

新型転換炉ふげん発電所

工事計画認可申請書

(1/1)

本 文
添 付 書 類

平成2年7月

動力炉・核燃料開発事業団

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、
下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

© 核燃料サイクル開発機構
(Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2002

工事計画認可申請書

2動燃（建運）022

平成 2年 7月3/日

通商産業大臣

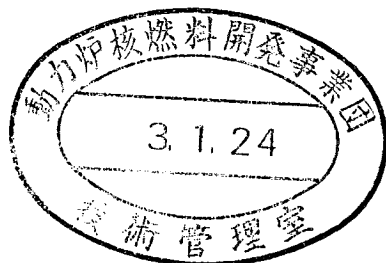
武 藤 嘉 文 殿

住所 東京都港区赤坂1丁目9番13号

氏名 動力炉・核燃料開発事業団

理事長 石 渡 鷹 雄

電気事業法第70条第1項の規定により、別紙工事計画書のとおり
工事の計画の認可を受けたいので申請します。



工事計画認可申請書の写しの提出

2 動燃（建運）023

平成 2年 月 日

中部通商産業局

局長 藤原 武平太 殿

住所 東京都港区赤坂1丁目9番13号

氏名 動力炉・核燃料開発事業団

理事長 石渡 鷹雄

電気事業法第70条第1項の規定により、通商産業大臣あてに工事の計画の認可申請をいたしましたので、電気事業法施行規則第93条の規定により、その写しを提出いたします。

動力炉・核燃料開発事業団
新型転換炉ふげん発電所

工事計画認可申請書

- I 工事計画書
- II 工事工程表
- III 変更を必要とする理由を記載した書類
- IV 添付書類

I 工 事 計 画 書

一、発 電 所

1. 発電所の名称及び位置

名 称 新型転換炉ふげん発電所

位 置 福井県敦賀市明神町3番地

2. 発電所の出力及び周波数

出 力 165,000 kW

周波数 60 Hz

(五) 原子力設備

1. 原子炉本体

1.9 圧力管出入口管

(2) 入口管

変 更 前						変 更 後					
名 称	最高使用 圧 力 (kg/cm ²)	最高使用 温 度 (°C)	外 径 (mm)	厚 さ (mm)	材 料	名 称	最高使用 圧 力 (kg/cm ²)	最高使用 温 度 (°C)	外 径 (mm)	厚 さ (mm)	材 料
下部ヘッダ ～圧力管	8 2	2 9 6	6 0. 5	5. 5	SUS 27	変 更 な し					SUS 27
					SUS 27 TP						SUS 27 TP
				8. 7	SUS 304 TP						SUS 304 TP
					SUS 316 TP(アルプ)						SUS 316 TP

(五) 原子力設備

2. 原子炉冷却系統設備

2.2 原子炉再循環系

(2) 主配管

(1/2)

変 更 前						変 更 後					
名 称	最高使用 圧 力 (kg/cm ²)	最高使用 温 度 (°C)	外 径 (mm)	厚 さ (mm)	材 料	名 称	最高使用 圧 力 (kg/cm ²)	最高使用 温 度 (°C)	外 径 (mm)	厚 さ (mm)	材 料
下 降 管	蒸気ドラムA ～マニホールドA	8.2	296	355.6	19.0	SUS 316LTP SUS F 316L	変 更 な し				
					23.8						
	蒸気ドラムB ～マニホールドB	8.2	296	355.6	19.0	SUS 27TP	変 更 な し				SUS 27TP SUS 316LTP
					23.8						
マ ニ ホ ール ド	マニホールドA	8.2	296	711.2	36.0	SUS 316LTP	変 更 な し				
	マニホールドB	8.2	296	711.2	36.0	SUS 27TP					
	T 継手 A (吸込管用)	8.2	296	<u>711.2</u> 711.2 508.0	<u>36.0</u> 36.0 26.2	SUS F 316L					
	T 継手 B (吸込管用)	8.2	296	<u>711.2</u> 711.2 508.0	<u>36.0</u> 36.0 26.2	SUS 27B					
	T 継手 A (下降管用)	8.2	296	<u>711.2</u> 711.2 355.6	<u>36.0</u> 36.0 19.0	SUS F 316L					
	T 継手 B (下降管用)	8.2	296	<u>711.2</u> 711.2 355.6	<u>36.0</u> 36.0 19.0	SUS 27B					

変 更 前						変 更 後															
名 称	最高使用 圧 力 (kg/cm ²)	最高使用 温 度 (°C)	外 径 (mm)	厚 さ (mm)	材 料	名 称	最高使用 圧 力 (kg/cm ²)	最高使用 温 度 (°C)	外 径 (mm)	厚 さ (mm)	材 料										
マ ニ ホ ー ル ド	レジャーサ A	8 2	2 9 6	$\frac{711.2}{355.6}$	$\frac{36.0}{23.8}$	SUS F 316L	変 更 な し														
	レジャーサ B	8 2	2 9 6	$\frac{711.2}{355.6}$	$\frac{36.0}{23.8}$	SUS 27B															
	90° エルボ A	8 2	2 9 6	3 5 5. 6	2 3. 8	SUS F 316L															
	90° エルボ B	8 2	2 9 6	3 5 5. 6	2 3. 8	SUS 27B															
吸 込 管	マニホールド A ~ 再循環ポンプ A. C	8 2	2 9 6	5 0 8. 0	2 6. 2	SUS 316LTP						変 更 な し									
	マニホールド B ~ 再循環ポンプ B. D	8 2	2 9 6	5 0 8. 0	2 6. 2	SUS 27TP															
吐 出 管	再循環ポンプ A. C ~逆止弁(V21-1A. C)	8 2	2 9 6	4 0 6. 4	19. 325	SUS 316LTP											変 更 な し				
				4 0 6. 4	2 1. 4	SUS F 316L															
				4 0 6. 4	2 6. 2																
	再循環ポンプ B. D ~逆止弁(V21-1B. D)	8 2	2 9 6	4 0 6. 4	19. 325	SUS 27TP															
				4 0 6. 4	2 1. 4																
				4 0 6. 4	2 6. 2																
逆止弁(V21-1A. C) ~逆止弁(V21-2A. C)	8 2	2 9 6	4 0 6. 4	2 1. 4	SUS 316LTP	変 更 な し															
											逆止弁(V21-1B. D) ~逆止弁(V21-2B. D)										

2.4 下部ヘッド

		変 更 前		変 更 後	
名 称		—	下 部 ヘ ッ ダ		変 更 な し
種 類		—	横置円筒形容器 (逆止弁付)		
最 高 使 用 圧 力		kg/cm ²	8 2		
最 高 使 用 温 度		°C	2 9 6		
主 要 寸 法	胴 内 径	mm	5 3 1. 8		
	胴 板 厚 さ	mm	3 8. 9		
	全 長	mm	1 5 7 8 0		
材	胴 板	Aループ	SUS F 3 1 6 L SUS 2 7 T P		
		Bループ	SUS 2 7 T P		
料	レ ジ ュ ー サ	—	SUS F 3 1 6 L (Aループ) SUS 2 7 B (Bループ)		
個 数		個	2		

II 工 事 工 程 表

工 事 工 程 表

項 目	年度	2						3		
	月	9	10	11	12	1	2	3	4	5
下部ヘッド胴等の取替工事		○								△

- ： 工事開始
- ： 工事期間
- △： 工事完了

Ⅲ 変更を必要とする理由を記載した書類

応力腐食割れ予防対策の一環として、原子炉冷却系統設備のBループの下部ヘッダ胴の一部等を、SUS 304系材料から耐応力腐食割れ性に優れたSUS 316L系材料に取り替える。

また、取替時に干渉範囲となるBループの原子炉本体のうち圧力管出入口管の一部並びに原子炉冷却系統設備のうち原子炉再循環系主配管の一部について一時的に撤去する必要があることから、この取替に際して、取替範囲をSUS 304系材料から、耐応力腐食割れ性に優れた材料（SUS316系材料、SUS 316L系材料）に変更する。

本変更工事は取替計画に従い、平成元年度にAループ側の取替を行った。平成2年度～3年度ではBループ側の取替を行う。

IV 添付書類

目 次

- IV-1 強度設計の基本方針
(耐震設計を含む)
- IV-2 入口管の強度計算書
 - IV-2-(1) 入口管の強度計算書 (耐震強度計算を含む)
 - IV-2-(2) 入口管の厚さ計算書
- IV-3 原子炉再循環系配管の強度計算書
 - IV-3-(1) 原子炉再循環系配管の強度計算書 (耐震強度計算を含む)
 - IV-3-(2) 原子炉再循環系配管の厚さ計算書
 - IV-3-(3) 原子炉再循環系配管の穴の補強計算書
 - IV-3-(4) 蒸気ドラム下降管ノズルセーフエンドの強計算書
(耐震強度計算を含む)
- IV-4 下部ヘッダの強度計算書 (耐震強度計算を含む)
 - IV-4-(1) 下部ヘッダ胴及び入口管ノズルの強度計算書
 - IV-4-(2) 下部ヘッダ振れ止め金物の強度計算書
- IV-5 添付図面
 - 図-1 入口管概略系統図
 - 図-2 Bループ入口管配管図 (1)
 - 図-3 Bループ入口管配管図 (2)
 - 図-4 原子炉再循環系概略系統図
 - 図-5 原子炉再循環系 (Bループ) 配管図
 - 図-6 下部ヘッダ外形図
 - 図-7 入口管支持構造物取付位置図
 - 図-8 原子炉再循環系配管支持構造物取付位置図

IV - 1 入口管，原子炉再循環系配管，下部ヘッダ及び
蒸気ドラム下降管ノズルセーフエンドの強度設計の基本方針
(耐震設計を含む)

目 次

1. 概 要	IV-1-1
2. 設備の重要度による耐震クラス区分	IV-1-1
3. 構造計画	IV-1-1
4. 設計地震力	IV-1-6
5. 荷重の組合せ及び許容応力（第1種管及び第1種容器）	IV-1-8
6. 動的解析の内容	IV-1-10

1. 概 要

機器及び配管系の応力算出及び評価に関しては、通商産業省告示第501号により行う。耐震設計の基本方針については、従来通りで下記によるものとする。

2. 設備の重要度による耐震クラス区分

表1-1

設 備 \ 耐震クラス	A _s	A	B	C	摘 要
1. 原子炉本体					
(1) 圧力管出入口管	—	入口管	—	—	R/B
2. 原子炉冷却系統設備					
(1) 原子炉再循環系	—	下部ヘッド	—	—	R/B
	—	主配管	—	—	R/B
	—	蒸気ドラム 下降管/スルセ-フェンド	—	—	R/B

3. 構造計画

3.1 原 則

イ. 機器及び配管類は、これを支持する建物、構造物の共振領域を避け、極力剛あるいは強靱な構造とする。

3.2 配管類

3.2.1 入口管

表1-2

主要区分					計 画 の 概 要		摘 要
					支 持 構 造	主 体 構 造	
原 子 炉 本 体 ・ 配 管 出 入 口 管	架 空 ・ 配 管	高 温	屋 内	口 径 小	支持枠で配管を束ね、 屋内配管用支持ばり及 びコンクリート構造物 にスナップ、コンスタ ントハンガ、レストレ イント等を介し支持枠 を取り付ける。	下部ヘッドより圧力管 下部延長部に至るまで の冷却材流路管で、2 系統各々112本、合 計224本ある。 入口管 ・配管の寸法 (外径×肉厚) mm mm (60.5×5.5) (60.5×8.7) ・材質 SUS304TP SUS316TP	高温 (最高 296℃)

3.2.2 原子炉再循環系配管

表1-3

主要区分					計 画 の 概 要		摘 要
					支 持 構 造	主 体 構 造	
原 子 炉 冷 却 系 統 設 備 ・ 原 子 炉 再 循 環 系 配 管	架 空 配 管	高 温	屋 内	口 径 ・ 大 小	原子炉建屋内部コンクリート構造物に固定した支持架構にスナッパ、コンスタントハンガ等を介して支持される。	蒸気ドラムノズルから下部ヘッダノズルを連結する下降管、マニホールド、吸込管、吐出管からなる連成配管である。 <ul style="list-style-type: none"> ・配管の寸法 (外径×肉厚) mm mm 下降管 (355.6×19.0) (355.6×23.8) 吐出管 (406.4×19.325) (406.4×21.4) (406.4×26.2) ・材質 下降管 SUS 27TP SUS 316LTP 吐出管 SUS 316LTP SUS F 316L 	高温 (最高 296 °C)

3.3 機器類

表 1 - 4

主要区分	計 画 の 概 要		摘 要
	基 礎 支 持 構 造	主 体 構 造	
1.原子炉冷却系統設備 (1) 下部ヘッド	下部ヘッドの水平、鉛直荷重は、6箇所の拘束機構によって直接鋼構造支持架構に伝達される。拘束機構は、中央下部のものを除き、下部ヘッド軸方向の熱膨張による変位に対しては自由、これと直角方向の地震による変位に対しては固定である。	横置円筒形容器 外径： 609.6 mm 肉厚： 38.9 mm 長さ：15780 mm 材質：SUS F 316L : SUS 27TP 数量：2基	最高使用温度 296℃ 最高使用圧力 8.2 kg/cm ²

表 1 - 5

主要区分	概 要		摘 要
	支 持 構 造	主 体 構 造	
1. 原子炉冷却系統設備 (1) 原子炉再循環系 イ. 蒸気ドラム ロ. 下降管ノズル セーフエンド	蒸気ドラムの鉛直荷重は、内部コンクリート構造物 E L 47.0 m より吊り下げられた 2 本の U ボルトにより支持される。蒸気ドラムの水平荷重は、蒸気ドラム中央部並びに端部上下に設けられた拘束機構を介して鋼構造支持架構に、ひいては内部コンクリート構造物に伝達される。拘束機構は、中央下部のものを除き、蒸気ドラム軸方向の熱膨張の変位に対しては自由、これと直角方向の地震による変位に対しては固定である。 下降管ノズルセーフエンドは蒸気ドラムに固定されているため、蒸気ドラムと一括で支持される。	横置円筒形ドラム 外径： 1 9 9 5 mm 肉厚： 1 1 0 mm 長さ： 1 6 1 2 6 mm 材質：原子力発電用 鍛鋼品 1 種 A 数量： 2 基	最高使用温度 2 9 6 °C 最高使用圧力 8 2 kg/cm ²
		下降管ノズルセーフ エンド 外径： 355.6 / 390.0 mm 肉厚： 2 3.8 / 3 2.0 mm 長さ： 2 6 9.5 mm 材質：SUS F 316L 数量： 8 個	最高使用温度 2 9 6 °C 最高使用圧力 8 2 kg/cm ²

4. 設計地震力
4.1 静的基準震度

表 1 - 6

	耐震 クラス	水 平	鉛 直	摘 要
機器, 配管類	A	1.2 × 3 × 0.8 C _o	0.288	C _o は建築基準法に定められる震度 鉛直震度は基礎底面における 水平震度の1/2 0.8は岩盤上にある場合の低減係数。
備 考				

4.2 動的震度

表 1 - 7

事 項	耐震クラス	機 器 ・ 配 管 類	摘 要
		A	
(1) 基盤の最大加速度(G)		0.25	
(2) 設計地震波		イ. EL CENTRO-1940NS ロ. GOLDEN GATE PARK-1957S80E ハ. TAFT-1952S69E	
(3) 設計用床応答曲線		設計地震波による床応答曲線* (東西, 南北方向)	
(4) 動的解析の方法		取替範囲の床応答曲線* を, 方向毎にそれぞれ包絡したものをを用いたモーダル解析を行う。	
(5) そ の 他		—	
備 考		*既認可工事計画認可申請書第8回申請分の「Ⅲ. 添付書類」の「Ⅲ-1. 耐震性についての計算書」に記載	

4.3 設計震度および地震力

表 1 - 8

	耐ク ラ 震ス	主要区分	設 計 震 度		設計地震力	
			水 平	鉛 直	水 平	鉛 直
機 器 及 び 配 管 類	A	圧力管出 入口管 下部ヘッ ダ 原子炉再 循環系配 管 蒸気ドラム 下降管バ ルセ-フエンド	動的震度と し、据付位 置における 支持構造物 の設計震度 の1.2倍を 下回らない 値とする。	鉛直震度は 0.288と し、水平震 度と同時に 不利な方向 に作用する ものとする。	動的解析に より定まる 地震力とす る。 但し、据付 位置におけ る支持構造 物の設計震 度の1.2倍 より定まる 地震力を下 回らない値 とする。	鉛直震度 0.288よ り定まる地 震力とし、 水平方向地 震力と同時 に不利な方 向に作用す るものとし ます。

5. 荷重の組合せ及び許容応力（第1種管及び第1種容器）

5.1 第1種管

表1-9

運転 状態	荷重の 組合せ	許 容 応 力 強 さ			備 考														
		一次応力	一次+二次応力	ピーク応力															
		$P_L + P_b$	$P_L + P_b + Q$	$P_L + P_b + Q + F$															
—*	D + M	1.5 S m	—	—	*設計状態 (1)通産省告示第501号による。 (2)一次+二次応力が3 S mを超えた場合は通産省告示第501号第47条により弾塑性解析を行う。														
I	O	—	3 S m	疲労評価 ($U \leq 1$)															
II	O	—	3 S m	疲労評価 ($U \leq 1$)															
III	D + O	2.25 S m	—	—															
IV	D + O + L	3 S m	—	—															
地震 時	D + M + S ₁	1.5 S m	—	—															
	O + S ₁	—	3 S m	疲労評価 ($U + U_S \leq 1$)															
<p>記号の説明</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;">D : 死荷重</td> <td style="width: 50%;">P_L : 一次局部応力</td> </tr> <tr> <td>O : 運転状態荷重</td> <td>P_b : 一次曲げ応力</td> </tr> <tr> <td>M : 設計状態荷重</td> <td>Q : 二次応力</td> </tr> <tr> <td>S₁ : 設計地震荷重</td> <td>F : ピーク応力</td> </tr> <tr> <td>S₂ : 安全検討用地震荷重</td> <td>S_m : 設計応力強さ（告示第501号別表第2）</td> </tr> <tr> <td>L : 事故時荷重</td> <td>U : 運転状態 I, II における疲れ累積係数</td> </tr> <tr> <td></td> <td>U_S : 地震時における疲れ累積係数</td> </tr> </table>						D : 死荷重	P _L : 一次局部応力	O : 運転状態荷重	P _b : 一次曲げ応力	M : 設計状態荷重	Q : 二次応力	S ₁ : 設計地震荷重	F : ピーク応力	S ₂ : 安全検討用地震荷重	S _m : 設計応力強さ（告示第501号別表第2）	L : 事故時荷重	U : 運転状態 I, II における疲れ累積係数		U _S : 地震時における疲れ累積係数
D : 死荷重	P _L : 一次局部応力																		
O : 運転状態荷重	P _b : 一次曲げ応力																		
M : 設計状態荷重	Q : 二次応力																		
S ₁ : 設計地震荷重	F : ピーク応力																		
S ₂ : 安全検討用地震荷重	S _m : 設計応力強さ（告示第501号別表第2）																		
L : 事故時荷重	U : 運転状態 I, II における疲れ累積係数																		
	U _S : 地震時における疲れ累積係数																		

5.2 第1種容器

表1-10

運転 状態	荷重の 組合せ	許 容 応 力 強 さ				備 考
		一次応力		一次+二次応力	ピーク応力	
		P_m	$P_L + P_b$	$P_L + P_b + Q$	$P_L + P_b + Q + F$	
—*	D+M	S_m	$1.5 S_m$	—	—	*設計状態
I	O	—	—	$3 S_m$	疲労評価 ($U \leq 1$)	(1)通産省告示 第501号に よる。 (2)一次+二次 応力が $3 S_m$ を超えた場 合は通産省 告示第501 号第14条に より弾塑性 解析を行う。
II	O	—	—	$3 S_m$	疲労評価 ($U \leq 1$)	
III	D+O	$1.2 S_m$	$1.8 S_m$	—	—	
IV	D+O+L	$2.4 S_m$ $2/3 S_u$	$3.6 S_m$ S_u	—	—	
地震 時	D+M+S ₁ D+O+S ₁	$1.2 S_m$	$1.8 S_m$	$3 S_m$	疲労評価 ($U+U_S \leq 1$)	
<p>記号の説明</p> <p>D : 死荷重 O : 運転状態荷重 M : 設計状態荷重 S₁ : 設計地震荷重 S₂ : 安全検討用地震荷重 L : 事故時荷重</p> <p>P_m : 一次一般膜応力 P_L : 一次局部応力 P_b : 一次曲げ応力 Q : 二次応力 F : ピーク応力 S_m : 設計応力強さ (告示第501号別表第2) S_u : 設計引張強さ (告示第501号別表第10) U : 運転状態 I, II における 疲れ累積係数 U_S : 地震時における疲れ累積係数</p>						(3)運転状態IV における一 次応力に対 する許容値 は2つの値 のうち小さ い方の値を とる。

6. 動的解析の内容

6.1 配管

表 1-11

項 目	計 算 条 件	摘 要
<p>1. 計算コード (1)入口管 (2)原子炉再循環系配管</p>	<p>S A P - I V 実績 沸騰水型軽水炉において実績を有する。 P I S Y A N 実績 加圧水型軽水炉において実績を有する。</p>	
<p>2. 解析手法の概要</p>	<p>立体配管を多質点系にモデル化し、有限要素法を用いて3次元配管振動解析を行い、固有周期を算出し床応答曲線を用いたモーダル解析を行う。</p>	
<p>3. 計算機入力 (1)モデル化 (2)入力データ (3)減衰定数 (4)入力地震</p>	<p>多質点系立体モデル 配管座標，付加重量，配管寸法，弾性係数，支持条件 0.5 % E L C E N T R O - 1 9 4 0 N S G O L D E N G A T E P A R K - 1 9 5 7 S 8 0 E T A F T - 1 9 5 2 S 6 9 E</p>	<p>地盤最大加速度はいずれも0.25 Gとする。</p>
<p>4. 出力 (1)固有値 (2)応答値 (3)地震力</p>	<p>固有周期 振動モード 刺激係数 各質点での各次の応答加速度を求め、各次応答値の2乗和平方根により重ね合わせて応答値を求める。(SRSS法) 各支持点，評価点の慣性力，反力，せん断力，軸力，曲げモーメントを算出する。</p>	

6.2 容 器

表 1 - 12

項 目	計 算 条 件	摘 要
1. 計算コード	NASTRAN 実績 加圧水型及び沸騰水型軽水炉において 実績を有する。	
2. 解析手法の 概要	構造体を要素の集合体としてモデル化し 要素剛性行列から全要素行列を組立て、 与えられた境界条件のもとで、与えられ た荷重とのつり合式を立て、変位、応力 を計算する。	
3. 計算機入力 (1)モデル化 (2)入力データ	軸対称ソリッド要素によるモデル化 荷重：内圧または温度分布，境界条件	
4. 出力 (1)変 位	節点変位 節点（要素）応力	

6.3 床応答曲線の策定方針

設計地震波 3 波による建屋の時刻歴応答解析で求められた床応答曲線を東西、南北方向にそれぞれ包絡し、これをスムーズ化する。

6.4 機器・配管の耐震支持方針（屋内、屋外）

- (1) A s 及び A クラスは原則として動的あるいは静的震度のいずれか大きな方による地震応答解析及び熱応力解析の 2 解析を行う。
- (2) 計装配管や小口径配管については原則として定ピッチスパン法を適用する。

IV - 2 入口管の強度計算書

IV - 2 - (1) 入口管の強度計算書
(耐震強度計算を含む)

目 次

1. 概 要	IV-2-(1)-1
2. 基本条件	IV-2-(1)-1
3. 計算モデル及び仕様	IV-2-(1)-2
4. 計算方法の概要	IV-2-(1)-3
5. 許容応力	IV-2-(1)-14
6. 計算結果	IV-2-(1)-15
7. 応力評価	IV-2-(1)-24
8. 代表的な振動モード図	IV-2-(1)-29

1. 概 要

入口管はAループ、Bループの各々につき112本あり、また、各ループの半分（1／4炉心部分）について対称に配置されている。今回はBループの中央部についてミラー対称に4本ずつ、計8本について部分取替を行うことから、解析は8本のうち片側4本について行った。

2. 基本条件

入口管の強度計算は、下記を基本条件とした。

- 2.1 耐震クラスはAクラス、機器の区分は第1種管である。
- 2.2 耐震解析は、最大水平加速度0.25Gが原子炉建屋基礎部に加わるとして動的解析を行い、動的解析より定まる水平地震力又は $1.2 \times 0.8 \times 3 C_0$ (C_0 は建築基準法に定められる震度) より定まる静的地震力のいずれか大きい方と鉛直方向地震力を同時に不利な方向に作用させて評価する。
- 2.3 各部の応力の算出及び評価に関しては、通産省告示第501号「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」による。なお、耐震設計は、本発電所の既設構造物の設計に用いた手法のものと同様な手法で行う。

