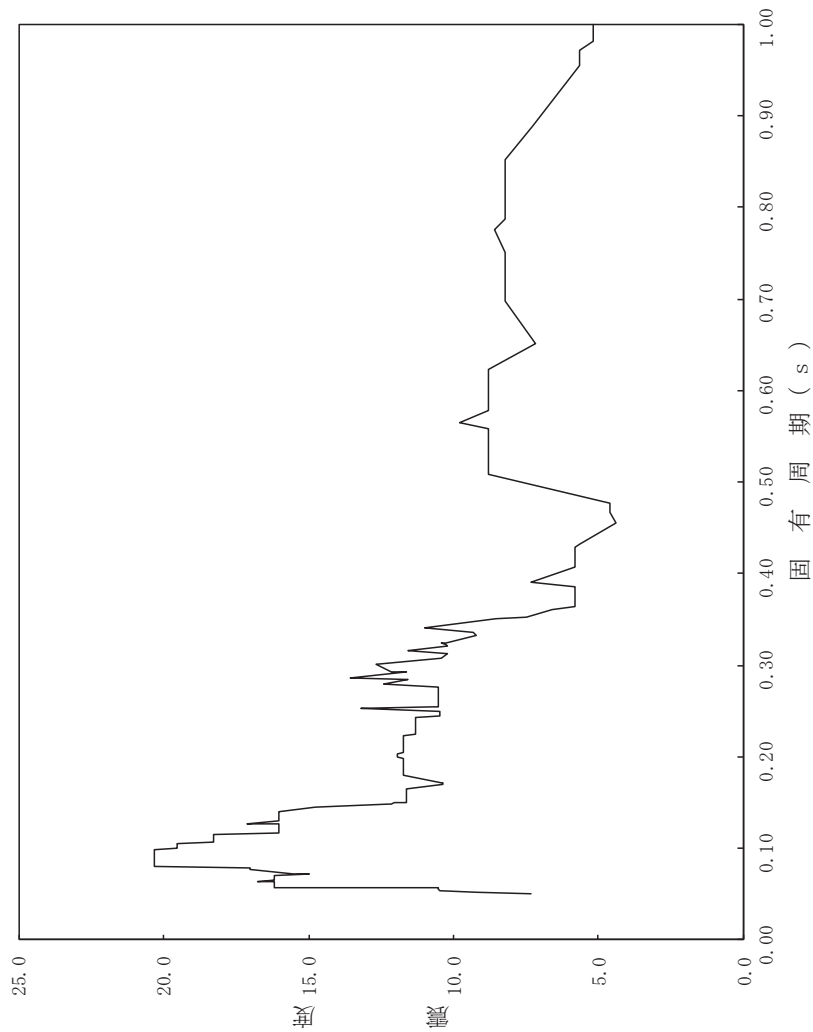
本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

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 (%)
DE-001A DE-003B	No.1 揚水井戸	14.800	0.5
		9.800	
		-0.200	
		-9.680	
		-19.800	
		-24.600	
		-27.000	
		-29.400	
	No.2 揚水井戸	14.800	0.5
		9.800	
		-0.200	
		-9.700	
		-19.780	
		-27.800	
		-30.100	
		-32.400	
No.3 揚水井戸	14.800	0.5	
	10.000		
	0.000		
	-10.000		
	-20.340		
	-23.900		
	-27.200		
	-29.400		
No.4 揚水井戸	14.800	0.5	
	9.976		
	-0.024		
	-10.024		
	-19.864		
	-27.900		
	-30.150		
	-32.400		

設計用床応答曲線

構造物名：揚水井戸
標高：O.P. -32.40～14.80m 包絡
減衰定数：0.5%
波形名：基準地震動 S s
—— 水平方向



設計用床応答曲線 (水平方向)