3. 計算モデル及び仕様

3.1 計算モデル

入口管は、鳥瞰図2-1, 2-2, 2-3, 2-4に示すように、下部ヘッド出口ノズルから圧力管集合体入口までを配管によって構成される。

下部ヘッド出口ノズル、圧力管集合体は堅固に支持されているので、ここを固定の条件として、配管を鳥瞰図2-1, 2-2, 2-3, 2-4に示すようにモデル化する。

3.2 配管仕様は表2-1に示すとおりである。

3.3 支持条件は、鳥瞰図2-1, 2-2, 2-3, 2-4に示すとおりである。

表2-1 配管仕様

解析範囲	下部ヘッド出口ノズルから圧力管集合体入口まで					
管名称	最高使用圧力 (kg/cm ²)	最高使用温度 (°C)	管外径 (mm)	管厚さ (mm)	材 料	耐 震 クラス
入口管	8.2	296	60.5	5.5	SUS304TP	A
				8.7	SUS316TP	

4. 計算方法の概要

通産省告示第 501号第 1 種管の規定により応力を算出し，評価を行う。

応力の算出は，一次応力及び一次+二次応力を内圧，自重，熱膨張等の荷重条件を考慮し，地震時も含めて計算する。

4.1 応力算出

4.1.1 一次応力

(1) 設計状態の一次応力は，告示第 501号第46条第 1 項第 1 号により応力を算出する。

考慮する荷重は内圧（最高使用圧力）及び自重である。

なお，運転状態Ⅲ，Ⅳは設計状態の条件以下であり，評価不要である。

(2) 地震時の一次応力は，告示第 501号第46条第 1 項第 1 号を準用して応力を算出する。

考慮する荷重は内圧（最高使用圧力），自重及び地震慣性力である。

4.1.2 一次+二次応力

(1) 運転状態Ⅰ，Ⅱの一次+二次応力は，告示第 501号第46条第 1 項第 4 号により応力を算出する。

考慮する荷重は内圧，熱膨張及び熱衝撃である。

(2) 地震時の一次+二次応力は，告示第 501号第46条第 1 項第 4 号を準用して応力を算出する。

考慮する荷重は内圧，熱膨張，熱衝撃，地震慣性力及び地震相対変位とし，運転状態Ⅰ，Ⅱ，Ⅲの各モードのうち一次+二次応力が最大のものと地震を組合わせて評価する。

4.1.3 弾塑性解析

前記 4.2 に示す一次+二次応力が許容条件（ $3 S_m$ ）を満足しない場合は，告示第 501号第47条を適用する。

4.1.4 ピーク応力及び疲労評価

- (1) 運転状態Ⅰ，Ⅱにおけるピーク応力及び繰返しピーク応力強さを，告示第 501号第46条第 1 項第 5 号（一次＋二次応力が許容条件を満足しない場合の繰返しピーク応力強さは告示第 501号第47条）により算出する。
- (2) 地震時のピーク応力及び繰返しピーク応力強さは，告示第 501号第46条第 1 項第 5 号（一次＋二次応力が許容条件を満足しない場合の繰返しピーク応力強さは告示第 501号第47条）を準用し，運転状態Ⅰ，Ⅱ，Ⅲの各モードのうち，ピーク応力が最大のもので地震とを組合わせて疲れ累積係数を算出する。

4.2 荷重条件

表 2-2，図 2-1，図 2-2，図 2-3 に示す過渡条件と，以下の荷重条件を考慮して計算を行った。

- (1) 内圧……………最高使用圧力，運転圧力。
- (2) 自重……………配管の自重によるモーメントの作用を考慮した。
- (3) 熱膨張……………配管自体の熱膨張のほか，下部ヘッダ出口ノズル，圧力管集合体入口ノズル及び熱移動量を考慮した。

（鳥瞰図 2-1，2-2，2-3，2-4 参照）

- (4)地震慣性力 地震動によるモーメントは配管系の次の 2 つの解析結果のうち，いずれか一方，大きい方を採用した。

A …… X 方向と Y 方向に同時に地震慣性力が加わる場合。

B …… Z 方向と Y 方向に同時に地震慣性力が加わる場合。

なお，地震の繰返し回数は 50 回とする。

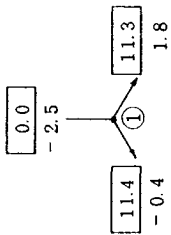
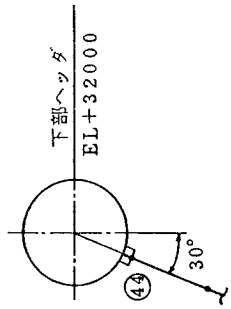
(5)地震相対変位 配管支持点に与える強制変位量は、建屋の弾性変形及び支持ばりの変位量を考慮した。(鳥瞰図2-1, 2-2, 2-3, 2-4参照)地震相対変位によるモーメントは、次の2つの解析結果のうち、いずれか一方、大きい方を採用した。

A……X方向とY方向に同時に地震相対変位が加わる場合。

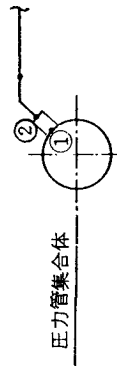
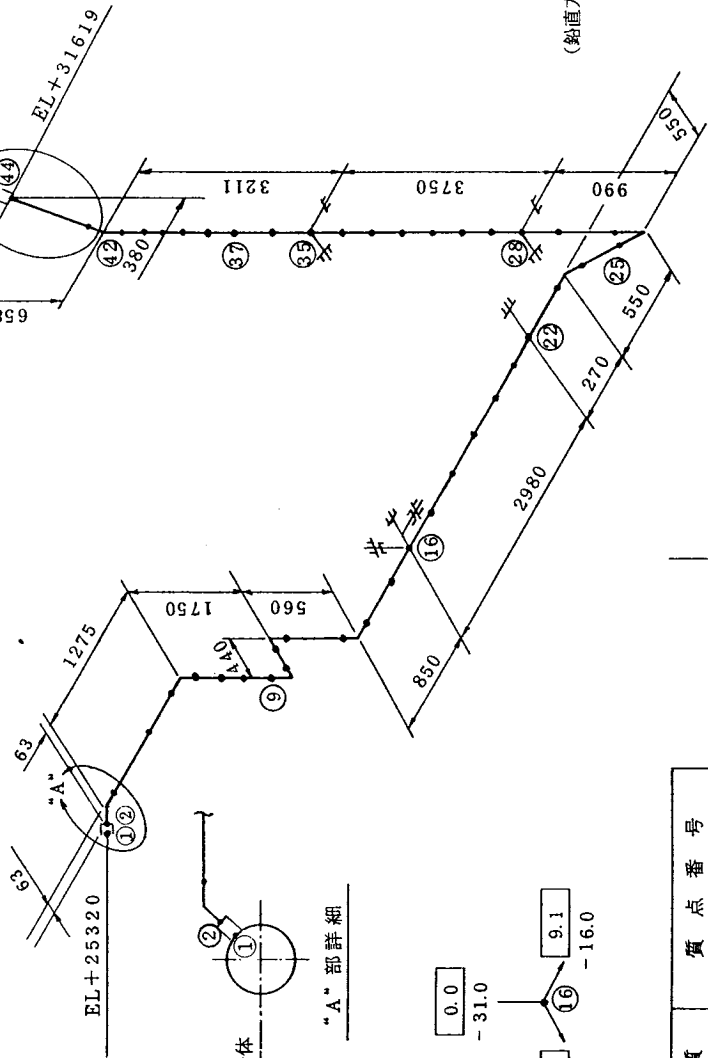
B……Z方向とY方向に同時に地震相対変位が加わる場合。

なお、地震の繰返し回数は50回とする。

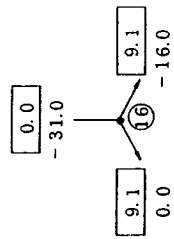
(6) 熱衝撃…… 各運転状態において配管の肉厚方向に生じる温度差によって発生する応力を考慮した。各運転状態における流体の圧力及び温度は図2-1, 図2-2に示す値を用いた。



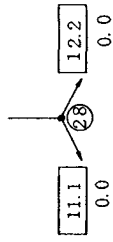
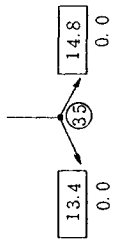
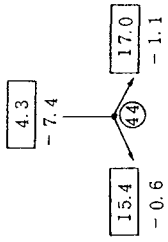
“B”部詳細



“A”部詳細



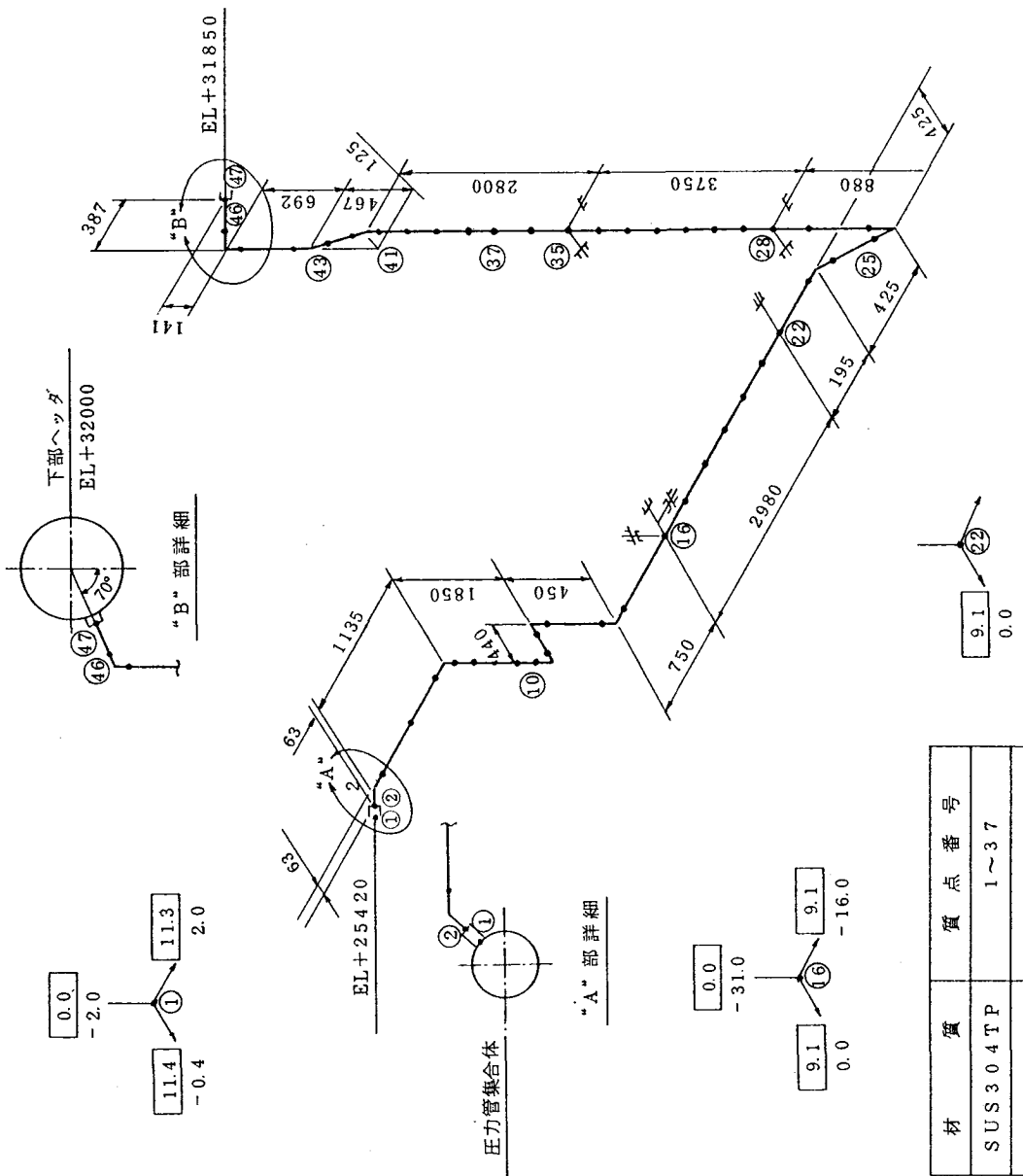
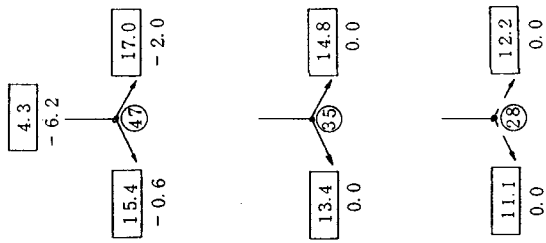
材 質	質 点 番 号
SUS304TP	1~37
SUS316TP	37~44



内 容	
質 点	●
ノズル	┌┐
レストレント	≡≡
スナッパ	≡≡
□	内は地震による 相対変位量
□	外は熱膨張による 移動量

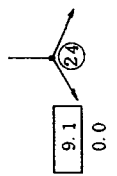
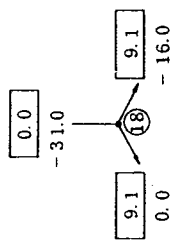
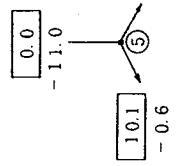
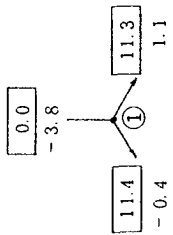
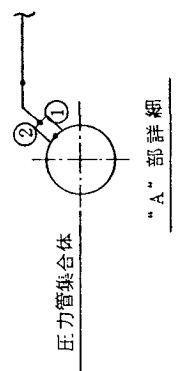
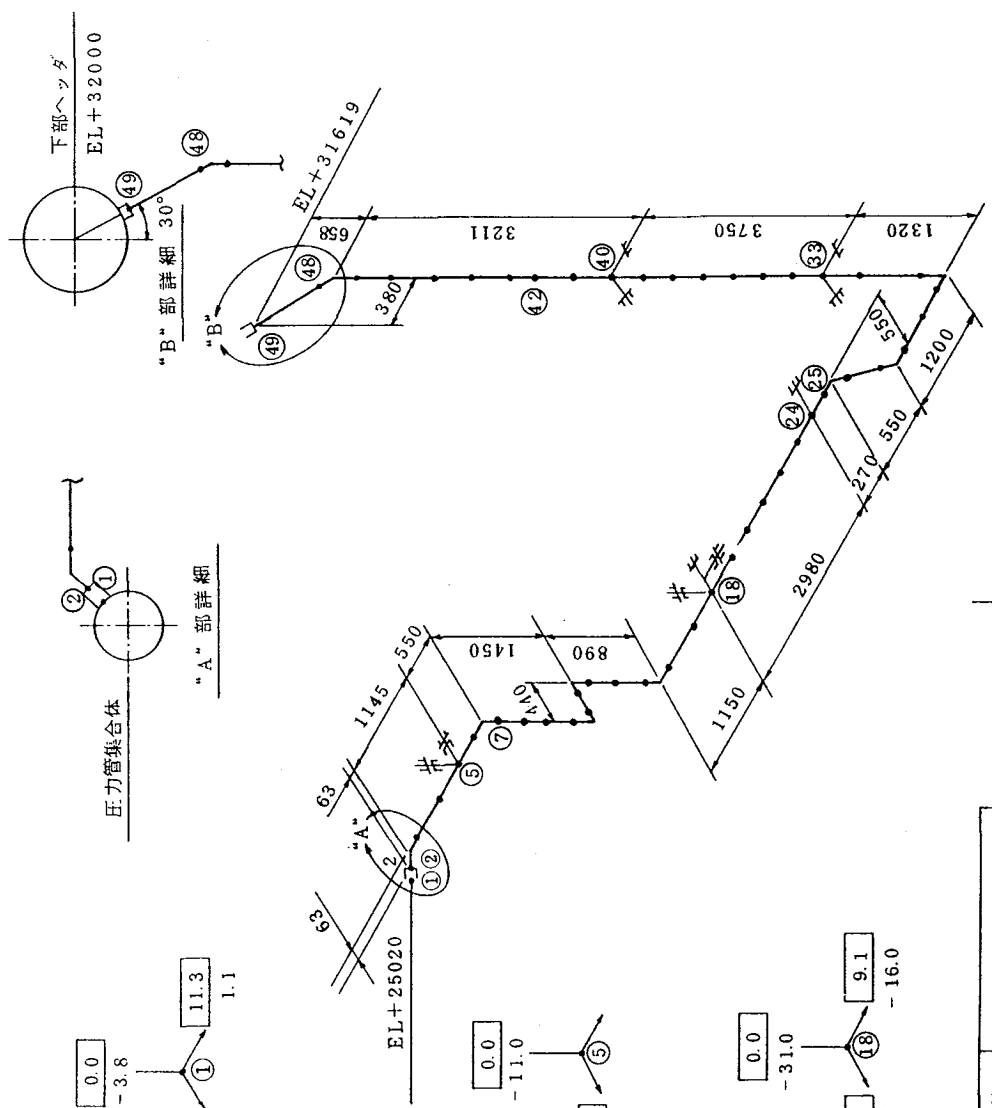
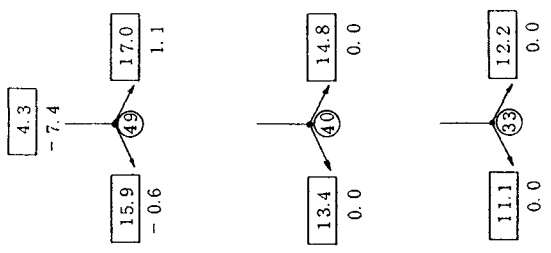
(鉛直方向) Y mm
Z mm X mm (下部へヘッド軸方向)

鳥瞰図 2-1 L3371及びL3369



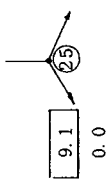
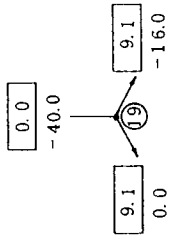
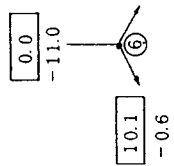
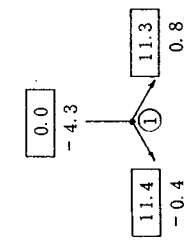
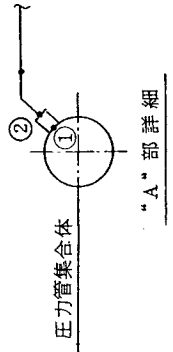
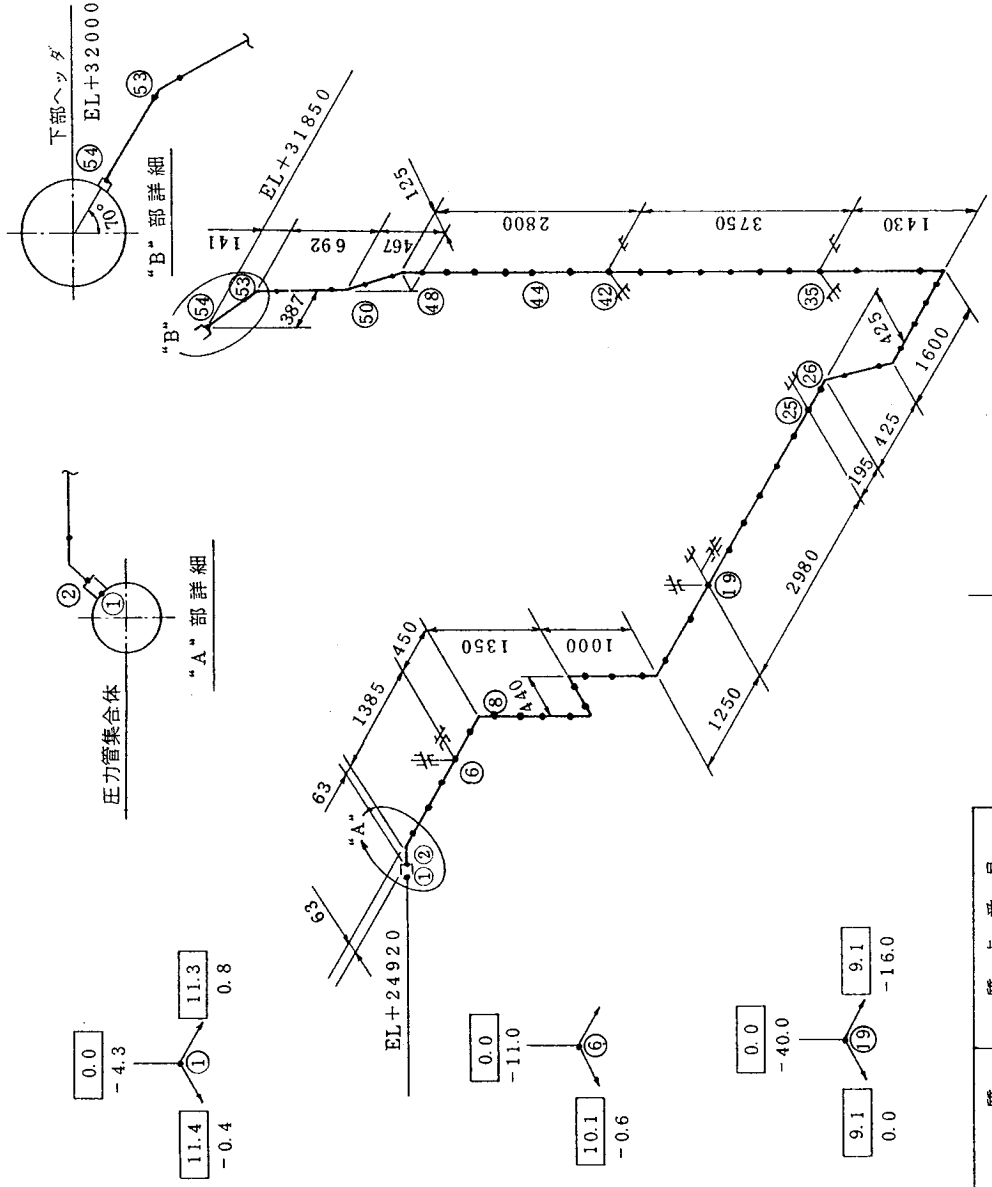
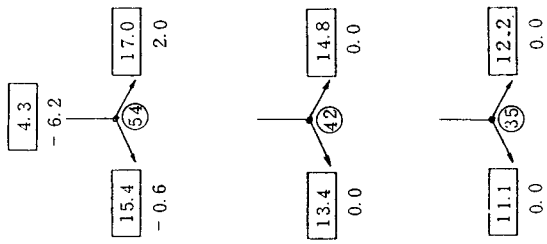
材質	質点番号
SUS304TP	1~37
SUS316TP	37~47

鳥瞰図 2-2 L3571及びL3569



材 質	質 点 番 号
SUS304TP	1~42
SUS316TP	42~49

鳥瞰図 2-3 L2771及びL2769



材	質	質点番号
SUS304TP		1~44
SUS316TP		44~54

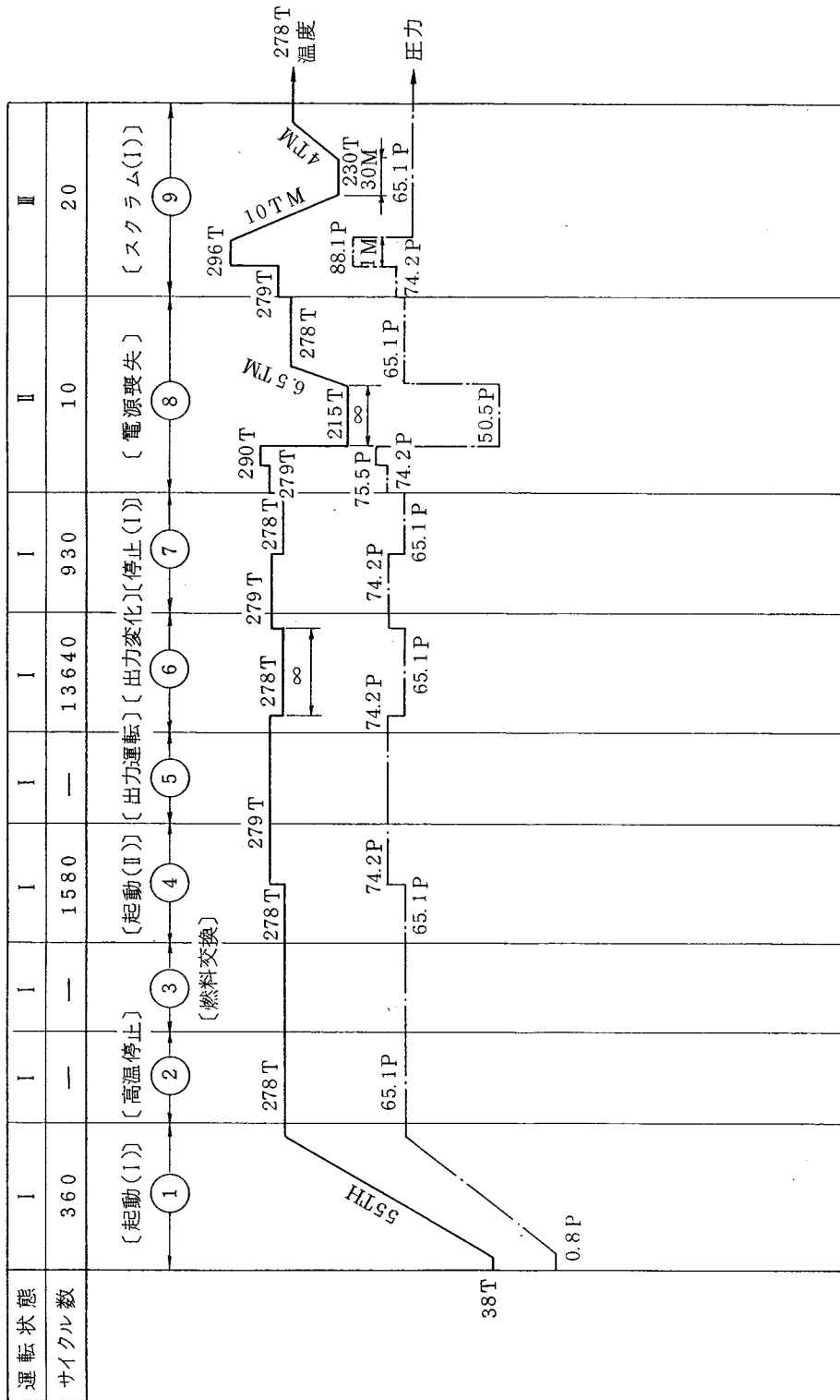
鳥瞰図 2-4 L2571及びL2569

表 2 - 2 入口管の過渡条件

番号	運転状態	過渡条件	過渡条件の説明	発生回数	備考
1	I	起 動 (I)	冷温停止から高温停止までの原子炉温度上昇	3 6 0	
2	I	高 温 停 止	高温停止	—	(注1)
3	I	燃 料 交 換	燃料交換	—	(注1)
4	I	起 動 (II)	高温停止から出力運転まで	1 5 8 0	
5	I	出 力 運 転	出力運転	—	(注1)
6	I	出 力 変 化	発電出力変化	1 3 6 4 0	
7	I	停 止 (I)	出力運転から高温停止まで	9 3 0	
8	II	所内電源喪失	出力運転中の所内電源喪失	1 0	(注2)
9	III	スクラム (I)	タービントリップ	2 0	最高使用圧力×1.1になる場合
10	III	スクラム (II)	タービントリップ	2 6 0	
11	II	スクラム (III)	手動その他	3 6 0	
12	I	停 止 (II)	給水により水位を保ちながら原子炉圧力低下	3 6 0	高温停止から余熱除去系作動領域まで
13	I	停 止 (III)	原子炉温度低下	3 6 0	余熱除去系による原子炉温度の低下
14	II	漏 洩 試 験		5 0	

(注1) 圧力、温度とも変化しないので、考慮しない。

(注2) 地震の組み合わされる過渡条件であるので、疲れ解析では地震の回数(50回)に合わせた。



記号
 T.....温度 (°C)
 P.....圧力 (kg/cm²)
 TH.....温度変化率 (°C/時間)
 TM.....温度変化率 (°C/分)
 M.....時間 (分)

図 2 - 1 過 渡 条 件

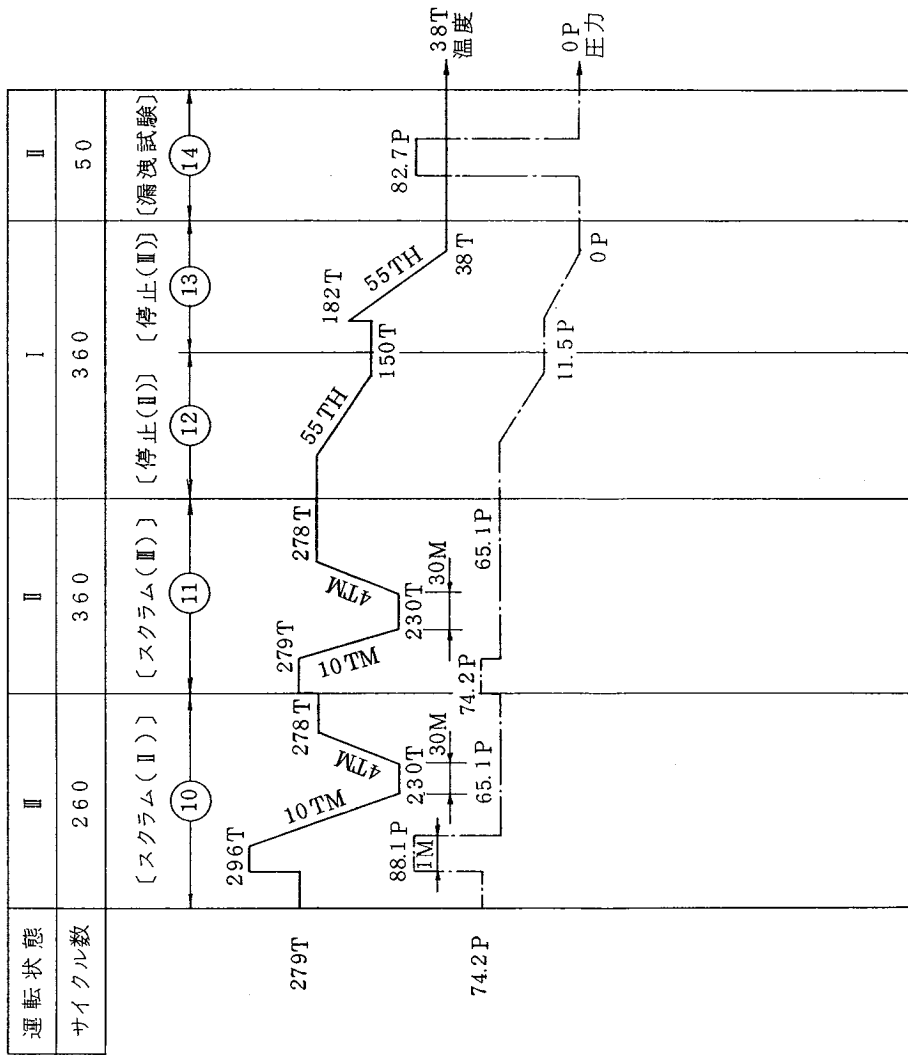
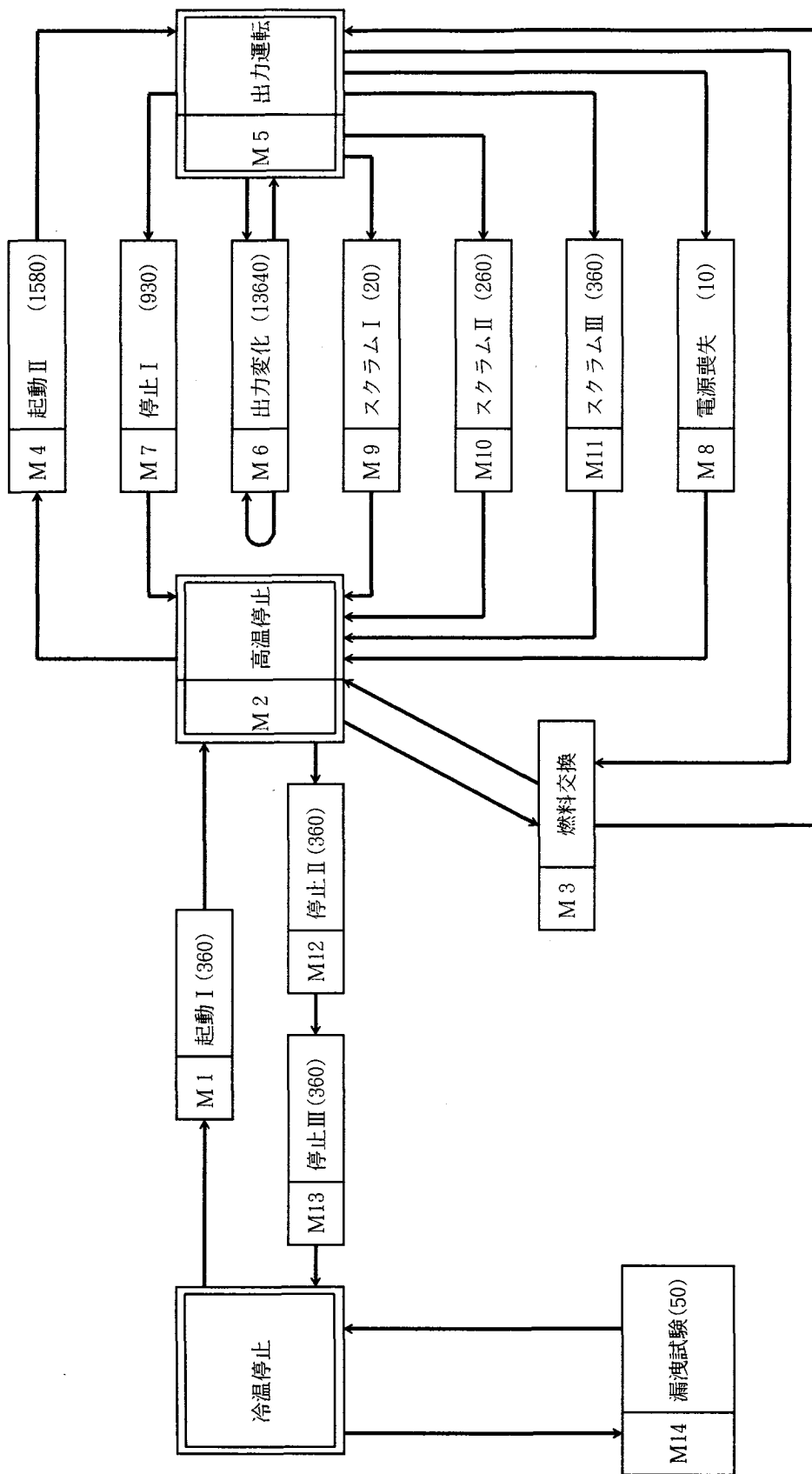


図 2 - 2 過 渡 条 件



(注) () 内は繰返回数 (過渡条件回数) を示す。

図 2-3 運転サイクル図

5. 許容応力

5.1 一次応力

- (1) 設計状態の一次応力は、告示第 501号第46条第 1 項第 1 号により $1.5 S m$ 以下であることを確認する。
- (2) 地震時の一次応力は、告示第 501号第46条第 1 項第 1 号を準用して $1.5 S m$ 以下であることを確認する。

5.2 一次+二次応力

- (1) 運転状態 I, II の一次+二次応力は、告示第 501号第46条第 1 項第 4 号により $3 S m$ 以下であることを確認する。
- (2) 地震時の一次+二次応力は、告示第 501号第46条第 1 項第 4 号を準用して $3 S m$ 以下であることを確認する。

5.3 ピーク応力及び疲労評価

- (1) 運転状態 I, II におけるピーク応力及び繰返しピーク応力強さは、告示第 501号第46条第 1 項第 5 号及び第47条により疲れ累積係数が 1 以下であることを確認する。
- (2) 地震時のピーク応力及び繰返しピーク応力強さは、告示第 501号第46条第 1 項第 5 号及び第47条を準用し、(1)による疲れ累積係数との和が 1 以下であることを確認する。

5.4 使用材料の許容応力値は表 2 - 3 のとおりである。

表 2 - 3 許容応力表 (kg/mm²)

使用材料	許容応力		備考
SUS316TP	1.5 Sm	18.1	296℃の値
	3 Sm	36.3	
SUS304TP	1.5 Sm	17.5	296℃の値
	3 Sm	35.1	

6. 計算結果

6.1 固有値解析結果

各モードの固有周期と床応答曲線を用いて求めた各モードにおける応答加速度を表 2-4～2-7 に示す。

なお、減衰定数は 0.5% とした。

6.2 拘束点反力

鳥瞰図 2-1, 2-2, 2-3, 2-4 に示した取替範囲内に位置する各拘束点における反力を表 2-8～2-11 に示す。

なお、その他の拘束点についても健全性に問題のないことを確認している。

表 2 - 4 固有周期・設計震度

耐 震 ク ラ ス					A		
モード	固有周期 (S)	刺 激 係 数			設 計 震 度		
					応 答 水 平 震 度		鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次	0.117	0.009	0.013	0.012	1.020	1.020	0.288
2次	0.103	0.001	0.002	0.022	1.091	1.091	0.288
3次	0.096	0.027	0.001	0.006	1.163	1.163	0.288
4次	0.086	0.009	0.021	0.012	1.264	1.264	0.288
5次	0.078	0.049	0.076	0.027	1.298	1.298	0.288
6次	0.074	0.058	0.056	0.055	1.219	1.219	0.288
7次	0.070	0.025	0.047	0.013	1.141	1.141	0.288
8次	0.060	0.043	0.007	0.056	0.970	0.970	0.288
静 的 震 度					0.864	0.864	0.288

鳥瞰図 2 - 1 参照

表 2 - 5 固有周期・設計震度

耐 震 ク ラ ス					A		
モード	固有周期 (S)	刺 激 係 数			設 計 震 度		
					応 答 水 平 震 度		鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次	0.120	0.001	0.006	0.006	1.020	1.020	0.288
2次	0.113	0.019	0.015	0.026	1.020	1.020	0.288
3次	0.087	0.053	0.057	0.002	1.260	1.260	0.288
4次	0.084	0.027	0.040	0.011	1.285	1.285	0.288
5次	0.077	0.074	0.014	0.029	1.270	1.270	0.288
6次	0.075	0.005	0.083	0.016	1.243	1.243	0.288
7次	0.065	0.003	0.013	0.031	1.061	1.061	0.288
8次	0.052	0.032	0.024	0.069	0.651	0.651	0.288
静 的 震 度					0.864	0.864	0.288

鳥瞰図 2 - 2 参照

表 2 - 6 固有周期・設計震度

耐 震 ク ラ ス					A		
モード	固有周期 (S)	刺 激 係 数			設 計 震 度		
					応 答 水 平 震 度		鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次	0.142	0.003	0.005	0.000	1.047	1.047	0.288
2次	0.127	0.001	0.005	0.060	1.020	1.020	0.288
3次	0.105	0.001	0.016	0.017	1.073	1.073	0.288
4次	0.101	0.001	0.031	0.003	1.117	1.117	0.288
5次	0.087	0.007	0.035	0.014	1.258	1.258	0.288
6次	0.075	0.089	0.027	0.039	1.231	1.231	0.288
7次	0.068	0.032	0.087	0.008	1.104	1.104	0.288
8次	0.056	0.024	0.022	0.043	0.824	0.824	0.288
静 的 震 度					0.864	0.864	0.288

鳥瞰図 2 - 3 参照

表 2 - 7 固有周期・設計震度

耐 震 ク ラ ス					A		
モード	固有周期 (S)	刺 激 係 数			設 計 震 度		
					応 答 水 平 震 度		鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次	0.153	0.005	0.018	0.002	1.173	1.173	0.288
2次	0.134	0.001	0.003	0.062	1.020	1.020	0.288
3次	0.113	0.016	0.008	0.008	1.020	1.020	0.288
4次	0.108	0.010	0.018	0.006	1.038	1.038	0.288
5次	0.100	0.005	0.054	0.024	1.123	1.123	0.288
6次	0.079	0.094	0.019	0.021	1.305	1.305	0.288
7次	0.073	0.023	0.089	0.014	1.200	1.200	0.288
8次	0.054	0.028	0.030	0.036	0.742	0.742	0.288
静 的 震 度					0.864	0.864	0.288

鳥瞰図 2 - 4 参照

表2-8 拘束点反力 (L3371及びL3369)

拘束点番号	荷重条件	反力 (kg)			モーメント (kg・m)		
		Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
35	熱膨張 自地震 地地震 地地震 相対変位	7		7			
		2 4 3 6		1 3 9 4			
44	熱膨張 自地震 地地震 地地震 相対変位	4	4	3	4	1	9
		1 2 4 3	1 3 9 6	1 2 9 2	1 2 4 5	1 1 1 2	2 0 3 6

X: Y: Z方向は鳥瞰図2-1による。

表2-9 拘束点反力 (L3571及びL3569)

拘束点番号	荷重条件	反力 (kg)			モーメント (kg・m)		
		F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z
35	熱膨張 自地慣性変位 地震相対変位	5		6			
		1		1			
		4		4			
		6		4			
47	熱膨張 自地慣性変位 地震相対変位	3	9	2	4	1	1
		1	12	1	1	0	3
		2	27	2	16	10	26
		4	8	2	4	2	5

X : Y : Z 方向は鳥瞰図2-2による。

表 2 - 10 拘束点反力 (L 2 7 7 1 及び L 2 7 6 9)

拘束点番号	荷重条件	反力 (kg)			モーメント (kg・m)		
		F x	F y	F z	M x	M y	M z
4 0	熱膨張 自地慣性 地震相対変位	7		5			
		3		1			
		5		4			
		6		2			
4 9	熱膨張 自地慣性 地震相対変位	0	2	2	3	1	4
		1	17	1	1	1	2
		2	51	26	21	10	37
		8	4	2	5	1	6

X : Y : Z 方向は鳥瞰図 2 - 3 による。

表 2-11 拘束点反力 (L2571及びL2569)

拘束点番号	荷重条件	反力 (kg)			モーメント (kg・m)		
		F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z
42	熱膨張 自地慣性変位 地震相対変位	7		4			
		3		1			
		6		4			
		3		8			
54	熱膨張 自地慣性変位 地震相対変位	1	2	2	3	1	5
		1	16	1	1	1	3
		3	3	2	2	1	3
		1	4	1	3	1	6

X : Y : Z 方向は鳥瞰図 2-4 による。

7. 応力評価

申請範囲の配管の厚さは全て同一であるため、応力が最大となる点をもって評価することが妥当である。

応力評価結果は表 2-12～2-15に示すとおりである。

7.1 一次応力

一次応力の最大値は下記に示すとおりであり、許容値を満足している。

設計状態……………1.7 kg/mm² (許容応力18.1 kg/mm²)

評価点 5 4 (鳥瞰図 2-4)

地震時 ……………4.0 kg/mm² (許容応力18.1 kg/mm²)

評価点 4 4 (鳥瞰図 2-1)

評価点 4 9 (鳥瞰図 2-3)

7.2 一次+二次応力

一次+二次応力の最大値は下記に示すとおりであり、許容値を満足している。

運転状態 I・II ……29.7 kg/mm² (許容応力36.3 kg/mm²)

評価点 4 6 (鳥瞰図 2-2)

地震時 ……………32.5 kg/mm² (許容応力36.3 kg/mm²)

評価点 5 3 (鳥瞰図 2-4)

7.3 疲労評価

最大疲れ累積係数は下記に示すとおりであり、制限条件を満足している。

運転状態 I・II ……0.01652 (制限条件 $U \leq 1$)

地震時 ……………0.01661 (制限条件 $U + US \leq 1$)

表 2-12 応力評価表 (L3371及びL3369)

評価点	一次応力評価 (kg/mm ²)		一次 + 二次 応力 評価 (kg/mm ²)				疲労評価
	一次応力強さ	許容応力 1.5 S m	一次+二次 応力強さ	弾塑性解析の 熱膨張 応力	弾塑性解析の一次 + 二次応力強さ	許容応力 3 S m	
42	1.5	18.1	29.6	—	—	36.3	0.01652
	1.9	18.1	30.5	—	—	36.3	
44	1.5	18.1	29.6	—	—	36.3	0.01652
	4.0	18.1	32.3	—	—	36.3	

下段は地震時の値

表2 --13 応力評価表 (L3571及びL3569)

評価点	一次応力評価 (kg/mm ²)		一次 + 二次 応力 評価 (kg/mm ²)				疲労評価 疲れ累積係数
	一次応力強さ	許容応力 1.5 S m	一次+二次 応力強さ	弾塑性解析の 熱膨張 応力	弾塑性解析の一次 + 二次応力強さ	許容応力 3 S m	
41	1.5	18.1	29.6	—	—	36.3	0.01652
	2.3	18.1	31.0	—	—	36.3	0.01657
43	1.5	18.1	29.6	—	—	36.3	0.01652
	1.7	18.1	30.3	—	—	36.3	0.01657
46	1.5	18.1	29.7	—	—	36.3	0.01652
	3.0	18.1	32.2	—	—	36.3	0.01657
47	1.6	18.1	29.6	—	—	36.3	0.01652
	3.4	18.1	31.7	—	—	36.3	0.01660

下段は地震時の値

表2-14 応力評価表 (L2771及びL2769)

評価点	一次応力評価 (kg/mm ²)		一次 + 二次 応力 評価 (kg/mm ²)				疲労評価 疲れ累積係数
	一次応力強さ	許容応力 1.5 S m	一次+二次 応力強さ	弾塑性解析の 熱膨張 応力	弾塑性解析の一次 + 二次応力強さ	許容応力 3 S m	
48	1.5	18.1	29.6	—	—	36.3	0.01652
	2.5	18.1	31.5	—	—	36.3	
49	1.6	18.1	29.5	—	—	36.3	0.01652
	4.0	18.1	32.3	—	—	36.3	

下段は地震時の値

表 2-15 応力評価表 (L2571及びL2569)

評価点	一次応力評価 (kg/mm ²)		一次 + 二次 応力 評価 (kg/mm ²)				疲労評価 疲れ累積係数
	一次応力強さ	許容応力 1.5 S m	一次+二次 応力強さ	弾塑性解析の 熱膨張 応力	弾塑性解析の一次 + 二次応力強さ	許容応力 3 S m	
48	1.5	18.1	29.6	—	—	36.3	0.01652
	2.4	18.1	31.1	—	—	36.3	0.01657
50	1.5	18.1	29.6	—	—	36.3	0.01652
	1.8	18.1	30.3	—	—	36.3	0.01657
53	1.5	18.1	29.6	—	—	36.3	0.01652
	3.2	18.1	32.5	—	—	36.3	0.01657
54	1.7	18.1	29.5	—	—	36.3	0.01652
	3.8	18.1	32.0	—	—	36.3	0.01660

下段は地震時の値

8. 代表的な振動モード図

地震応力の影響を支配的に受けるモデルの振動状態を1次から3次までのモードに代表させ、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。