○ 2 ③ VI-2-13-7 (設) R 2

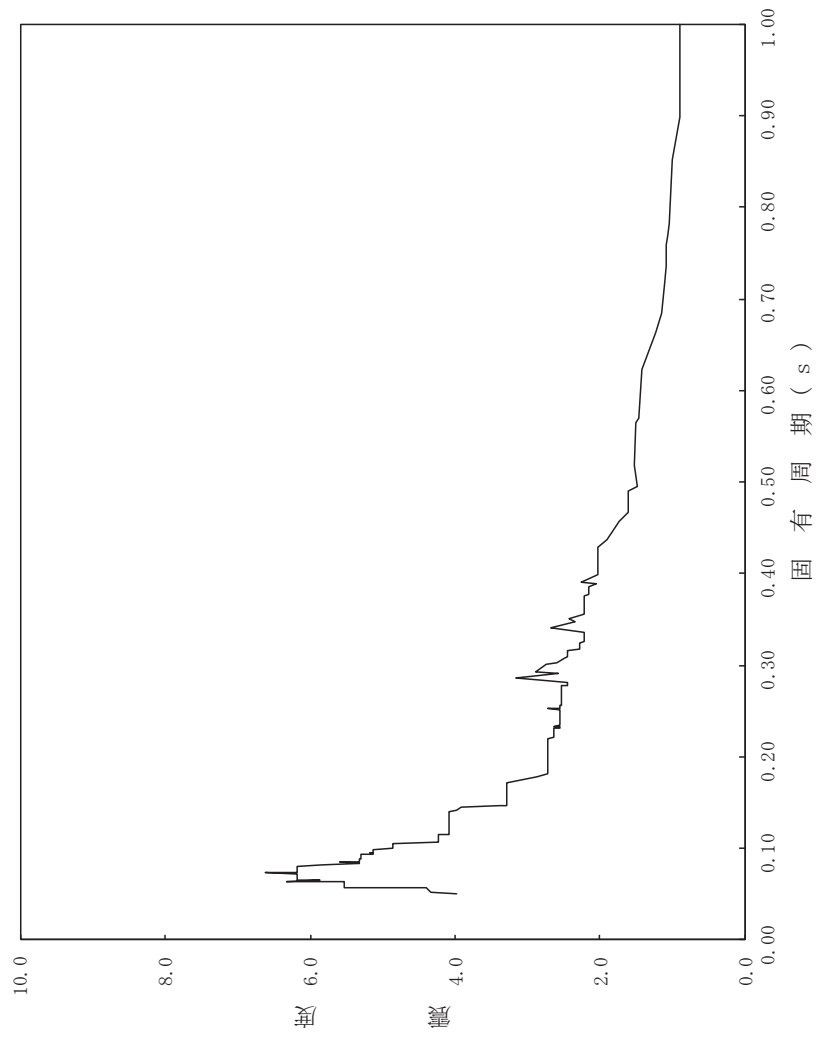
構造物名：揚水井戸

標高：O.P. -32.40m~14.80m 包絡

減衰定数：0.5%

波形名：基準地震動 S s

——鉛直方向



設計用床応答曲線 (鉛直方向)

4. 解析結果及び評価
 4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 DE-001A

適用する地震動等		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X方向	Y方向	Z方向
1次	0.098	20.32	20.32	5.13
2次	0.054	10.49	10.49	4.37
3次	0.052	9.26	9.26	4.34
4次*2	0.037	—	—	—
動的震度*3		2.40	2.40	0.82
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 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。

鳥 瞰 図 DE-003B

適用する地震動等		S s		
		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	Y方向	Z方向
1次	0.098	20.32	20.32	5.13
2次*2	0.042	—	—	—
動的震度*3		2.40	2.40	0.82
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 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 DE-001A

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	-0.164	-1.331	0.000
2次	0.054	0.584	-0.066	-0.288
3次	0.052	0.094	0.796	0.000

注記*：刺激係数はモードベクトルの最大値を1として正規化して算出した値を示す。

鳥瞰図 DE-003B

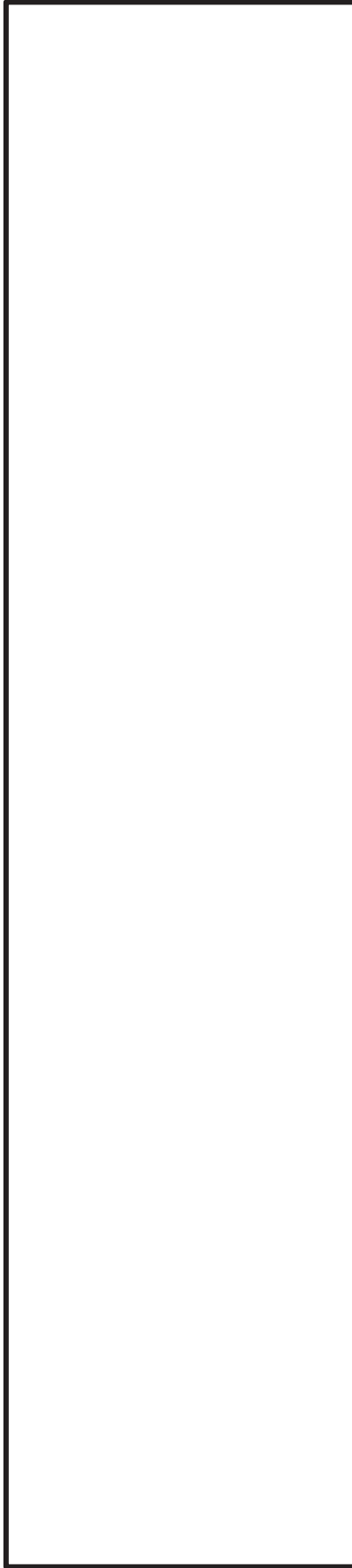
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次	0.098	0.254	-1.474	0.000