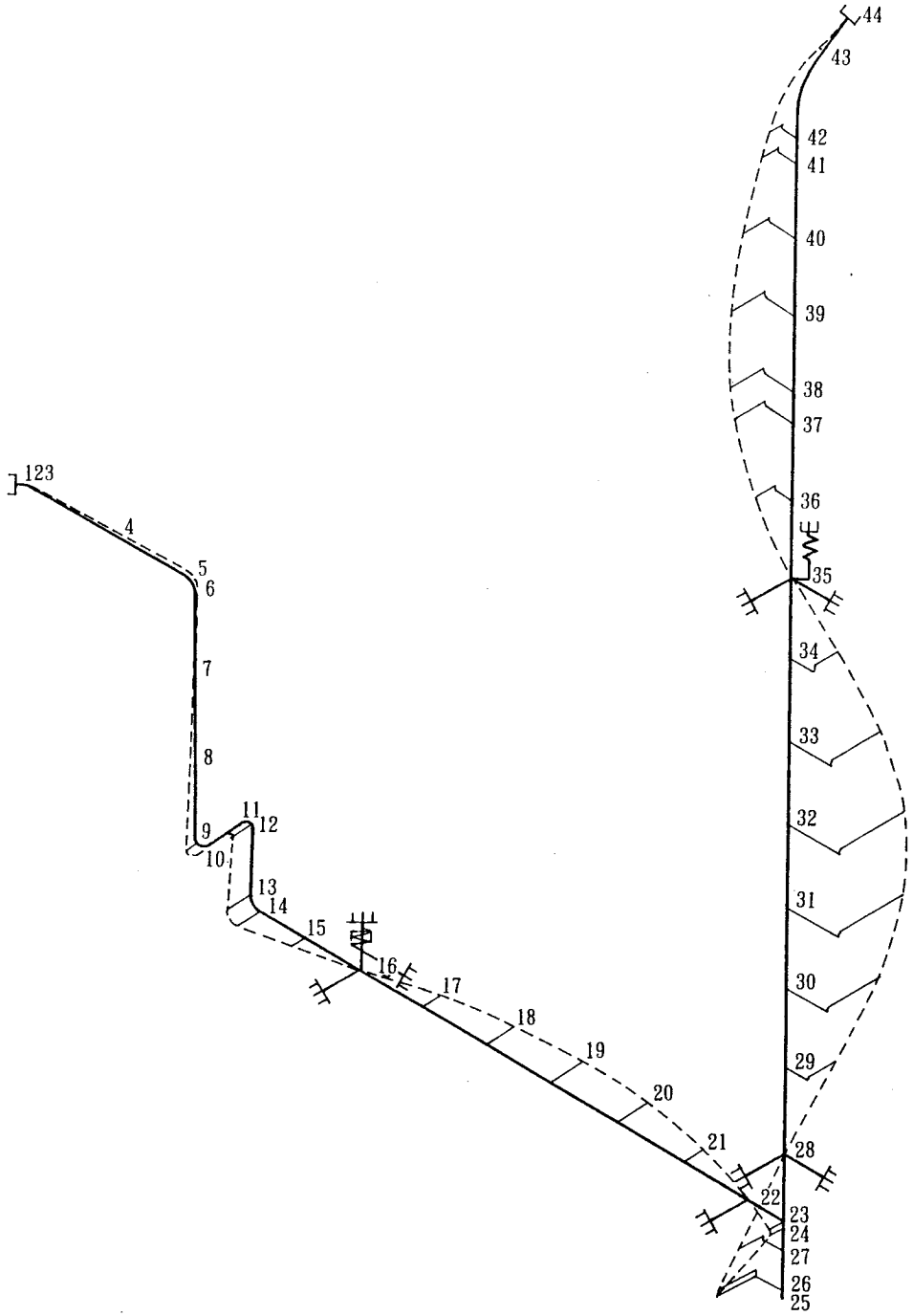


図 2 - 4 入口管 (L 3 3 7 1, L 3 3 6 9) 1次振動モード図

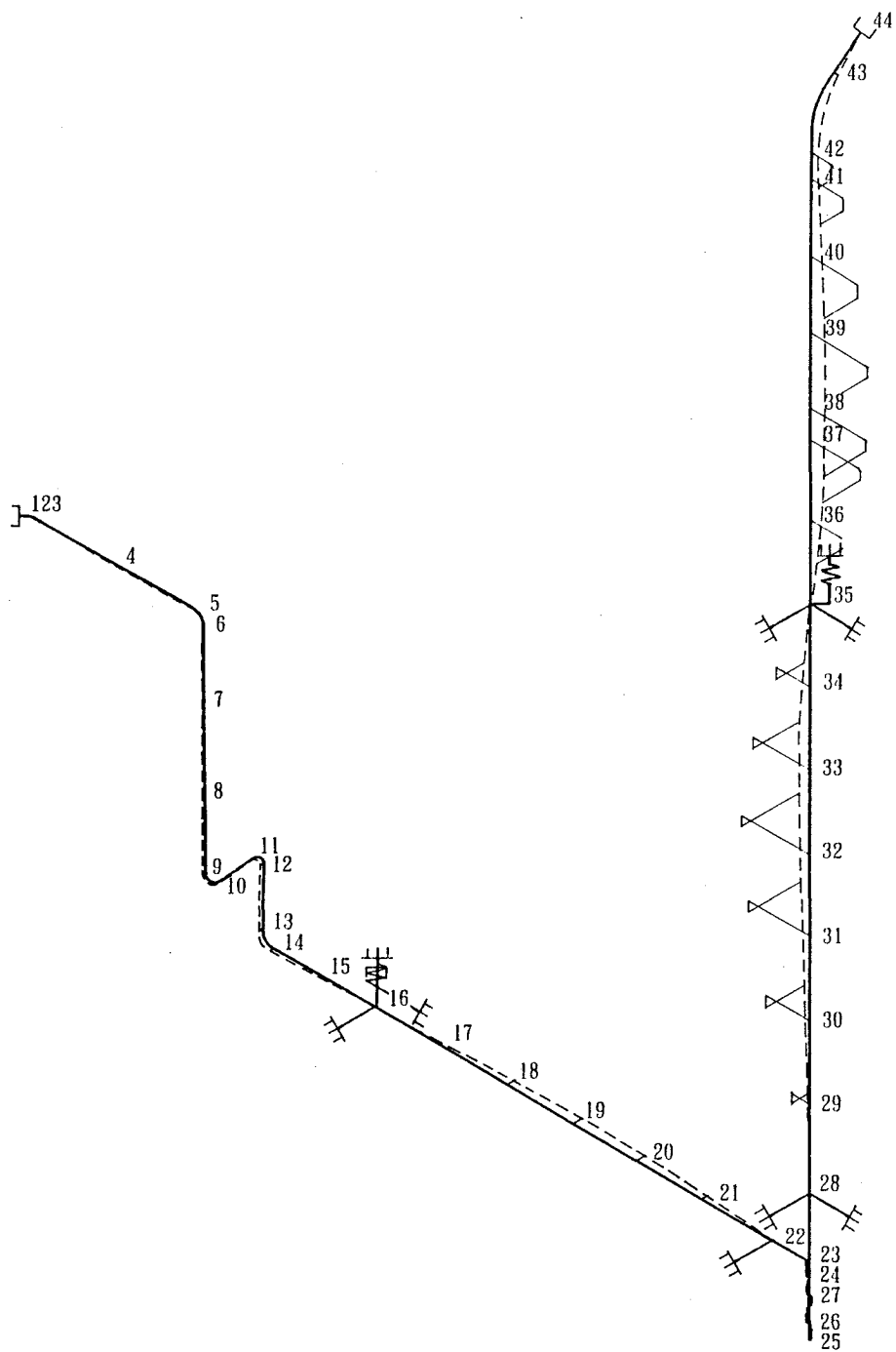


図2-5 入口管 (L 3 3 7 1, L 3 3 6 9) 2次振動モード図

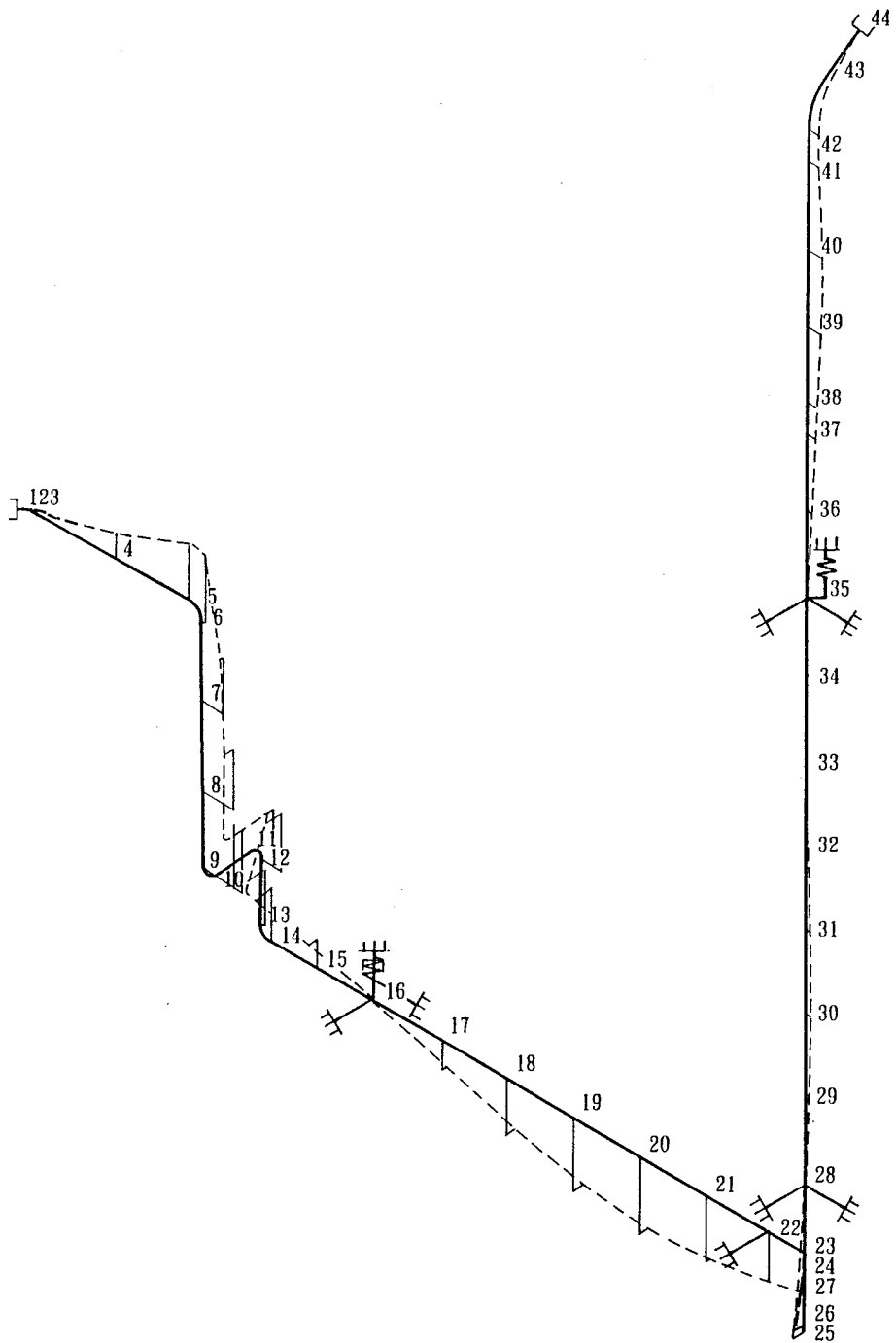


図 2 - 6 入口管 (L 3 3 7 1, L 3 3 6 9) 3 次振動モード図

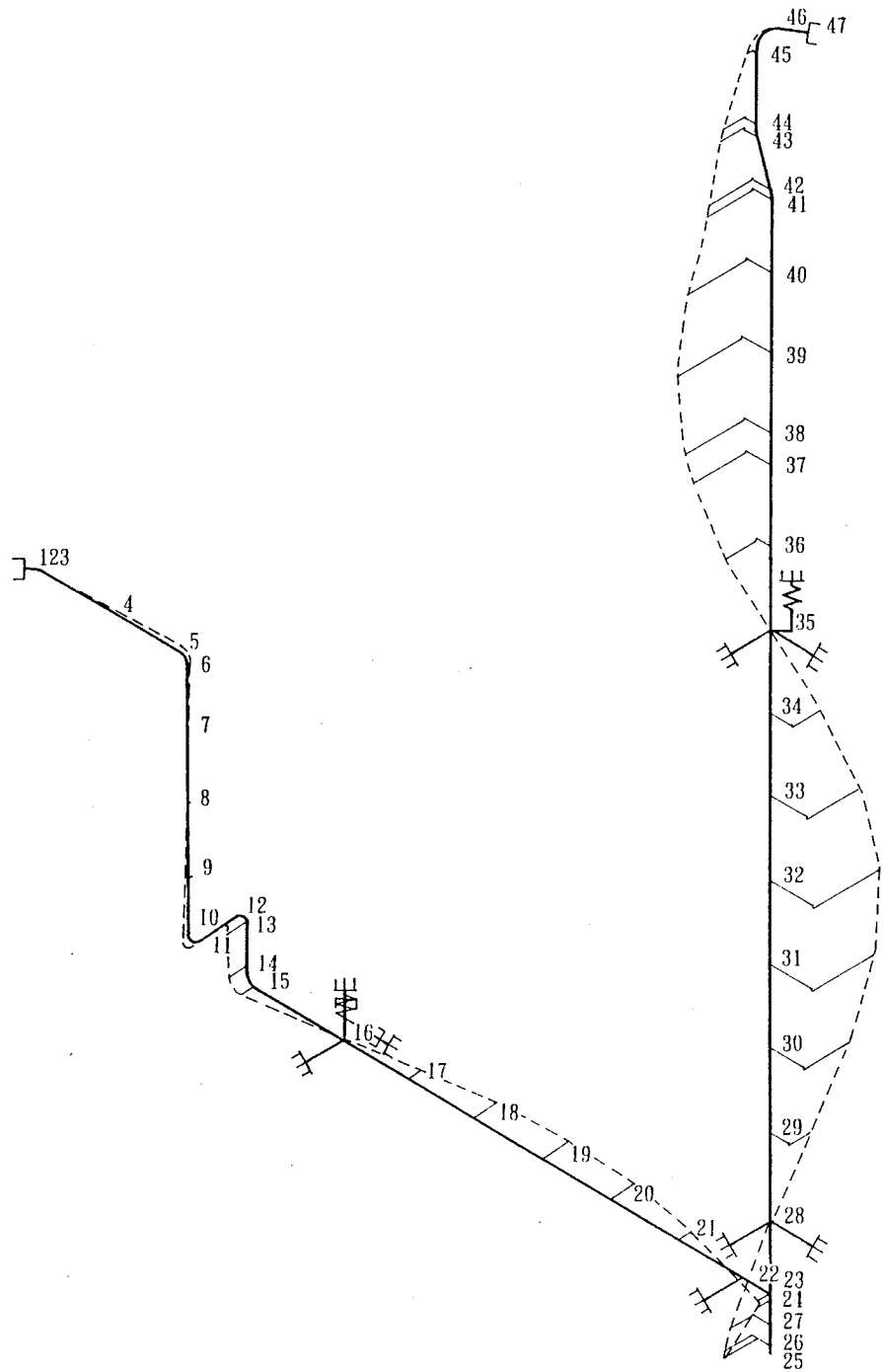


図2-7 入口管 (L 3 5 7 1, L 3 5 6 9) 1次振動モード図

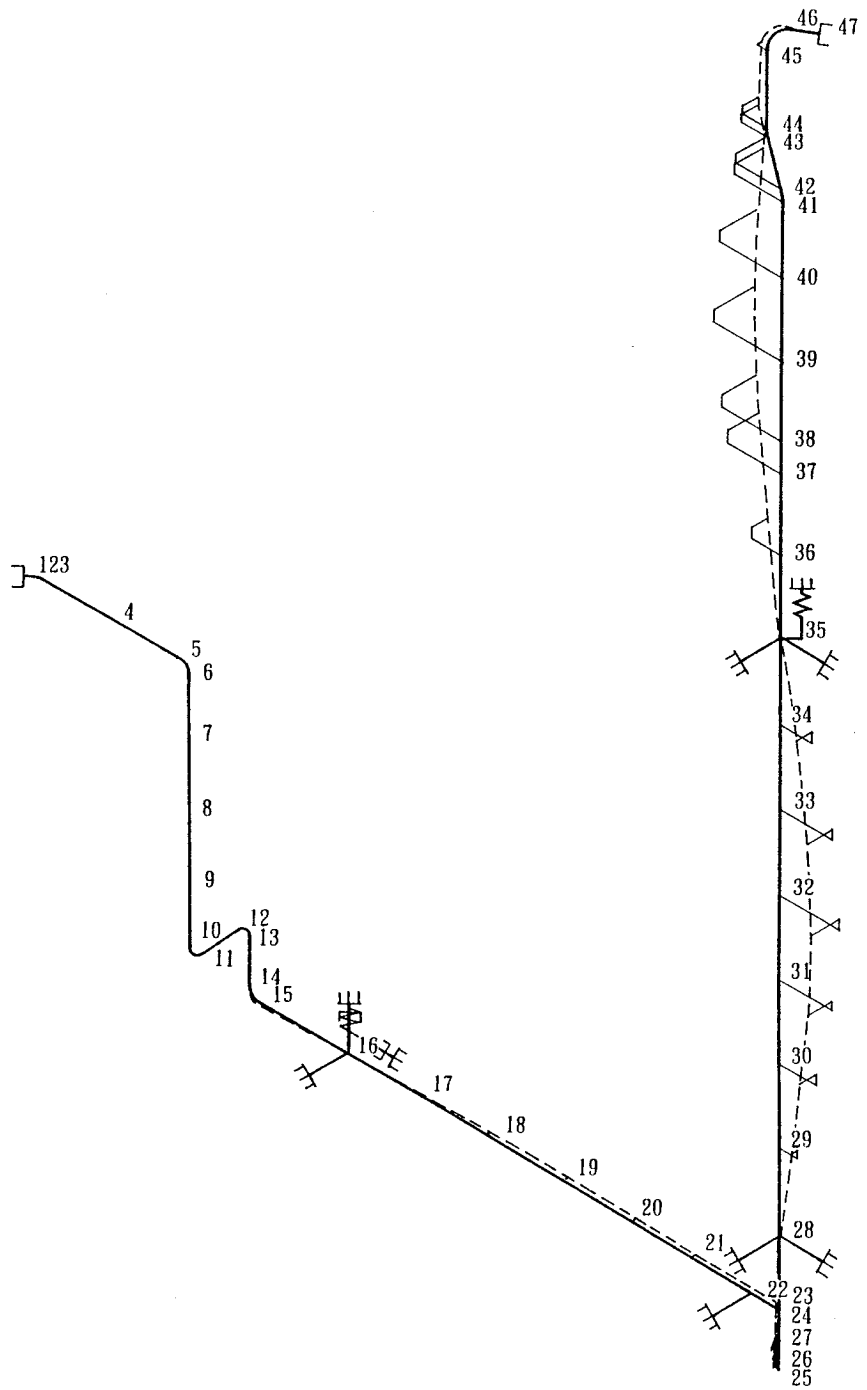


図 2-8 入口管 (L 3 5 7 1, L 3 5 6 9) 2次振動モード図

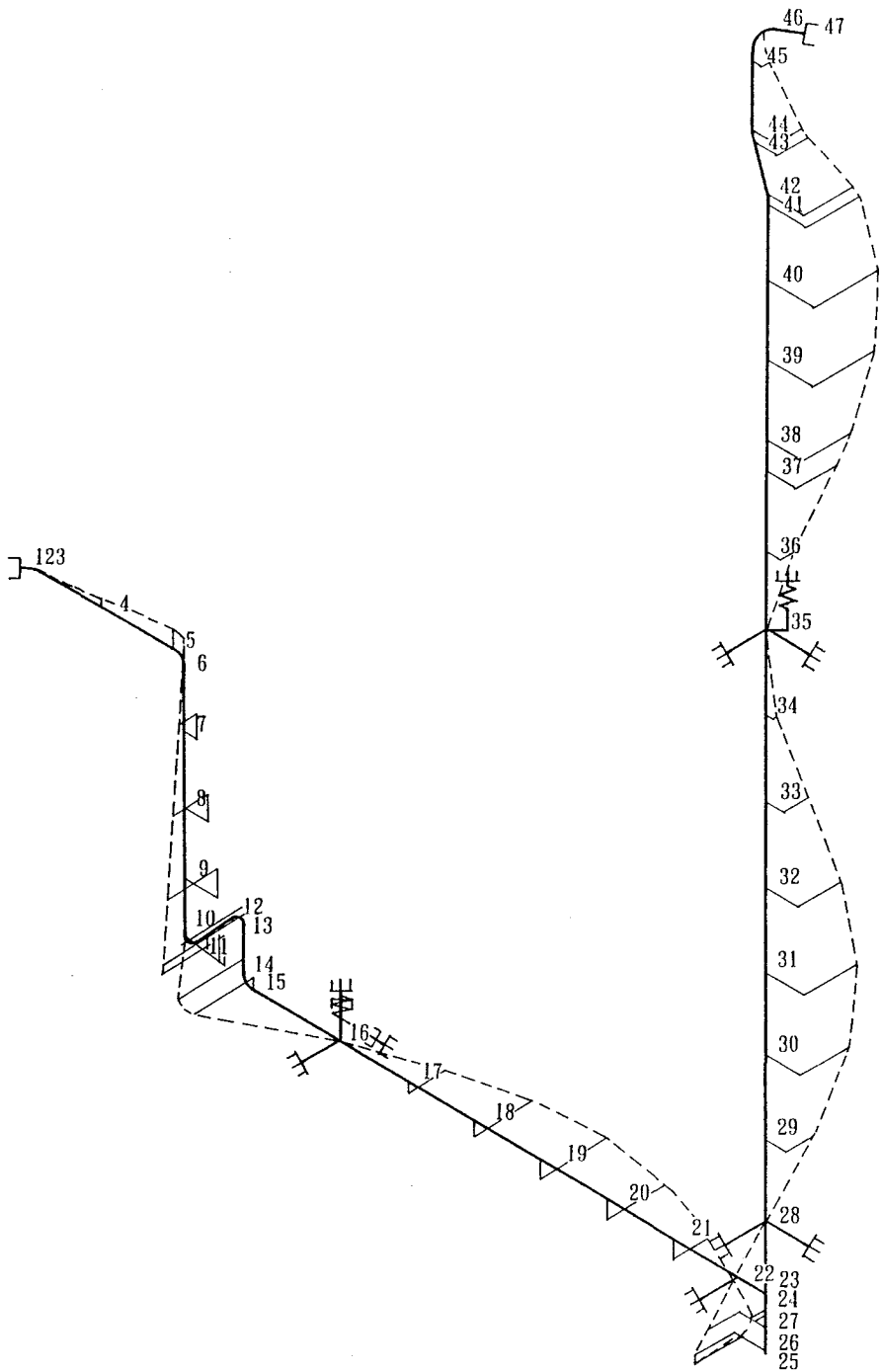


図2-9 入口管 (L 3 5 7 1, L 3 5 6 9) 3次振動モード図

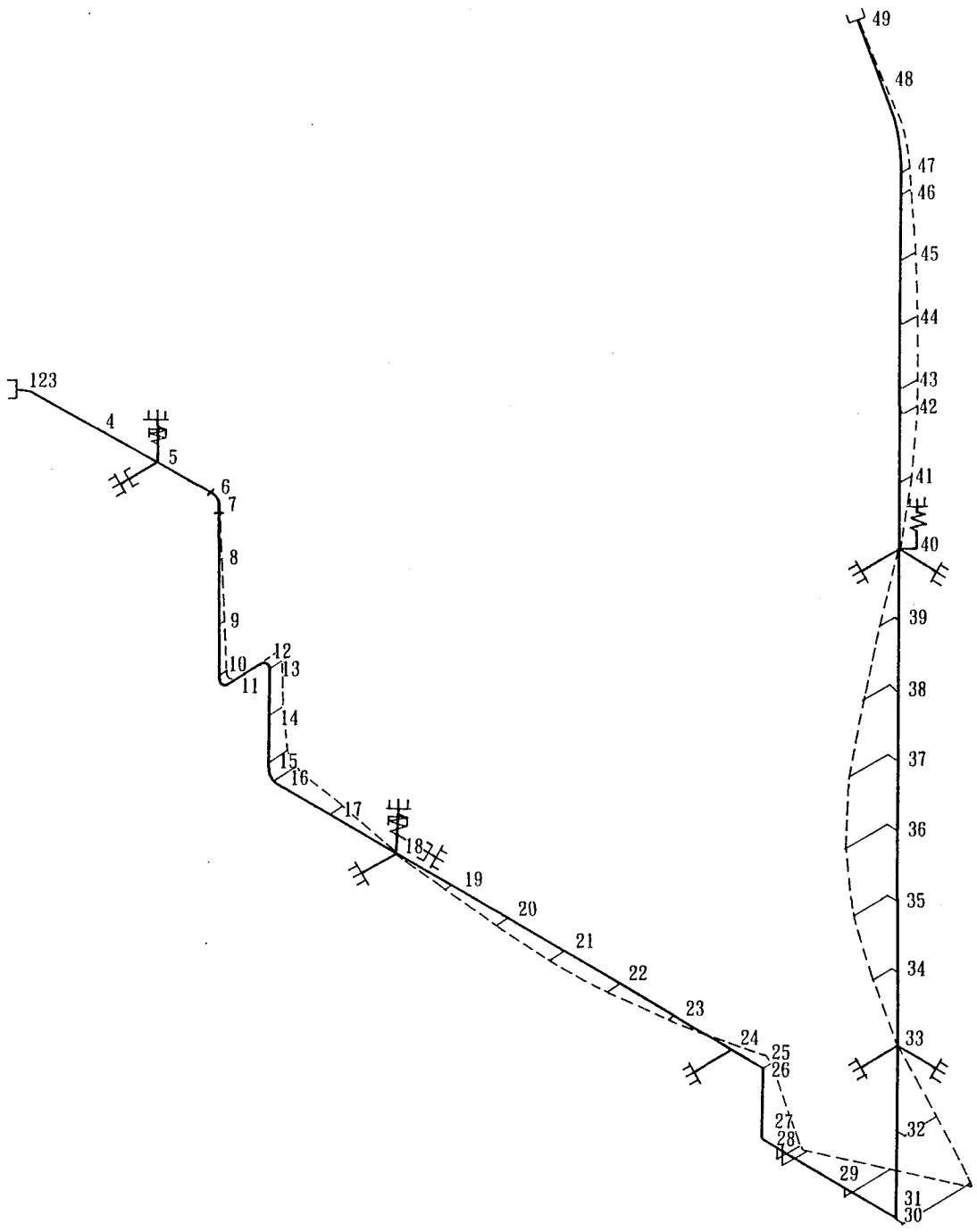


図 2-10 入口管 (L 2 7 7 1, L 2 7 6 9) 1次振動モード図

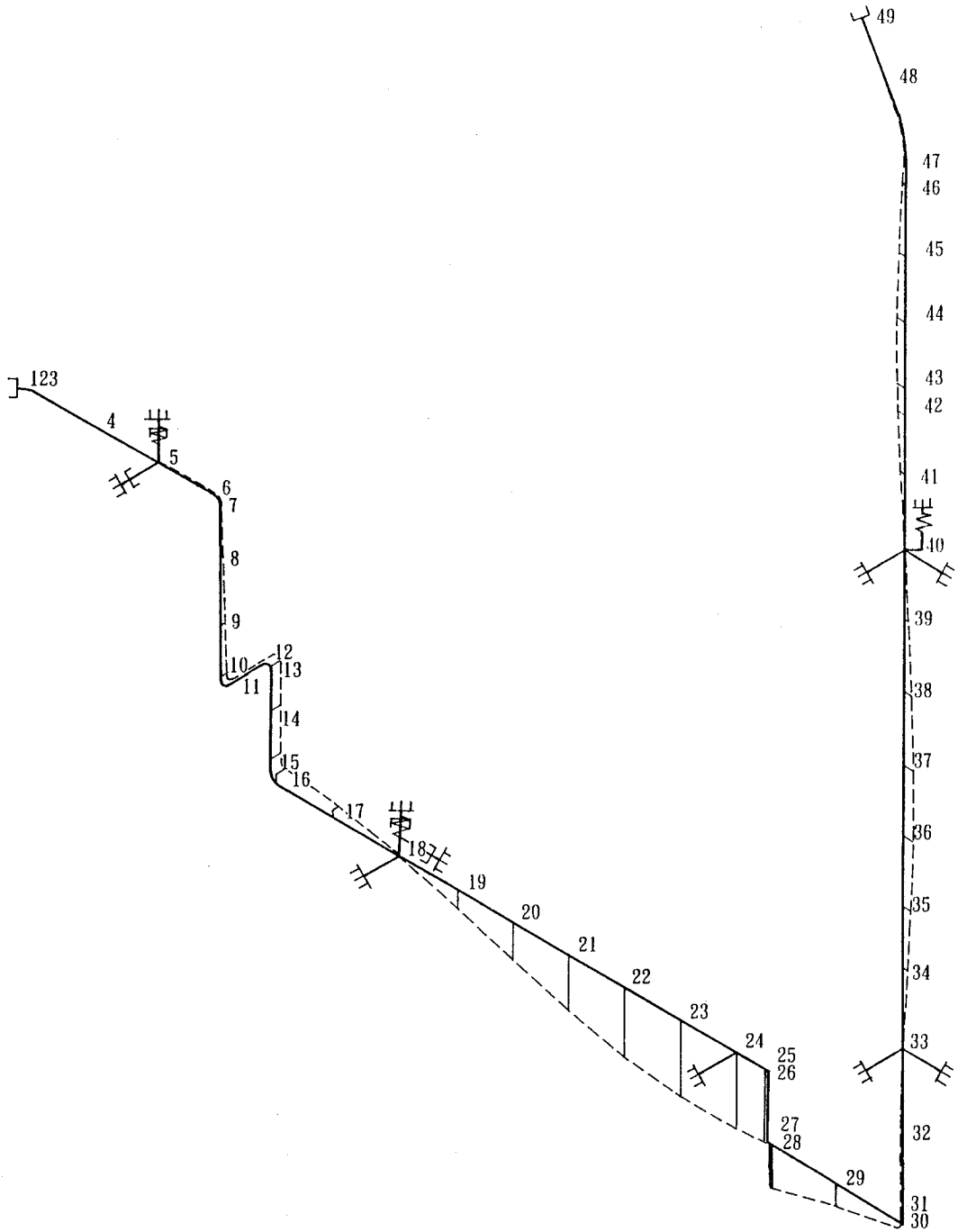


図 2-11 入口管 (L 2 7 7 1, L 2 7 6 9) 2次振動モード図

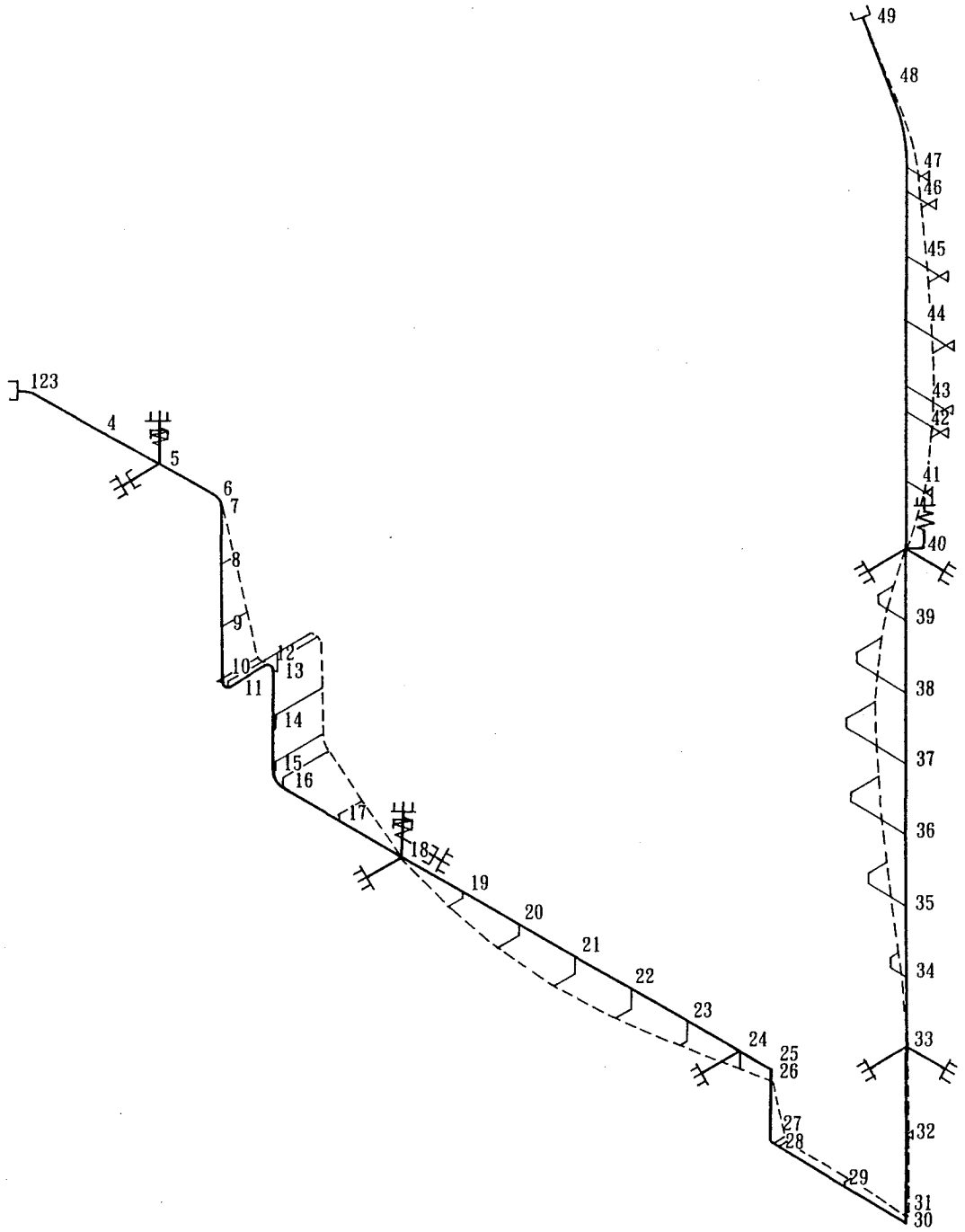


図 2-12 入口管 (L 2 7 7 1, L 2 7 6 9) 3次振動モード図

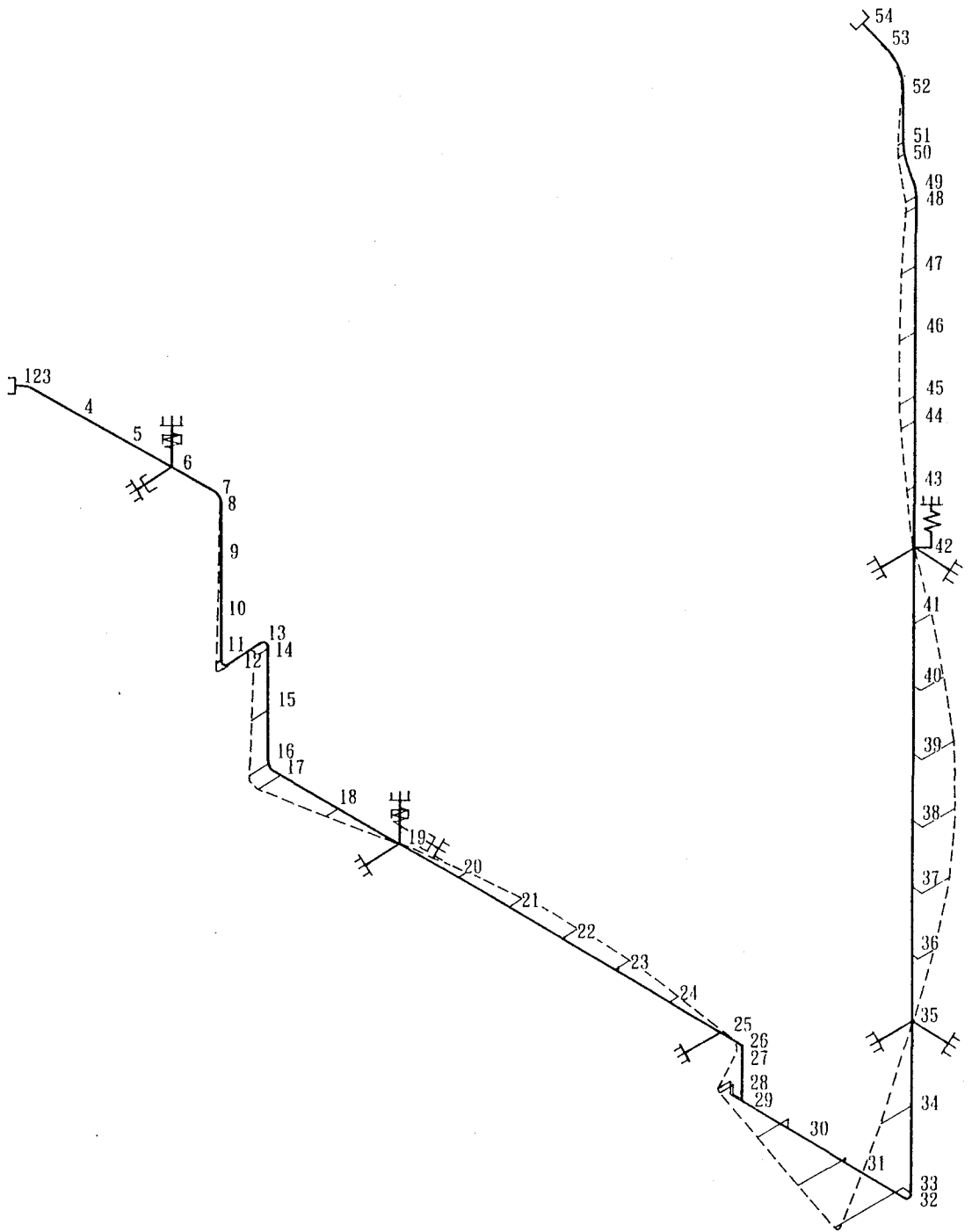


図 2-13 入口管 (L 2 5 7 1, L 2 5 6 9) 1次振動モード図

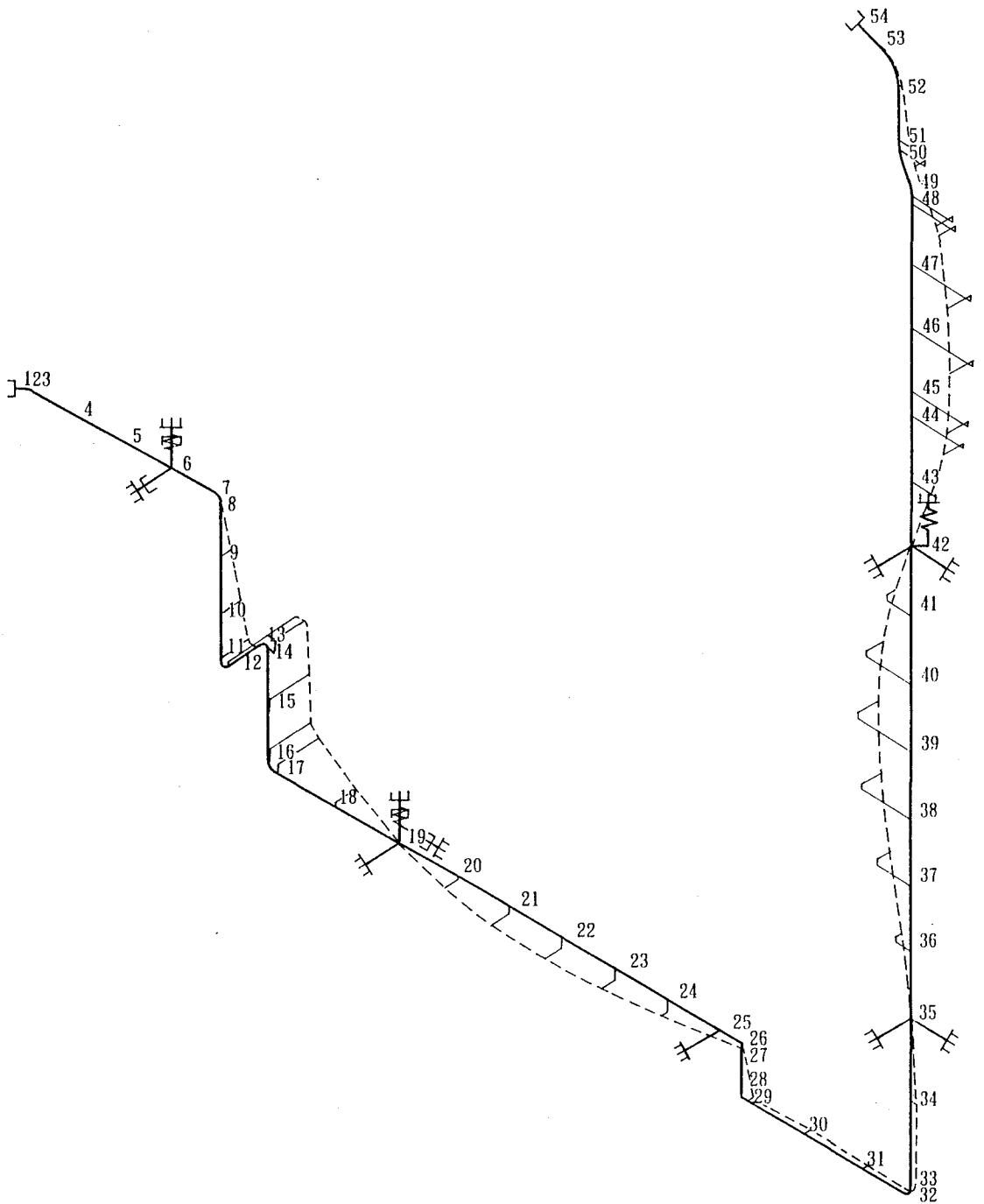


図2-15 入口管 (L 2 5 7 1, L 2 5 6 9) 3次振動モード図

IV - 2 - (2) 入口管の厚さ計算書

目 次

1. 入口管の厚さ計算の概要 IV-2-(2)-1
2. 入口管の厚さ計算（第1種管）（内圧） IV-2-(2)-2

1. 入口管の厚さ計算の概要

入口管の厚さに関しては、通産省告示第501号「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」に基づき計算を行う。

- (1) 告示第501号第49条第1項により、内圧を受ける第1種管の厚さの計算式は以下のとおりとする。

管の計算上必要な厚さ： t (mm)

$$t = P \cdot D_o / (200 S_m + 0.8 P)$$

ここで P は最高使用圧力 (kg/cm²)

D_o は管の外径 (mm)

S_m は最高使用温度における設計応力強さ (kg/mm²)

である。

2. 入口管の厚さ計算（第1種管）（内圧）

記号及び算式		設備名		圧力管 出入口管
		名称		入 口 管
最高使用圧力	P	kg/cm ²		8.2
最高使用温度	T	°C		296
管の外径	D _o	mm		60.5
材 料	—	—		SUS316TP
設計応力強さ	S _m	kg/mm ²		12.1
製 法	—	—		冷間仕上継目無鋼管
①	P・D _o			4961.0
②	200S _m +0.8P			2485.6
③	①/②			2.0
④	t			2.0
呼 び 厚 さ	t ₁	mm		8.7
設計上の最小厚さ	t ₂	mm		7.1
t ₂ ≥ t , よって厚さは十分である。				

IV - 3 原子炉再循環系配管の強度計算書

IV - 3 - (1) 原子炉再循環系配管の強度計算書
(耐震強度計算を含む)

目 次

1. 概 要	IV-3-(1)-1
2. 基本条件	IV-3-(1)-1
3. 計算モデル及び仕様	IV-3-(1)-2
4. 計算方法の概要	IV-3-(1)-3
5. 許容応力	IV-3-(1)-15
6. 計算結果	IV-3-(1)-16
7. 応力評価	IV-3-(1)-29
8. 代表的な振動モード図	IV-3-(1)-33

1. 概 要

原子炉再循環系配管はA, B ループあるが, 今回はB ループ側の下降管の一部及び吐出管を取り替える。

本計算書は, 蒸気ドラムより再循環ポンプを経て下部ヘッドに至るB ループ側の原子炉再循環系配管について強度計算を行い, 取替範囲の強度を評価した。

2. 基本条件

原子炉再循環系配管の強度計算は, 下記を基本条件とした。

- 2.1 耐震クラスはAクラス, 機器の区分は第1種管である。
- 2.2 耐震解析は, 最大水平加速度0.25Gが原子炉建屋基礎部に加わるとして動的解析を行い, 動的解析より定まる水平地震力又は $1.2 \times 0.8 \times 3 C_0$ (C_0 は建築基準法に定められる震度) より定まる静的地震力のいずれか大きい方と鉛直方向地震力を同時に不利な方向に作用させて評価する。
- 2.3 各部の応力の算出及び評価に関しては告示第501号「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」による。なお, 耐震設計は, 本発電所の既設構造物の設計に用いた手法のものと同様な手法で行う。

3. 計算モデル及び仕様

3.1 計算モデル

原子炉再循環系配管は、鳥瞰図3-1に示すように蒸気ドラム-再循環ポンプ-下部ヘッダを結ぶ下降管、マニホールド、吸込管及び吐出管により構成されている。

蒸気ドラム、下部ヘッダは堅固に支持されているので、配管は蒸気ドラム、下部ヘッダノズルにおいて固定の条件とし、再循環ポンプモータは配管の一部として配管とともに3次元のバネ及び多質点系にモデル化した。

3.2 配管仕様は表3-1に示すとおりである。

3.3 支持条件は、鳥瞰図3-1に示すとおりである。

表3-1 配管仕様

管名称	最高使用圧力 (kg/cm ²)	最高使用温度 (°C)	管外径 (mm)	管厚さ (mm)	材料	耐震 クラス
下降管	8.2	296	355.6	19.0	SUS27TP	A
				23.8	SUS316LTP	
吐出管	8.2	296	406.4	19.325	SUS316LTP	A
				21.4		
				26.2	SUSF316L	

4. 計算方法の概要

通産省告示第 501号第 1 種管の規定により応力を算出し、評価を行う。

応力の算出は、一次応力及び一次+二次応力を内圧、自重、熱膨張等の荷重条件を考慮し、地震時も含めて計算する。

4.1 応力算出

4.1.1 一次応力

(1) 設計状態の一次応力は、告示第 501号第46条第 1 項第 1 号により応力を算出する。

考慮する荷重は内圧（最高使用圧力）及び自重である。

なお、運転状態Ⅲ、Ⅳは設計状態の条件以下であり、評価不要である。

(2) 地震時の一次応力は、告示第 501号第46条第 1 項第 1 号を準用して応力を算出する。

考慮する荷重は内圧（最高使用圧力）、自重及び地震慣性力である。

4.1.2 一次+二次応力

(1) 運転状態Ⅰ、Ⅱの一次+二次応力は、告示第 501号第46条第 1 項第 4 号により応力を算出する。

考慮する荷重は内圧、熱膨張及び熱衝撃である。

(2) 地震時の一次+二次応力は、告示第 501号第46条第 1 項第 4 号を準用して応力を算出する。

考慮する荷重は内圧、熱膨張、熱衝撃、地震慣性力及び地震相対変位とし、運転状態Ⅰ、Ⅱ、Ⅲの各モードのうち一次+二次応力が最大のものと地震を組合わせて評価する。

4.1.3 弾塑性解析

前記 4.2 に示す一次+二次応力が許容条件（3 S m）を満足しない場合は、告示第 501号第47条を適用する。

4.1.4 ピーク応力及び疲労評価

- (1) 運転状態Ⅰ，Ⅱにおけるピーク応力及び繰返しピーク応力強さを，告示第501号第46条第1項第5号（一次＋二次応力が許容条件を満足しない場合の繰返しピーク応力強さは告示第501号第47条）により算出する。
- (2) 地震時のピーク応力及び繰返しピーク応力強さは，告示第501号第46条第1項第5号（一次＋二次応力が許容条件を満足しない場合の繰返しピーク応力強さは告示第501号第47条）を準用し，運転状態Ⅰ，Ⅱ，Ⅲの各モードのうち，ピーク応力が最大のものと地震とを組合わせて疲れ累積係数を算出する。

4.2 荷重条件

表3-2，図3-1～3-4に示す過渡条件と，以下の荷重条件を考慮して計算を行った。

- (1) 内圧……………最高使用圧力，運転圧力。
- (2) 自重……………配管，再循環ポンプ，モータ及び下部ヘッダ逆止弁の自重によるモーメントの作用を考慮した。
- (3) 熱膨張……………配管自体の熱膨張のほか，蒸気ドラム及び下部ヘッダの熱移動量を考慮した。（表3-3参照）
- (4)地震慣性力……………地震動によるモーメントは，配管系の次の2つの解析結果のうち，いずれか一方，大きい方を採用した。

A……………X方向とY方向に同時に地震慣性力が加わる場合。

B……………Z方向とY方向に同時に地震慣性力が加わる場合。

なお，地震の繰返し回数は50回とする。

(5)地震相対変位 配管支持点に与える強制変位量は、建屋の弾性変形及び支持ばりの変位量を考慮した。(表3-4参照)

地震相対変移によるモーメントは次の2つの解析結果のうち、いずれか一方、大きい方を採用した。

A……X方向とY方向に同時に地震相対変位が加わる場合。

B……Z方向とY方向に同時に地震相対変位が加わる場合。

なお、地震の繰返し回数は50回とする。

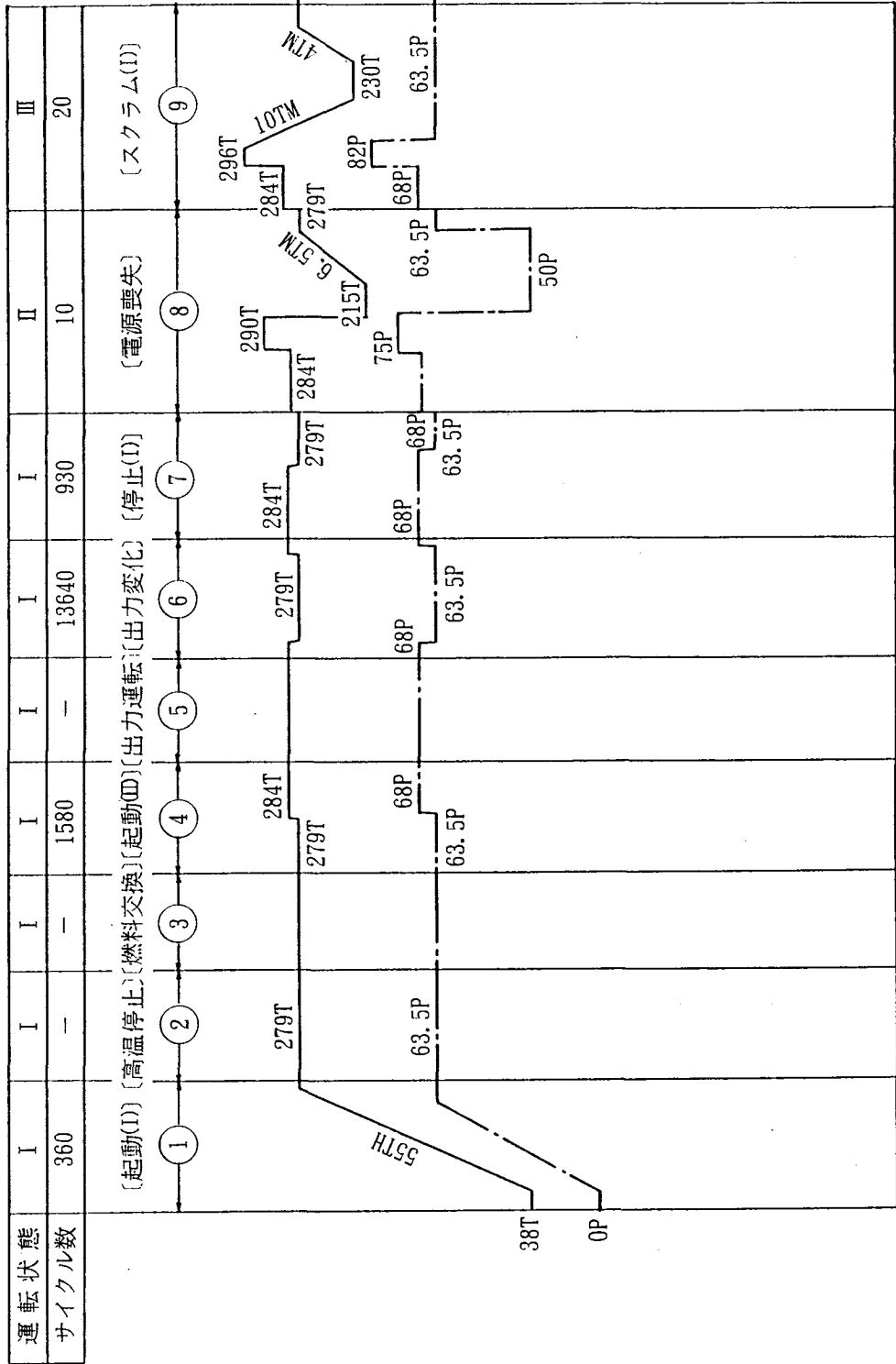
(6) 熱衝撃…… 各運転状態において配管の肉厚方向に生じる温度差によって発生する応力を考慮した。各運転状態における流体の圧力及び温度は図3-1～図3-4に示す値を用いた。