注記*：刺激係数はモードベクトルの最大値を1として正規化して算出した値を示す。

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。

代表的振動モード図(1次)



鳥瞰図

DE-001A

代表的振動モード図 (2次)



鳥瞰図

DE-001A

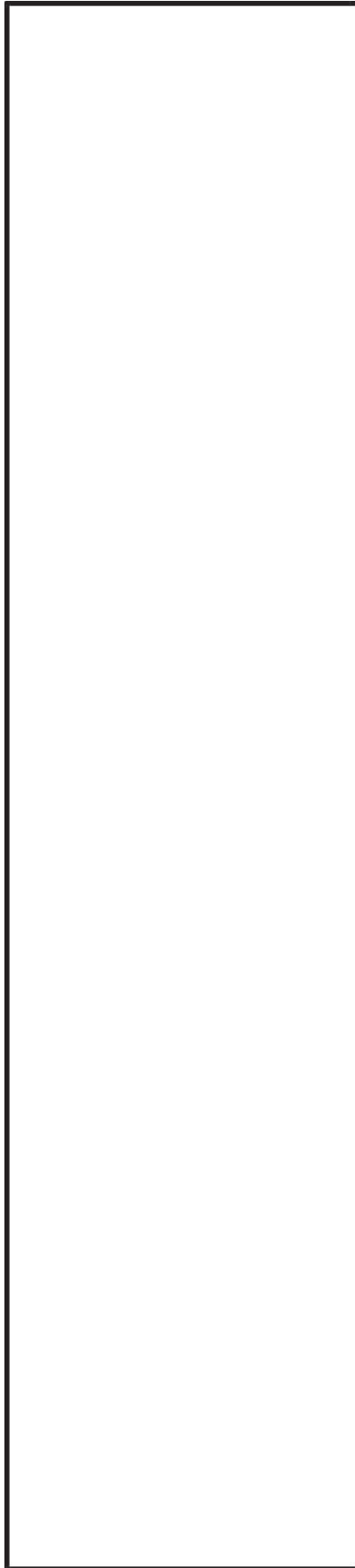
代表的振動モード図 (3次)



鳥瞰図

DE-001A

代表的振動モード図(1次)



鳥瞰図

DE-003B

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 p r 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	
DE-001A	IV _A S IV _A S	624 510	S p r m (S s) S n (S s)	79 —	333 —	— 205	— 430	— —

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 p r 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	
DE-003B	IV _A S IV _A S	512 507	S p r m (S s) S n (S s)	64 —	333 —	— 212	— 430	— —

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				
DE-003B-12R	レストレイント	Uボルト	SS400	40	38	72	—	—	—	—	—	組合せ	190	294
DE-002A-7R	レストレイント	ラグ	SS400	40	—	—	45	—	—	—	—	組合せ	64	124
DE-004B-1A	アソカ	ラグ	STPT370	40	90	35	30	18	29	41	—	組合せ	104	124

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	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 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		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、応力分類毎に裕度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（クラス2以下の管）

No.	配管モデル	許容応力状態 IV _{AS}												
		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	DE-001A	624	79	333	4.21	○	510	205	430	2.09	-	-	-	-
2	DE-001B	512	64	333	5.20	-	509	167	430	2.57	-	-	-	-
3	DE-002A	627	78	333	4.26	-	510	149	430	2.88	-	-	-	-
4	DE-002B	512	61	333	5.45	-	507	159	430	2.70	-	-	-	-
5	DE-003A	624	79	333	4.21	-	508	165	430	2.60	-	-	-	-
6	DE-003B	512	64	333	5.20	-	507	212	430	2.02	○	-	-	-
7	DE-004A	627	78	333	4.26	-	510	178	430	2.41	-	-	-	-
8	DE-004B	512	61	333	5.45	-	801	200	430	2.15	-	-	-	-