表 3 - 2 原子炉再循環系配管の過渡条件

番号	運転状態	過渡条件	過渡条件の説明	発生回数	備考
1	I	起 動 (I)	冷温停止から高温停止までの原子炉温度上昇	3 6 0	
2	I	高 温 停 止	高温停止	—	(注1)
3	I	燃 料 交 換	燃料交換	—	(注1)
4	I	起 動 (II)	高温停止から出力運転まで	1 5 8 0	
5	I	出 力 運 転	出力運転	—	(注1)
6	I	出 力 変 化	発電出力変化	1 3 6 4 0	
7	I	停 止 (I)	出力運転から高温停止まで	9 3 0	
8	II	所内電源喪失	出力運転中の所内電源喪失	1 0	(注 2)
9	III	スクラム (I)	タービントリップ	2 0	最高使用圧力×1.1になる場合
10	III	スクラム (II)	タービントリップ	2 6 0	
11	II	スクラム (III)	手動その他	3 6 0	
12	I	停 止 (II)	給水により水位を保ちながら原子炉圧力低下	3 6 0	高温停止から余熱除去系作動領域まで
13	I	停 止 (III)	原子炉温度低下	3 6 0	余熱除去系による原子炉温度の低下
14	II	漏 洩 試 験		5 0	

(注 1) 圧力、温度とも変化しないので、考慮しない。

(注 2) 地震の組み合わせられる過渡条件であるので、疲れ解析では地震の回数 (50回) に合わせた。



記号
T.....温度(°C)
P.....圧力(kg/cm²)
TH.....温度変化率(°C/時間)
TM.....温度変化率(°C/分)

図3-1 過渡条件(下降管)

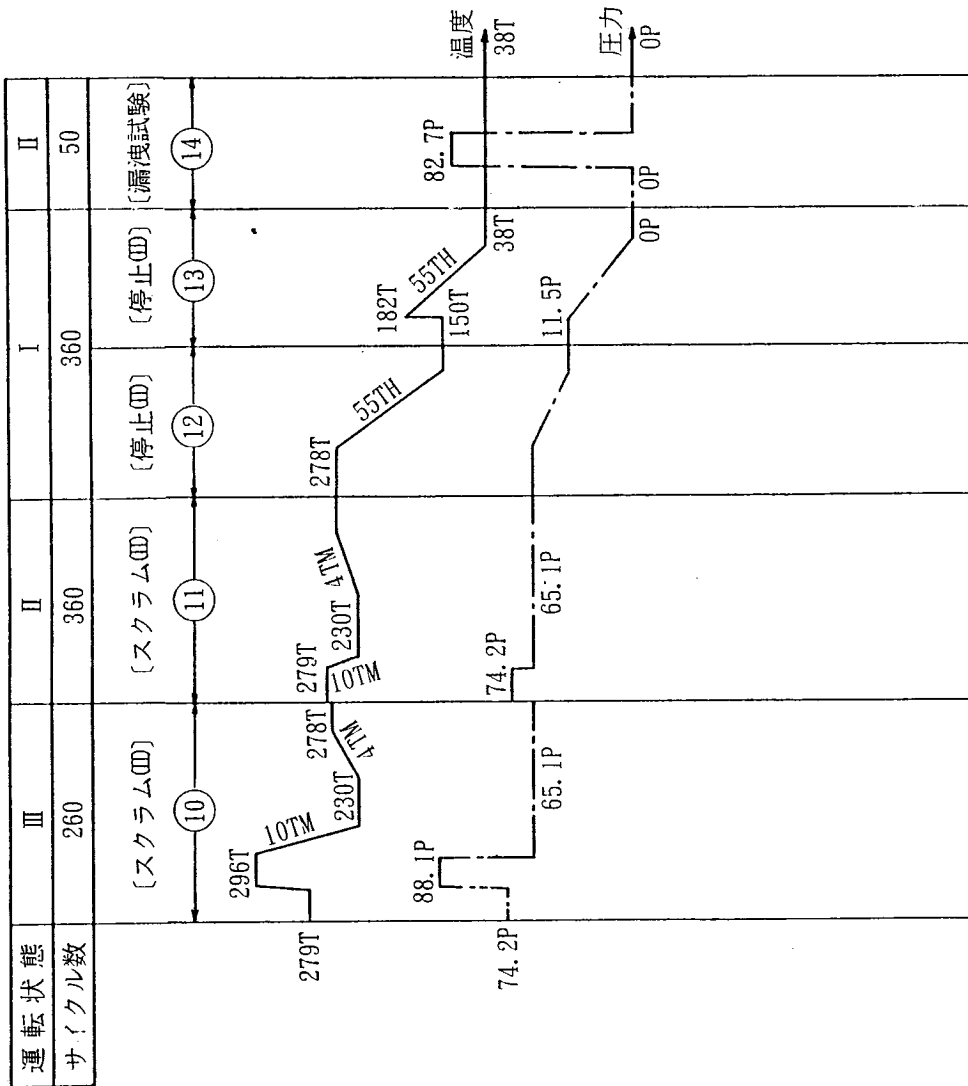


図 3-4 過渡条件 (吐出管)

表 3-3 ノズルの熱移動量

(mm)

節 点 番 号	ノズル 名 称	ΔX	ΔY	ΔZ
1 0	蒸気ドラム B 下降管ノズル	0.0	-5.6	6.1
6 6	蒸気ドラム B 下降管ノズル	0.0	-5.6	18.2
2 4 0	蒸気ドラム B 下降管ノズル	0.0	-5.6	-6.1
3 0 0	蒸気ドラム B 下降管ノズル	0.0	-5.6	-18.2
1 4 0	下部ヘッダ B レジューサ	0.0	0.0	20.7
3 8 0	下部ヘッダ B レジューサ	0.0	0.0	-20.7

(注) 出力運転時の値である。

表 3 - 4 (1) 支持点への地震時相対変位量

X + Y 方向地震時

支 持 点 番 号	支 持 点 高 さ (E L +)	取 付 部	X 方 向 の 建 屋 弾 性 変 形 量 (mm)	支 持 梁		イ ン プ ッ ト 強 制 変 位 量 (mm)	備 考
				変 位 方 向	変 形 量 (mm)		
1 0 8 6 2 4 0 3 0 0	3 7 1 4 0	ノズルを介してドラム階梁	3.48	Δ X	0.65	4.13	*ドラム吊り棒の伸び
				Δ Y	—	0.20*	
				Δ Z	0.02	0.02	
2 6, 7 0 1 2 5, 1 3 6 1 4 0, 2 2 0 2 8 0, 3 6 0 3 7 5, 3 8 0	3 1 1 5 0	ヘッダ階梁	2.30	Δ X	1.64	3.94	
				Δ Y	0.31	0.31	
				Δ Z	0.08	0.08	
3 0, 6 4 9 8, 1 1 4 2 1 5, 2 7 5 3 2 0, 3 4 5	2 7 3 0 0	モータ階梁	1.49	Δ X	1.71	3.20	
				Δ Y	—	—	
				Δ Z	0.58	0.58	
9 1 3 1 0	2 2 6 0 0	ポンプ階梁	0.52	Δ X	0.53	1.05	
				Δ Y	—	—	
				Δ Z	0.02	0.02	

表 3 - 4 (2) 支持点への地震時相対変位量

Z + Y 方向地震時

支 持 点 番 号	支 持 点 高 さ (E L +)	取 付 部	Z 方 向 の 建 屋 弾 性 変 形 量 (mm)	支 持 梁		イ ン プ ッ ト 強 制 変 位 量 (mm)	備 考
				変 位 方 向	変 形 量 (mm)		
1 0	3 7 1 4 0	ノズルを介してドラム階梁	3.48	ΔX	0.19	0.19	*ドラム吊り棒の伸び
8 6				ΔY	—	0.20*	
2 4 0				ΔZ	0.90	4.38	
3 0 0							
2 6, 7 0	3 1 1 5 0	ヘッダ階梁	2.30	ΔX	0.18	0.18	
1 2 5, 1 3 6				ΔY	0.31	0.31	
1 4 0, 2 2 0				ΔZ	0.61	2.91	
2 8 0, 3 6 0							
3 7 5, 3 8 0							
3 0, 6 4	2 7 3 0 0	モータ階梁	1.49	ΔX	0.89	0.89	
9 8, 1 1 4				ΔY	—	—	
2 1 5, 2 7 5				ΔZ	1.01	2.50	
3 2 0, 3 4 5							
9 1	2 2 6 0 0	ポンプ階梁	0.52	ΔX	0.17	0.17	
3 1 0				ΔY	—	—	
				ΔZ	1.17	1.69	

5. 許容応力

5.1 一次応力

- (1) 設計状態の一次応力は、告示第 501号第46条第 1 項第 1 号により $1.5 S m$ 以下であることを確認する。
- (2) 地震時の一次応力は、告示第 501号第46条第 1 項第 1 号を準用して $1.5 S m$ 以下であることを確認する。

5.2 一次+二次応力

- (1) 運転状態 I, II の一次+二次応力は、告示第 501号第46条第 1 項第 4 号により $3 S m$ 以下であることを確認する。
- (2) 地震時の一次+二次応力は、告示第 501号第46条第 1 項第 4 号を準用して $3 S m$ 以下であることを確認する。

5.3 ピーク応力及び疲労評価

- (1) 運転状態 I, II におけるピーク応力及び繰返しピーク応力強さを、告示第 501号第46条第 1 項第 5 号及び第47条により算出し、疲れ累積係数が 1 以下であることを確認する。
- (2) 地震時のピーク応力及び繰返しピーク応力強さは、告示第 501号第46条第 1 項第 5 号及び第47条を準用し、(1)による疲れ累積係数との和が 1 以下であることを確認する。

5.4 使用材料の許容応力値は表 3-5 のとおりである。

表 3-5 許容応力表 (kg/mm²)

使用材料	許容応力		備考
SUS316LTP	1.5 Sm	14.61	296℃の値
	3 Sm	29.22	
SUSF316L	1.5 Sm	14.61	296℃の値
	3 Sm	29.22	

6. 計算結果

6.1 固有値解析結果

各モードの固有周期と床応答曲線を用いて求めた各モードにおける応答加速度を表 3-6 に示す。

なお、減衰定数は 0.5 % とした。

6.2 支持点及び拘束点反力

鳥瞰図 3-1 に示した各支持点及び拘束点における各荷重条件に対する反力を表 3-7 ~ 3-11 に示す。

表 3 - 6 固有周期・設計震度

耐 震 ク ラ ス					A		
モード	固有周期 (S)	刺 激 係 数			設 計 震 度		
					応 答 水 平 震 度		鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次	0.105	0.086	0.278	0.074	1.658	1.658	0.288
2次	0.087	0.710	0.518	0.206	1.230	1.230	
3次	0.085	0.877	0.336	0.063	1.230	1.230	
4次	0.077	1.856	0.040	0.050	1.171	1.171	
5次	0.074	2.181	0.012	0.107	1.122	1.122	
6次	0.070	0.851	0.009	0.261	1.061	1.061	
7次	0.069	0.112	0.061	1.212	1.032	1.032	
8次	0.067	0.025	0.134	0.450	1.004	1.004	
9次	0.063	0.028	1.095	0.213	0.941	0.941	
10次	0.060	0.031	1.165	0.170	0.883	0.883	
11次	0.057	0.232	0.462	0.086	0.842	0.842	
12次	0.057	0.372	0.551	0.032	0.832	0.832	
13次	0.051	0.767	0.169	0.058	0.725	0.725	
14次	0.051	0.225	0.131	0.024	0.722	0.722	
15次	0.050	0.173	1.104	0.127	0.714	0.714	
静 的 震 度					0.780	0.780	

鳥瞰図 3 - 1 参照

表 3 - 7 自重による支持点反力

支 持 点	反 力 (kg)		
	F _x	F _y	F _z
2 5	——	1 9 0 0 0 *	——
4 2	——	——	7 8
7 1	——	1 4 0 0 0 *	——
9 9	——	1 2 0 0 0 *	——
1 1 8	——	5 2 0 0 *	——
1 3 6	3 3	3 9 3 2	——
2 2 3	——	1 9 0 0 0 *	——
2 8 3	——	1 4 0 0 0 *	——
3 2 3	——	1 2 0 0 0 *	——
3 5 0	——	5 2 0 0 *	——
3 7 5	5 0	3 5 7 6	——

*コンスタントハンガの支持力 (容量)

表 3 - 8 熱膨張による支持点反力

支 持 点	反 力 (kg)		
	F _x	F _y	F _z
4 2	——	——	- 1 8 1 2
1 3 6	- 7 0 5 7	1 6 1 6 0	——
3 7 5	- 5 9 9 5	7 5 2 6	——

表 3 - 9(1) 地震慣性力による支持点反力

支持点	反 力 (kg)					
	X + Y 方 向			Z + Y 方 向		
	F _x	F _y	F _z	F _x	F _y	F _z
26	3547	—	264	3560	—	1144
30	1627	—	345	724	—	1067
42	—	—	1862	—	—	28160
50	5728	6281	—	1615	7648	—
64	2156	—	131	732	—	1183
70	3042	—	581	3840	—	1152
91	13780	—	304	1800	—	4134
98	23230	—	1406	2015	—	20360
114	7225	—	1764	1278	—	2152
125	—	3090	—	—	4217	—
136	4535	1335	—	1845	885	—
215	1682	—	299	749	—	1015
220	3634	—	274	3958	—	1147
255	6233	7455	—	2024	6485	—
275	1637	—	440	609	—	1184
280	3117	—	359	3111	—	1201
310	11220	—	184	2117	—	4121
320	19360	—	1139	1856	—	19470
345	2919	—	2474	2416	—	2614
360	—	3840	—	—	3012	—
375	4455	807	—	3336	423	—

表 3 - 9(2) 地震相対変位による支持点反力

支持点	反 力 (kg)					
	X + Y 方 向			Z + Y 方 向		
	F _x	F _y	F _z	F _x	F _y	F _z
2 6	9 1 3	—	2 5 5	2 0 3 0	—	6 2 2
3 0	3 8 4	—	4 6 3	6 2 7	—	1 1 3 0
4 2	—	—	2 2 2 7	—	—	3 3 6 7 0
5 0	1 3 7 6	2 6 8 9	—	2 9 5	2 9 0 7	—
6 4	3 1 5	—	3 9 0	6 0 7	—	9 8 0
7 0	4 4 1	—	2 3 5	2 4 5 4	—	5 7 8
9 1	1 2 2 6	—	6 9 9	9 3 8	—	1 3 3 6 0
9 8	4 0 0	—	6 9 1	4 7 0	—	8 7 8
1 1 4	2 4 7	—	7 3 8	5 2 5	—	1 7 5 0
1 2 5	—	9 2 7	—	—	4 4 0 5	—
1 3 6	2 0 1	3 4 3	—	3 5 6	6 6 0	—
2 1 5	3 7 7	—	4 5 0	5 8 0	—	1 1 3 3
2 2 0	7 7 0	—	2 5 1	1 8 1 4	—	6 2 5
2 5 5	1 3 6 3	2 6 6 7	—	3 1 5	2 0 3 5	—
2 7 5	3 5 5	—	4 7 0	6 0 8	—	1 0 1 2
2 8 0	9 9 4	—	2 5 9	2 7 7 8	—	5 9 2
3 1 0	1 2 7 1	—	7 4 9	8 5 2	—	1 3 7 1 0
3 2 0	4 4 7	—	7 1 0	2 5 0	—	2 0 0
3 4 5	4 6 9	—	9 6 8	8 5 8	—	1 7 8 7
3 6 0	—	1 1 9 9	—	—	2 3 9 3	—
3 7 5	3 6 5	4 7 0	—	7 6 1	8 3 3	—

表 3-10(1) 蒸気ドラム (B) 下降管ノズル反力 (節点 10)

荷重条件	反力 (kg)			反モーメント (kg-m)		
	F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z
自重	-87	2152	-6	33	21	2122
熱膨張	746	-3158	45	-156	-196	786
地震	慣性力	X+Y方向地震時	161	300	55	2402
		Z+Y方向地震時	457	817	144	2050
	相對	X+Y方向地震時	48	72	117	428
		Z+Y方向地震時	179	690	450	1126

表 3 - 10(2) 蒸気ドラム (B) 下降管ノズル反力 (節点 8 6)

荷重条件	反力 (kg)			反モーメント (kg-m)		
	F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z
自重	-28	1803	61	-336	-152	1759
熱膨張	1089	-5420	-31	442	12	-1858
慣性力	3236	5826	414	811	164	2027
相對	4511	8593	542	997	179	2559
相	290	578	44	62	111	189
對	2070	3803	175	685	435	1345

表 3-10(3) 蒸気ドラム (B) 下降管ノズル反力 (節点 240)

荷重条件	反力 (kg)			反モーメント (kg-m)		
	F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z
自重	-103	2236	12	-63	-18	2201
熱膨張	595	-2019	52	-372	-274	2286
慣性力	4493	8342	153	280	50	2661
相対	4142	8108	491	897	146	2228
地震	587	1150	48	74	113	354
相対	1460	2616	181	696	447	1018

表 3 - 10(4) 蒸気ドラム (B) 下降管ノズル反力 (節点 3 0 0)

荷重条件	反 力 (kg)			反 モー メ ン ト (kg-m)		
	F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z
自 重	- 7 4	2 0 6 0	- 5 6	3 1 1	1 5 7	2 0 0 3
熱 膨 張	6 5 0	- 2 1 5 4	1 0 5	- 8 4 4	- 4 2 9	2 4 0 9
慣 性 力	3 6 0 8	6 5 4 0	3 0 7	5 8 3	1 6 1	2 2 5 4
	2 9 3 5	6 0 6 0	9 5 0	1 5 0 5	3 0 8	1 4 0 8
相 対 震	8 1 3	1 5 9 3	5 0	8 0	1 1 4	4 7 0
	2 3 8 5	4 4 1 8	1 7 9	6 9 7	4 3 4	1 5 1 1

表 3-11(1) 下部ヘッドレジュース反力 (節点 140)

荷重条件	反力 (kg)			反モーメント (kg-m)		
	F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z
自重	68	-283	3	-794	251	167
熱膨張	1990	-1376	2485	-3499	183	5240
慣性力	地震					
	X+Y方向地震時	313	239	3649	159	958
Z+Y方向地震時	247	225	2287	241	674	26
相對	地震					
	X+Y方向地震時	74	26	142	24	141
Z+Y方向地震時	53	30	6	116	215	53

表3-11(2) 下部ヘッドレジュサ反力(節点380)

荷重条件	反力 (kg)			反モーメント (kg-m)		
	F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z
自重	85	-433	-91	1422	-166	-67
熱膨張	1723	-1390	-865	3522	-931	5260
慣性力	499	302	2343	175	1613	486
相對	49	45	2459	167	2183	564
地震	86	8	223	171	57	111
地震	86	8	352	80	340	143

表3-12(1) 外力によるモーメント

(kg-m)

評価点	成分	自重	熱膨張	地震慣性力		地震相対変位	
				X+Y	Z+Y	X+Y	Z+Y
71	M1	36	109	17	102	23	91
	M2	58	254	28	586	220	434
	M3	128	7880	619	51	94	501
82	M1	152	12	15	325	109	435
	M2	302	425	6	995	47	575
	M3	1774	2463	1086	188	36	249
110	M1	57	733	741	67	11	44
	M2	327	4200	3849	361	129	14
	M3	785	13880	276	1408	1251	4493
118	M1	57	735	741	246	11	44
	M2	642	9977	1219	153	332	285
	M3	765	4958	321	1107	254	1570
127	M1	719	11120	1549	739	279	454
	M2	73	29	869	766	384	401
	M3	135	1874	1070	21	43	126
132	M1	176	7002	67	37	18	45
	M2	301	33	327	613	384	401
	M3	139	2350	629	1222	198	116

表 3-12(2) 外力によるモーメント

(kg-m)

評価点	成分	自重	熱膨張	地震慣性力		地震相対変位	
				X+Y	Z+Y	X+Y	Z+Y
225	M1	12	90	33	114	81	112
	M2	12	126	63	225	196	371
	M3	561	4133	1342	1191	250	463
235	M1	18	274	4	314	115	444
	M2	57	344	13	983	47	597
	M3	2258	1956	1111	206	39	241
240	M1	18	274	50	146	113	447
	M2	2201	2286	2661	2228	354	1018
	M3	63	372	280	897	74	696
300	M1	157	429	161	308	114	434
	M2	2003	2409	2254	1408	470	1511
	M3	311	844	583	1505	80	697
340	M1	127	1493	292	387	161	168
	M2	191	433	1291	666	188	163
	M3	965	7873	841	485	1639	3332
350	M1	127	1493	44	293	29	168
	M2	282	1320	195	758	84	242
	M3	1038	8118	1308	855	693	1686
370	M1	58	6968	574	687	7	155
	M2	166	2309	1233	1305	103	45
	M3	307	1875	1778	1684	419	534

7. 応力評価

応力評価結果は表 3 - 13に示すとおりである。

なお、この他の箇所についても応力を評価し、健全性に問題のないことを確認している。

7.1 一次応力

一次応力の最大値は下記に示すとおりであり、許容値を満足している。

(1) 設計状態 (許容応力 14.61 kg/mm²)

7.1 kg/mm² (評価点 127)

(2) 地震時 (許容応力 14.61 kg/mm²)

8.9 kg/mm² (評価点 127)

7.2 一次+二次応力

一次+二次応力が下記に示すとおり許容値を越えている箇所については、

7.3項に示すとおり弾塑性解析を適用した。

(1) 運転状態 I・II (許容応力 29.22 kg/mm²)

32.0 kg/mm² (評価点 110)

(2) 地震時 (許容応力 29.22 kg/mm²)

39.0 kg/mm² (評価点 110)

30.0 kg/mm² (評価点 118)

30.5 kg/mm² (評価点 127)

7.3 弾塑性解析

弾塑性解析の適用条件については、下記に示すとおり満足している。

- (1) 当該部分の材料の最小降伏点と最小引張強さの比は0.37で、0.8以下である。
- (2) 運転状態Ⅰ，Ⅱの最高運転温度は290℃で、425℃以下である。
- (3) 熱膨張応力値及び一次＋二次応力は下記に示すとおりであり、許容値を満足している。

イ. 熱膨張応力値（許容応力29.22 kg/mm²）

18.2 kg/mm²（評価点110）

14.0 kg/mm²（評価点118）

14.2 kg/mm²（評価点127）

ロ. 一次＋二次応力値（許容応力29.22 kg/mm²）

14.3 kg/mm²（評価点110）

10.5 kg/mm²（評価点118）

10.2 kg/mm²（評価点127）

7.4 疲労評価

最大疲れ累積係数は下記に示すとおりであり、制限条件を満足している。

(1) 運転状態Ⅰ・Ⅱ（制限条件 $U \leq 1$ ）

0.01769（評価点110）

(2) 地震時（制限条件 $U + U_S \leq 1$ ）

0.02484（評価点110）

0.01770（評価点118）

0.01782（評価点127）

表 3-13(1) 応力評価表

評価点	一次応力評価 (kg/mm ²)		一次 + 二次応力評価 (kg/mm ²)				疲労評価 疲れ累積係数
	一次応力	許容応力 1.5 S m	一次 + 二次 応力	弾塑性解析の 熱膨張応力	弾塑性解析の一次 + 二次 応力	許容応力 3 S m	
7 1	4.1		2 3.7	—	—		0.0 1 7 6 5
	4.8		2 4.8	—	—		0.0 1 7 7 0
8 2	4.6		1 3.7	—	—		0.0 1 7 6 5
	5.4		1 4.9	—	—		0.0 1 7 7 0
1 1 0	4.0		3 2.0	1 8.2	1 4.3		0.0 1 7 6 9
	7.2		3 9.0	—	—		0.0 2 4 8 4
1 1 8	4.1	1 4.6 1	2 7.8	1 4.0	1 0.5	2 9.2 2	0.0 1 7 6 5
	5.3		3 0.0	—	—		0.0 1 7 7 0
1 2 7	7.1		2 8.0	1 4.2	1 0.2		0.0 1 7 6 5
	8.9		3 0.5	—	—		0.0 1 7 8 2
1 3 2	3.6		2 3.1	—	—		0.0 1 7 6 5
	4.7		2 3.9	—	—		0.0 1 7 7 0
2 2 5	4.6		1 8.0	—	—		0.0 1 7 6 5
	6.1		2 0.6	—	—		0.0 1 7 7 0

下段は地震時の値

表 3-13(2) 応力評価表

評価点	一次応力評価 (kg/mm ²)		一次 + 二次応力評価 (kg/mm ²)				疲労評価 疲れ累積係数
	一次応力	許容応力 1.5 S _m	一次 + 二次 応力	弾塑性解析の 熱膨張応力	弾塑性解析の一次 + 二次 応力	許容応力 3 S _m	
235	4.9	14.61	13.2	—	—	29.22	0.01765
	5.8		14.5	—	—		0.01770
240	4.3	14.61	11.8	—	—	29.22	0.01765
	5.7		13.6	—	—		0.01770
300	4.2	14.61	11.9	—	—	29.22	0.01765
	5.4		13.8	—	—		0.01770
340	4.1	14.61	23.9	—	—	29.22	0.01765
	5.4		28.6	—	—		0.01770
350	4.2	14.61	24.3	—	—	29.22	0.01765
	5.4		27.6	—	—		0.01770
370	3.6	14.61	23.3	—	—	29.22	0.01765
	5.6		25.7	—	—		0.01770

下段は地震時の値

8. 代表的な振動モード図

地震応力の影響を支配的に受けるモデルの振動状態を1次から3次までのモードに代表させ、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。

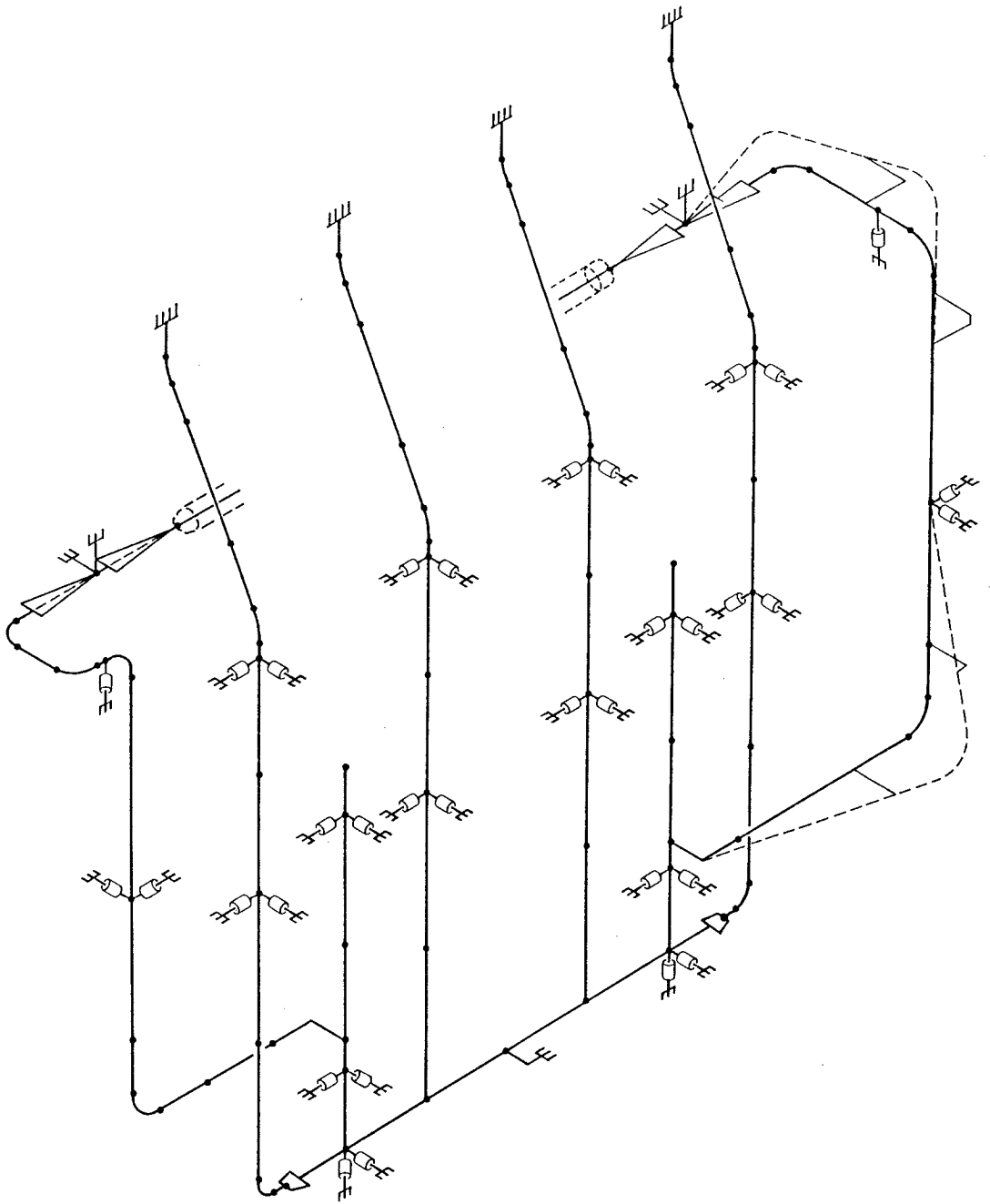


図 3 - 5 原子炉再循環系配管 1 次振動モード図

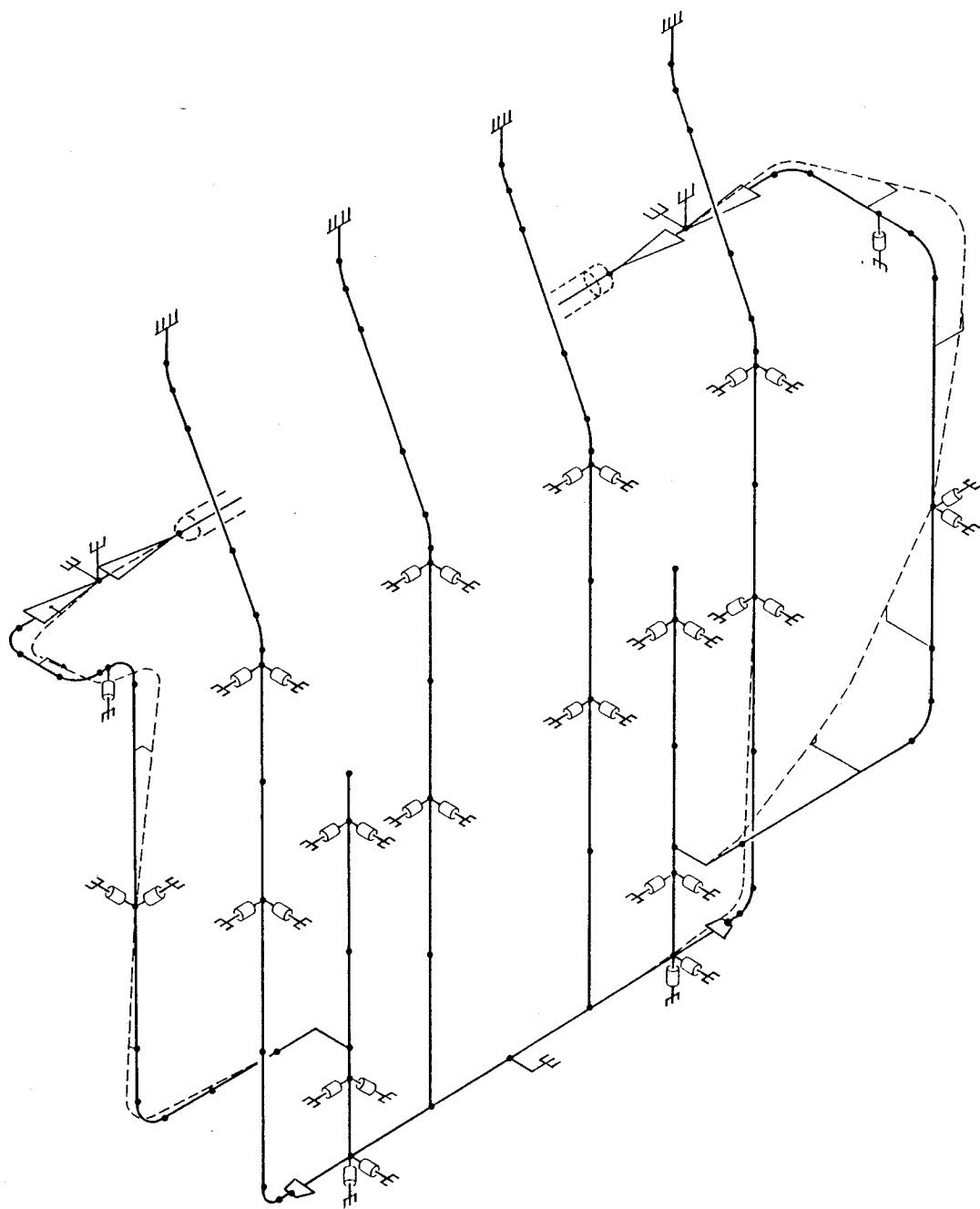


図 3 - 6 原子炉再循環系配管 2 次振動モード図

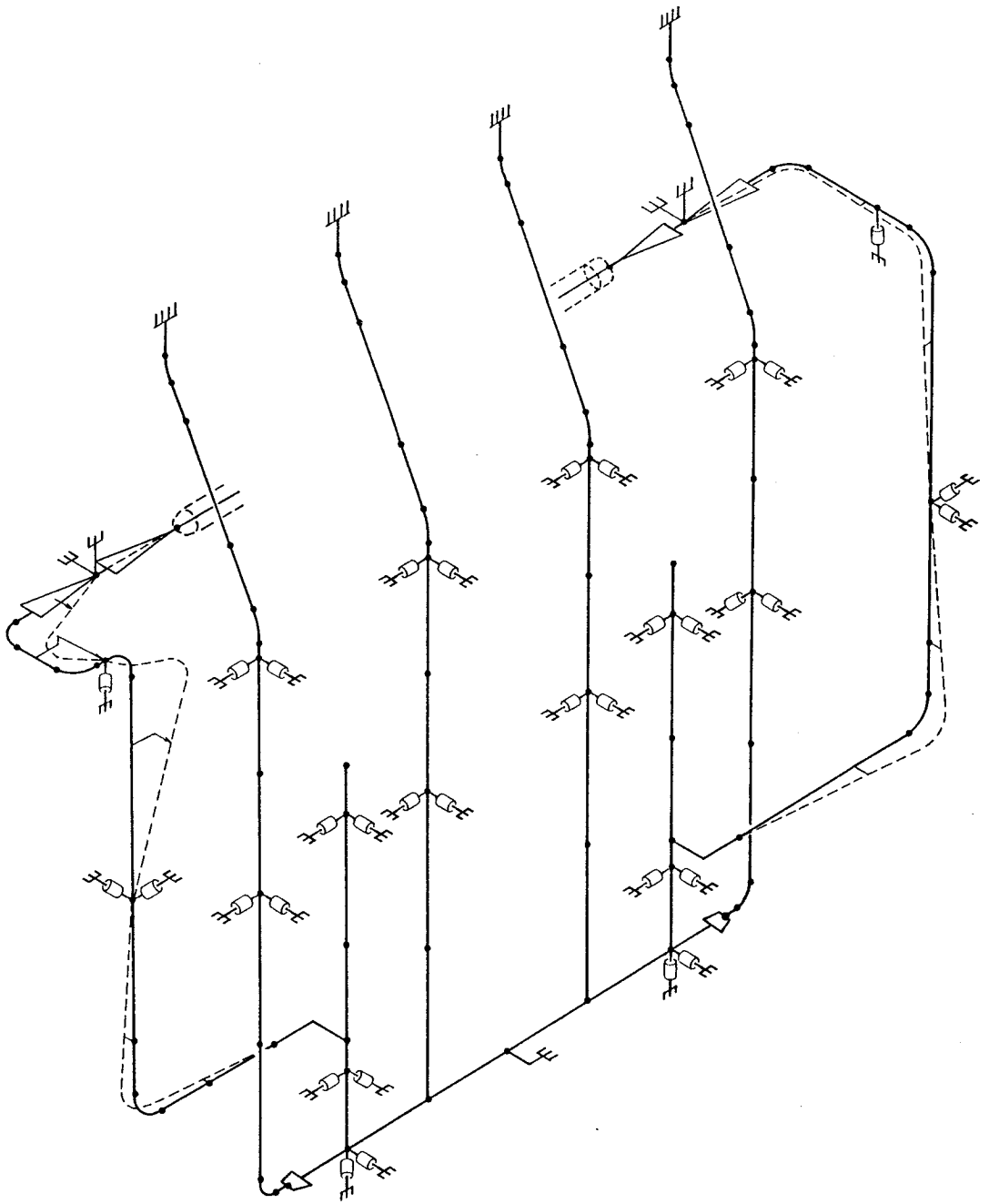


図 3 - 7 原子炉再循環系配管 3 次振動モード図

IV - 3 - (2) 原子炉再循環系配管の厚さ計算書

目 次

1. 配管の厚さ計算の概要 IV-3-(2)-1
2. 配管の厚さ計算（第1種管）（内圧） IV-3-(2)-2

1. 配管の厚さ計算の概要

原子炉再循環系配管の厚さに関しては、通産省告示第501号「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」に基づき計算を行う。

- (1) 告示第501号第49条第1項により、内圧を受ける第1種管の厚さの計算式は以下のとおりとする。

管の計算上必要な厚さ：t (mm)

$$t = P \cdot D_o / (200 S_m + 0.8 P)$$

ここで P は最高使用圧力 (kg/cm²)

D_o は管の外径 (mm)

S_m は最高使用温度における設計応力強さ (kg/mm²)

である。

2. 配管の厚さ計算（第1種管）（内圧）

計算対象配管名称（下降管 14B）

（スケジュール 80）

記号及び算式		設備名		原子炉冷却系統設備
		名称		原子炉再循環系配管 （下降管）
最高使用圧力	P	kg/cm ²		82
最高使用温度	T	℃		296
管の外径	D _o	mm		355.6
材 料	—	—		SUS 316LTP
設計応力強さ	S _m	kg/mm ²		9.7
製 法	—	—		熱間仕上継目無鋼管
①	P・D _o			29159.2
②	200S _m +0.8P			2005.6
③	①/②			14.538
④	t			14.6
呼 び 厚 さ	t ₁	mm		19.0
設計上の最小厚さ	t ₂	mm		15.3
t ₂ ≥ t , よって厚さは十分である。				

計算対象配管名称 (下降管 14B)

(スケジュール 100)

記号及び算式		設備名		原子炉冷却系統設備
		名称		原子炉再循環系配管 (下降管)
最高使用圧力	P	kg/cm ²		82
最高使用温度	T	°C		296
管の外径	D _o	mm		355.6
材 料	—	—		SUS 316LTP
設計応力強さ	S _m	kg/mm ²		9.7
製 法	—	—		熱間仕上継目無鋼管
①	P・D _o			29159.2
②	200S _m +0.8P			2005.6
③	①/②			14.538
④	t			14.6
呼 び 厚 さ	t ₁	mm		23.8
設計上の最小厚さ	t ₂	mm		16.6
t ₂ ≥ t , よって厚さは十分である。				

計算対象配管名称 (吐出管 16B)

(スケジュール 80)

記号及び算式		設備名		原子炉冷却系統設備
		名称		原子炉再循環系配管 (吐出管)
最高使用圧力	P	kg/cm ²		82
最高使用温度	T	°C		296
管の外径	D _o	mm		406.4
材 料	—	—		SUS 316LTP
設計応力強さ	S _m	kg/mm ²		9.7
製 法	—	—		熱間仕上継目無鋼管
①	P・D _o			33324.8
②	200S _m +0.8P			2005.6
③	①/②			16.615
④	t			16.7
呼 び 厚 さ	t ₁	mm		21.4
設計上の最小厚さ	t ₂	mm		18.7
t ₂ ≥ t, よって厚さは十分である。				

計算対象配管名称 (吐出管 16B)

(スケジュール 80)

記号及び算式		設備名		原子炉冷却系統設備
		名称		原子炉再循環系配管 (吐出管)
最高使用圧力	P	kg/cm ²		8.2
最高使用温度	T	°C		296
管の外径	D _o	mm		406.4
材 料	—	—		SUS F 316L
設計応力強さ	S _m	kg/mm ²		9.7
製 法	—	—		鍛 造
①	P · D _o			33324.8
②	200 S _m + 0.8 P			2005.6
③	① / ②			16.615
④	t			16.7
呼 び 厚 さ	t ₁	mm		19.325
設計上の最小厚さ	t ₂	mm		18.7
t ₂ ≥ t , よって厚さは十分である。				

計算対象配管名称 (吐出管 16B)

(スケジュール 100)

記号及び算式		設備名		原子炉冷却系統設備
		名称		原子炉再循環系配管 (吐出管)
最高使用圧力	P	kg/cm ²		82
最高使用温度	T	°C		296
管の外径	D _o	mm		406.4
材 料	—	—		SUS 316LTP
設計応力強さ	S _m	kg/mm ²		9.7
製 法	—	—		熱間仕上継目無鋼管
①	P・D _o			33324.8
②	200S _m +0.8P			2005.6
③	①/②			16.615
④	t			16.7
呼び厚さ	t ₁	mm		26.2
設計上の最小厚さ	t ₂	mm		18.7
t ₂ ≥ t , よって厚さは十分である。				

計算対象配管名称 (吐出管 16B)

(スケジュール 100)

記号及び算式		設備名		原子炉冷却系統設備
		名称		原子炉再循環系配管 (吐出管)
最高使用圧力	P	kg/cm ²		82
最高使用温度	T	°C		296
管の外径	D _o	mm		406.4
材 料	—	—		SUS F 316L
設計応力強さ	S _m	kg/mm ²		9.7
製 法	—	—		鍛造
①	P・D _o			33324.8
②	200S _m +0.8P			2005.6
③	①/②			16.615
④	t			16.7
呼 び 厚 さ	t ₁	mm		26.2
設計上の最小厚さ	t ₂	mm		18.7
t ₂ ≥ t, よって厚さは十分である。				

IV - 3 - (3) 原子炉再循環系配管の
穴の補強計算書

目 次

1. 配管の穴の補強計算の概要 IV-3-(3)-1
2. 穴の補強計算 IV-3-(3)-3

1. 配管の穴の補強計算の概要

原子炉再循環系配管の穴の補強計算に関しては、通産省告示第501号「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」に基づき計算を行う。

(1) 補強を要しない穴の最大径

告示第501号第51条第1項第2号ロによる。

イ. 円形の穴であって、直径が次式で計算した値以下の場合

$$d = 0.2 \sqrt{R t_s}$$

(2) 穴の補強計算

告示第501号第51条第2項により行う。

イ. 補強に有効な範囲

$$X = X_1 + X_2$$

$$X_1 = X_2 = d / 2 + t_s + t_n$$

$$Y = 0.5 \sqrt{r t_n} + 0.5 r_n$$

ロ. 補強に必要な面積

$$A_r = d t_{sr} (2 - \sin \theta)$$

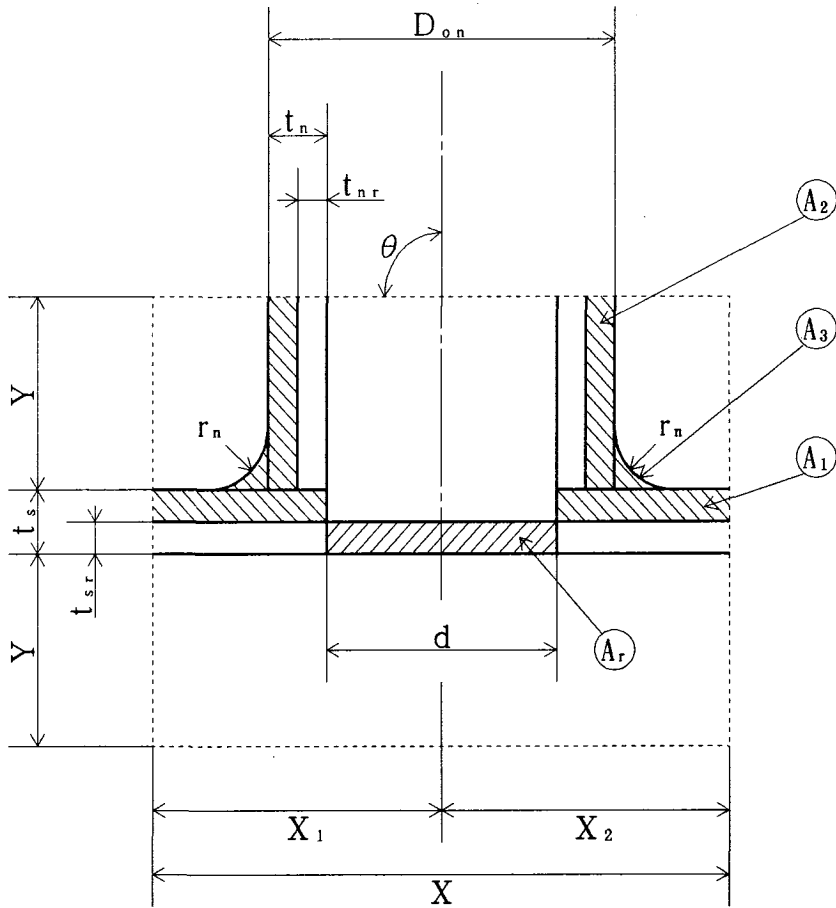
ハ. 補強に有効な面積

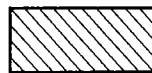
$$A_0 = A_1 + A_2 + A_3$$


$$A_1 = (t_s - t_{sr})(X - d)$$

$$A_2 = 2(t_n - t_{nr})Y$$

$$A_3 = \frac{4 r_n^2 - \pi r_n^2}{2}$$



 補強に有効な面積

 補強に必要な面積

注) 図中の記号については、次ページ以降に示すとおりである。

2. 穴の補強計算

(1) 再循環ポンプ吐出管流量計用

イ. 補強を要しない穴の最大径

配管の外径	$D_{o.s}$	mm	406.4
配管の厚さ	t_s	mm	19.325
配管の平均半径	R	mm	193.537
穴の径	d	mm	16.1

補強を要しない穴の最大径	mm	12.2
吐出管に設ける穴の径 d は、補強を要しない穴の最大径 12.2 mm 以上のため、穴の補強計算を行う。		

ロ. 穴の補強計算

穴の径	d	mm	16.1
配管の材料			SUS F 316L
管台の材料			SUS F 316L
配管の最小必要厚さ	t_{sr}	mm	16.7
管台の最小必要厚さ	t_{nr}	mm	1.4
配管の厚さ	t_s	mm	19.325
管台の厚さ	t_n	mm	8.3
管台の外径	D_{on}	mm	32.7
管台の平均半径	r	mm	12.2
管台と主管移行部半径	r_n	mm	15.0
分岐管と主管の交角	θ	度	90
補強に有効な範囲	X_1	mm	35.675
補強に有効な範囲	X_2	mm	35.675
補強に有効な範囲	Y	mm	12.5
補強に必要な面積	A_r	mm ²	268.9
配管の有効補強面積	A_1	mm ²	145.0
管台の有効補強面積	A_2	mm ²	172.5
隅肉部の有効補強面積	A_3	mm ²	96.5
補強に有効な総面積	A_0	mm ²	414.0
補強に有効な面積 A_0 は、穴の補強に必要な面積 A_r 以上であるため、補強は十分である。			

(2) B-再循環ポンプ側吐出管出口差圧計用

イ. 補強を要しない穴の最大径

配管の外径	$D_{o,s}$	mm	406.4
配管の厚さ	t_s	mm	26.2
配管の平均半径	R	mm	190.1
穴の径	d	mm	16.1

補強を要しない穴の最大径	mm	14.1
吐出管に設ける穴の径dは、補強を要しない穴の最大径14.1mm以上のため、穴の補強計算を行う。		

ロ. 穴の補強計算

穴の径	d	mm	16.1
配管の材料			SUS F316L
管台の材料			SUS F316L
配管の最小必要厚さ	t_{sr}	mm	16.7
管台の最小必要厚さ	t_{nr}	mm	1.4
配管の厚さ	t_s	mm	26.2
管台の厚さ	t_n	mm	8.3
管台の外径	D_{on}	mm	32.7
管台の平均半径	r	mm	12.2
管台と主管移行部半径	r_n	mm	15.0
分岐管と主管の交角	θ	度	90
補強に有効な範囲	X_1	mm	42.55
補強に有効な範囲	X_2	mm	42.55
補強に有効な範囲	Y	mm	12.5
補強に必要な面積	A_r	mm ²	268.9
配管の有効補強面積	A_1	mm ²	655.5
管台の有効補強面積	A_2	mm ²	172.5
隅肉部の有効補強面積	A_3	mm ²	96.5
補強に有効な総面積	A_0	mm ²	924.5
補強に有効な面積 A_0 は、穴の補強に必要な面積 A_r 以上であるため、補強は十分である。			

(3) D-再循環ポンプ側吐出管出口差圧計用

イ. 補強を要しない穴の最大径

配管の外径	D_o	mm	406.4
配管の厚さ	t_s	mm	21.4
配管の平均半径	R	mm	192.5
穴の径	d	mm	16.1

補強を要しない穴の最大径	mm	12.8
吐出管に設ける穴の径dは、補強を要しない穴の最大径12.8mm以上のため、穴の補強計算を行う。		

ロ. 穴の補強計算

穴の径	d	mm	16.1
配管の材料			SUS 316LTP
管台の材料			SUS F 316L
配管の最小必要厚さ	t_{sr}	mm	16.7
管台の最小必要厚さ	t_{nr}	mm	1.4
配管の厚さ	t_s	mm	21.4
管台の厚さ	t_n	mm	8.3
管台の外径	D_{on}	mm	32.7
管台の平均半径	r	mm	12.2
管台と主管移行部半径	r_n	mm	15.0
分岐管と主管の交角	θ	度	90
補強に有効な範囲	X_1	mm	37.75
補強に有効な範囲	X_2	mm	37.75
補強に有効な範囲	Y	mm	12.5
補強に必要な面積	A_r	mm ²	268.9
配管の有効補強面積	A_1	mm ²	279.1
管台の有効補強面積	A_2	mm ²	172.5
隅肉部の有効補強面積	A_3	mm ²	96.5
補強に有効な総面積	A_0	mm ²	548.1
補強に有効な面積 A_0 は、穴の補強に必要な面積 A_r 以上であるため、補強は十分である。			

(4) 吐出管サンプリング配管用管台

イ. 補強を要しない穴の最大径

配管の外径 $D_{o.s}$	mm	406.4
配管の厚さ t_s	mm	21.4
配管の平均半径 R	mm	192.5
穴の径 d	mm	16.2

補強を要しない穴の最大径	mm	12.8
吐出管に設ける穴の径 d は、補強を要しない穴の最大径 12.8 mm 以上のため、穴の補強計算を行う。		

ロ. 穴の補強計算

穴の径	d	mm	16.2
配管の材料			SUS 316LTP
管台の材料			SUS F 316L
配管の最小必要厚さ	t_{sr}	mm	16.7
管台の最小必要厚さ	t_{nr}	mm	1.8
配管の厚さ	t_s	mm	21.4
管台の厚さ	t_n	mm	13.25
管台の外径	D_{on}	mm	42.7
管台の平均半径	r	mm	14.7
管台と主管移行部半径	r_n	mm	15.0
分岐管と主管の交角	θ	度	90
補強に有効な範囲	X_1	mm	42.75
補強に有効な範囲	X_2	mm	42.75
補強に有効な範囲	Y	mm	14.4
補強に必要な面積	A_r	mm ²	270.6
配管の有効補強面積	A_1	mm ²	325.7
管台の有効補強面積	A_2	mm ²	329.7
隅肉部の有効補強面積	A_3	mm ²	96.5
補強に有効な総面積	A_0	mm ²	751.9
補強に有効な面積 A_0 は、穴の補強に必要な面積 A_r 以上であるため、補強は十分である。			

IV - 3 - (4) 蒸気ドラム下降管ノズルセーフエンドの
強度計算書
(耐震強度計算を含む)

目 次

1. 概 要	IV-3-(4)-1
2. 基本条件	IV-3-(4)-2
3. 計算モデル及び仕様	IV-3-(4)-3
4. 計算方法の概要	IV-3-(4)-6
5. 許容応力	IV-3-(4)-12
6. 計算結果と応力評価	IV-3-(4)-15

1. 概 要

Bループの原子炉再循環系配管取替の際、蒸気ドラムBに接続されている下降管ノズルセーフエンド4個についても取替を行うことから、その安全性について評価するため、強度計算を行った。

下降管ノズルセーフエンドの強度計算に当たっては、4個ある下降管ノズルセーフエンドの使用条件が同一であるため、下降管ノズルセーフエンドに外力を及ぼす下降管からの荷重が最も厳しい箇所の下降管ノズルセーフエンドについて応力評価を行った

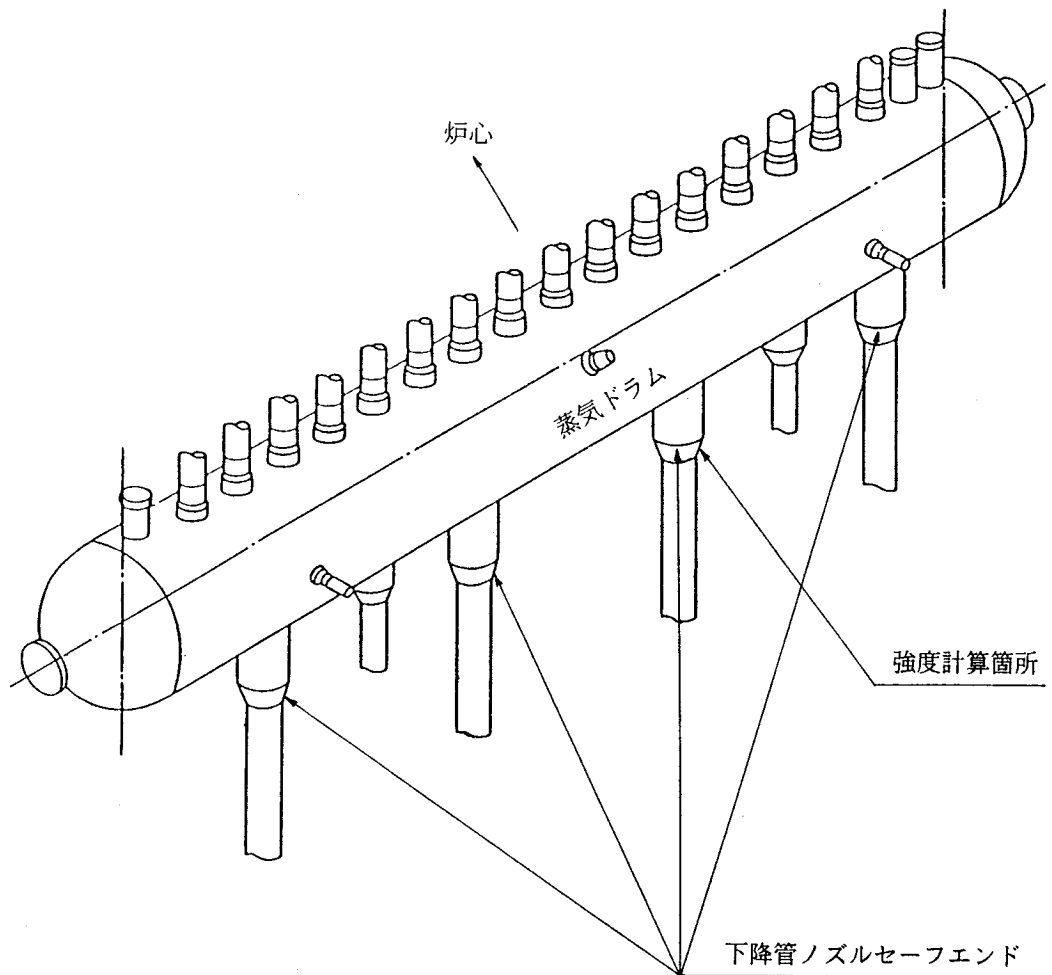


図 3-(4)-1

2. 基本条件

下降管ノズルセーフエンドの強度計算は、下記を基本条件として実施した。

- 2.1 耐震クラスはAクラス，機器種別は第1種容器である。
- 2.2 耐震解析は，最大水平加速度0.25Gが原子炉建屋基礎部に加わるとして動的解析を行い，動的解析により定まる水平地震力または $1.2 \times 0.8 \times 3 C_0$ より定まる静的地震力のいずれか大きい方と，鉛直方向地震力を同時に不利な方向に作用させて評価した下降管からの地震荷重が下降管ノズルセーフエンドに加わるとした。
- 2.3 各部の応力の算出及び評価に関しては，通産省告示第501号による。
なお，耐震設計は，本発電所の既設構造物の設計に用いた手法のものと同様な手法で行う。

3. 計算モデル及び仕様

3.1 計算モデル

下降管ノズルセーフエンドの形状は、図3-(4)-2(1)に示すとおりである。これを図3-(4)-2(2)に示すとおり二次元軸対称にモデル化しメッシュに分割して有限要素法を用いて応力分布をもとめ、図3-(4)-2(1)に示す応力評価位置において周方向90度毎に応力評価点を設け応力評価を行った。

なお、下降管からの荷重による応力は、梁理論により求めた。

3.2 下降管ノズルセーフエンドの仕様は、表3-(4)-1に示すとおりである。

表3-(4)-1 下降管ノズルセーフエンド仕様

耐震 クラス	最高使用 圧力 (kg/cm ²)	最高使用 温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材 料
A	8.2 (6.8)	296 (284)	355.6 / 390.0	23.8 / 32.0	SUS F 316 L

() 内は通常運転時の値

単位：mm

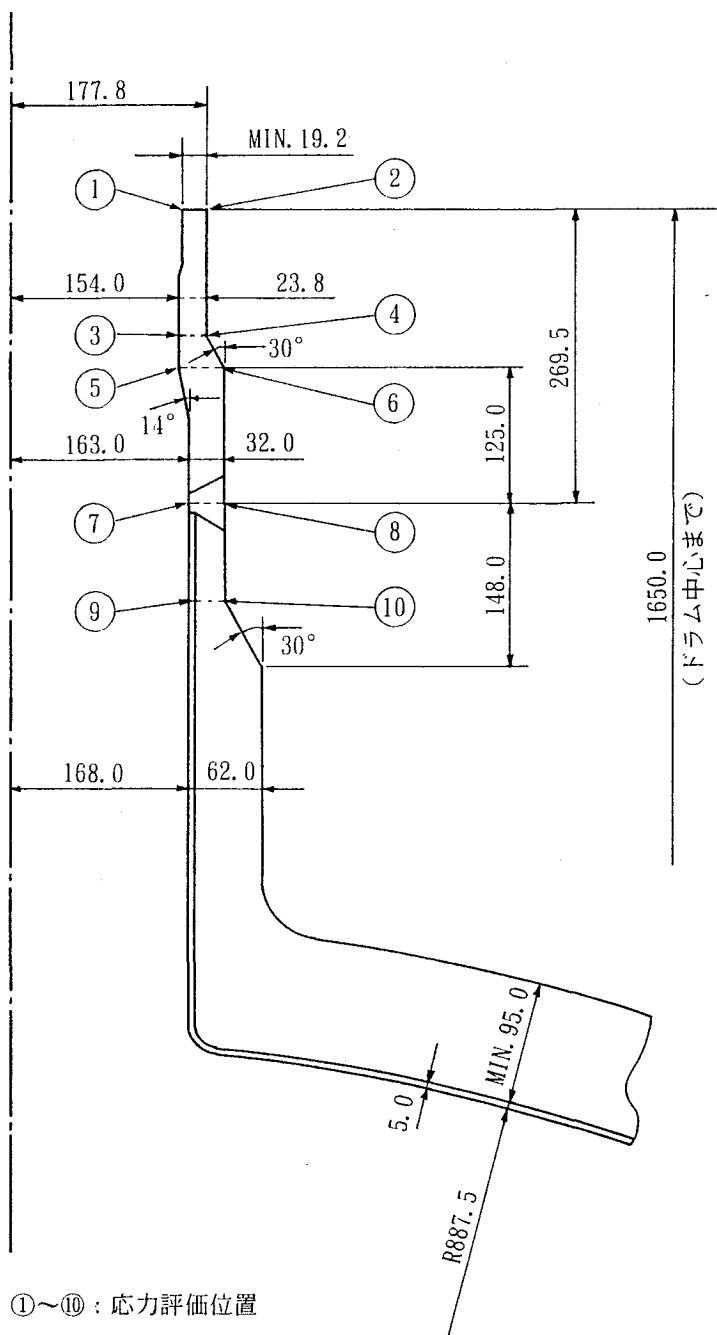
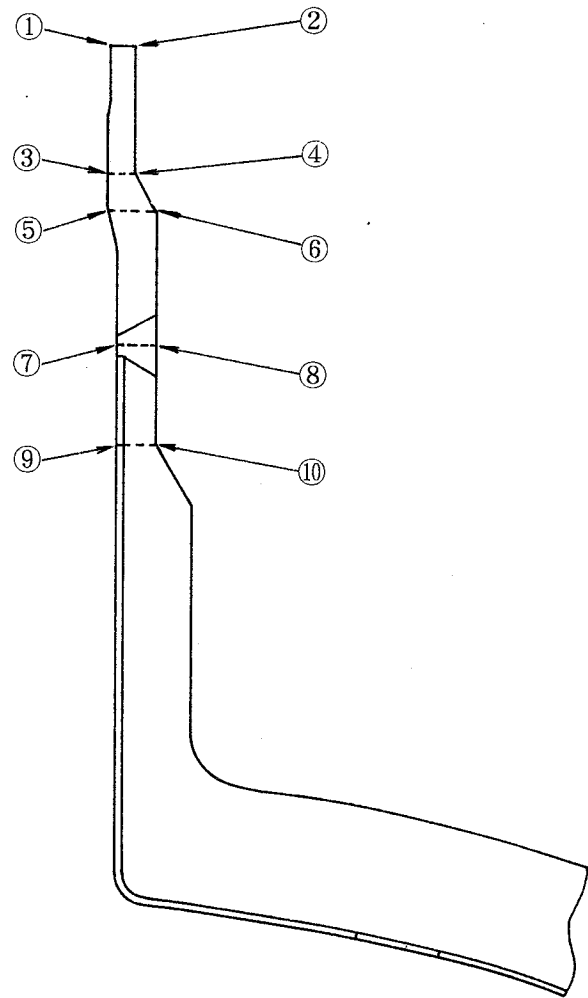


図 3 - 4 - 2 (1) 余熱除去系ノズルセーフエンドの形状、寸法及び
応力評価位置



①～⑩：応力評価位置

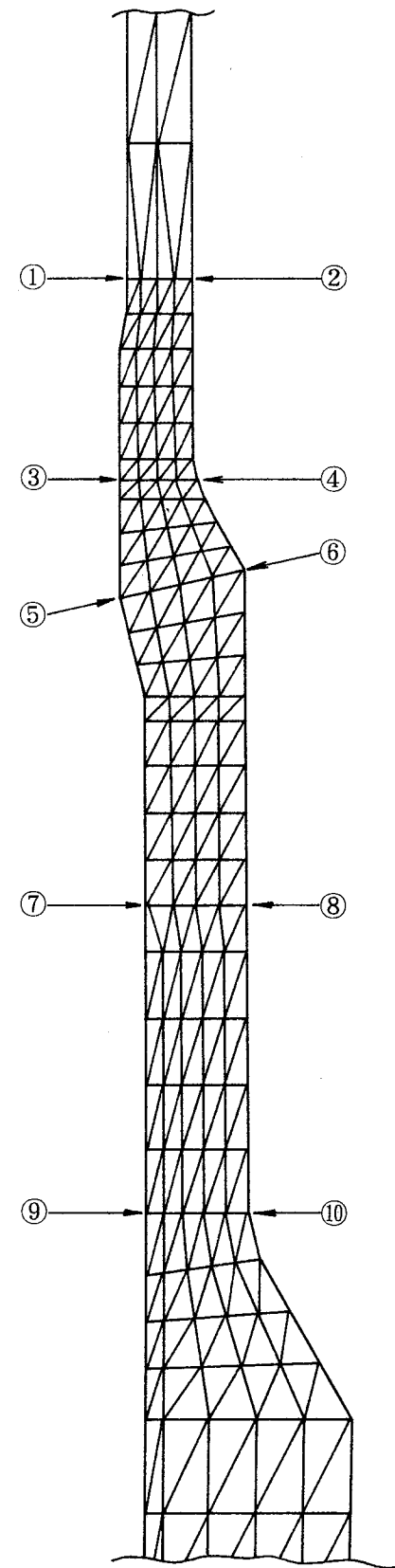


図 3-(4)-2(2) 余熱除去系ノズルセーフエンドメッシュ分割図

4. 計算方法の概要

告示第501号第1種容器の規定により応力の算出及び評価を行う。

応力の算出は、1次応力及び1次+2次応力を内圧、自重、熱膨張等の荷重条件を考慮し、地震時も含めて計算する。(表3-(4)-4参照)

4.1.1 応力算出

(1) 1次応力

地震時も含め、設計状態の一次一般膜応力は告示第501号第13条第1項により応力を算出する。

設計状態において考慮する荷重は内圧(最高使用圧力)並びに下降管の自重及び地震慣性力による外力である。

なお、運転状態Ⅲ、Ⅳ(破断事故)は設計状態の条件以下であり、評価不要である。

(2) 1次+2次応力

地震時も含め運転状態Ⅰ、Ⅱ、Ⅲの1次+2次応力の最大値と最小値の差は、告示第501号第13条第1項により算出する。

考慮する荷重は内圧、熱衝撃及び下降管からの外力である。

(3) ピーク応力及び疲労評価

地震時も含め運転状態Ⅰ、Ⅱ、Ⅲにおける繰返しピーク応力強さは、告示第501号第13条第1項により算出する。

考慮する荷重は内圧、熱衝撃及び下降管からの外力である。

(4) 熱応力変動値

運転状態Ⅰ、Ⅱにおける熱応力変動値は、告示第501号第13条第1項により算出する。

考慮する荷重は内圧、熱衝撃である。

4.2 荷重条件

表 3-(4)-2 及び図 3-(4)-3, 図 3-(4)-4 に示す過渡条件と以下の荷重条件を考慮して計算を行った。

- (1) 内 圧 …………… 最高使用圧力, 運転圧力。
- (2) 熱衝撃 …………… 各運転状態において温度によって発生する応力を考慮した。

なお, 各運転状態における流体の圧力及び温度は図 3-(4)-3 及び図 3-(4)-4 に示す値を用いた。

- (3) 入口管からの外力

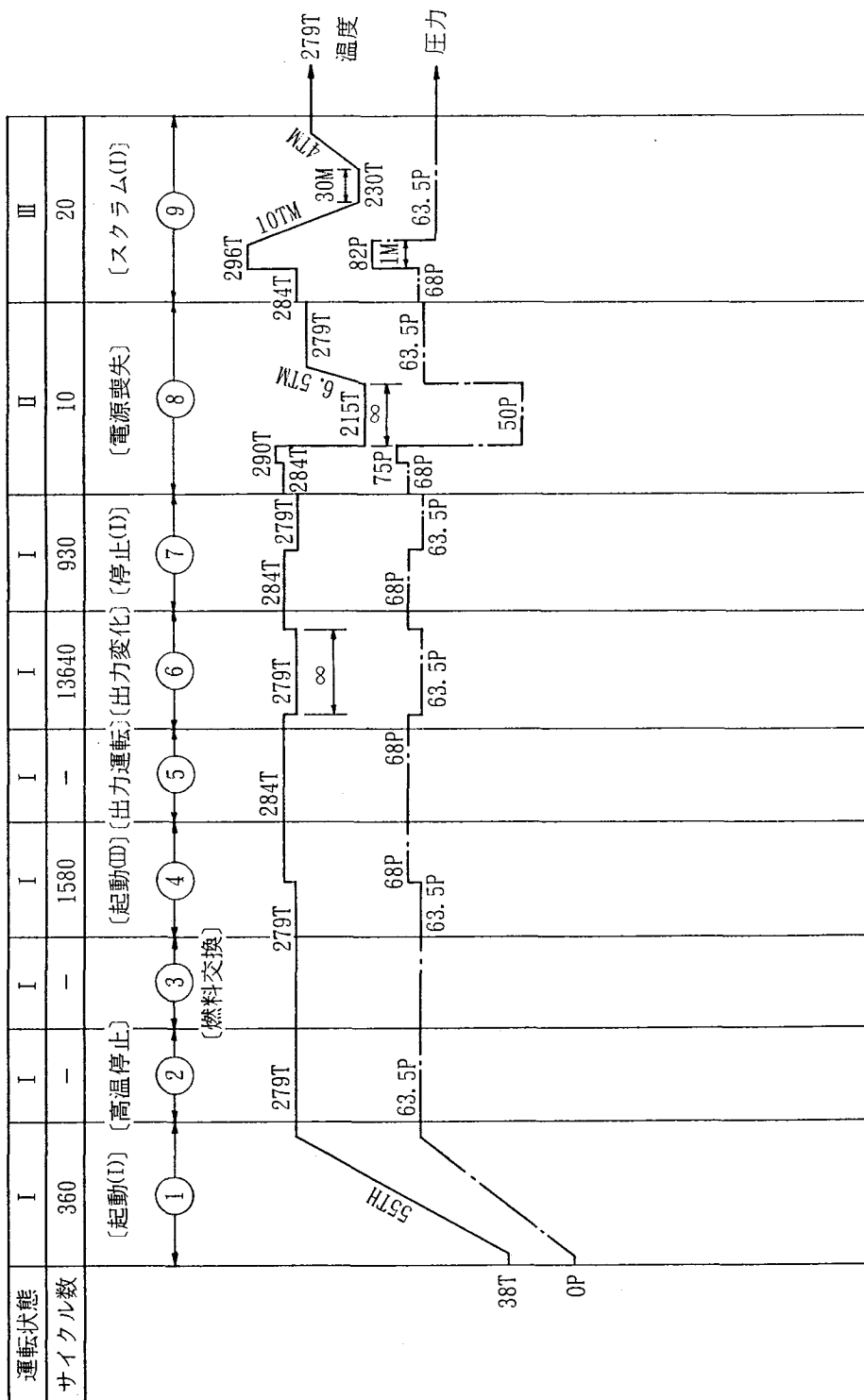
下降管からの外力として, 自重による外力, 地震慣性力による外力, 地震相対変位による外力及び熱膨張による外力を考慮した。(表 3-(4)-3 参照)

表3-(4)-2 下降管ノズルセーフエンドの過渡条件

番号	運転状態	過渡条件	過渡条件の説明	発生回数	備考
1	I	起 動 (I)	冷温停止から高温停止までの原子炉温度上昇	3 6 0	
2	I	高 温 停 止	高温停止	—	(注1)
3	I	燃 料 交 換	燃料交換	—	(注1)
4	I	起 動 (II)	高温停止から出力運転まで	1 5 8 0	
5	I	出 力 運 転	出力運転	—	(注1)
6	I	出 力 変 化	発電出力変化	1 3 6 4 0	
7	I	停 止 (I)	出力運転から高温停止まで	9 3 0	
8	II	所内電源喪失	出力運転中の所内電源喪失	1 0	(注2)
9	III	スクラム (I)	タービントリップ	2 0	最高使用圧力×1.1になる場合
10	III	スクラム (II)	タービントリップ	2 6 0	
11	II	スクラム (III)	手動その他	3 6 0	
12	I	停 止 (II)	給水により水位を保ちながら原子炉圧力低下	3 6 0	高温停止から余熱除去系作動領域まで
13	I	停 止 (III)	原子炉温度低下	3 6 0	余熱除去系による原子炉温度の低下
14	II	漏 洩 試 験		5 0	

(注1) 圧力, 温度とも変化しないので, 考慮しない。

(注2) 地震の組み合わせられる過渡条件であるので, 疲れ解析では地震の回数(50回)に合わせた。



記号
 T.....温度 (°C)
 P.....圧力 (kg/cm²)
 TH.....温度変化率 (°C/時間)
 TM.....温度変化率 (°C/分)

図-3-(4)-3 過渡条件

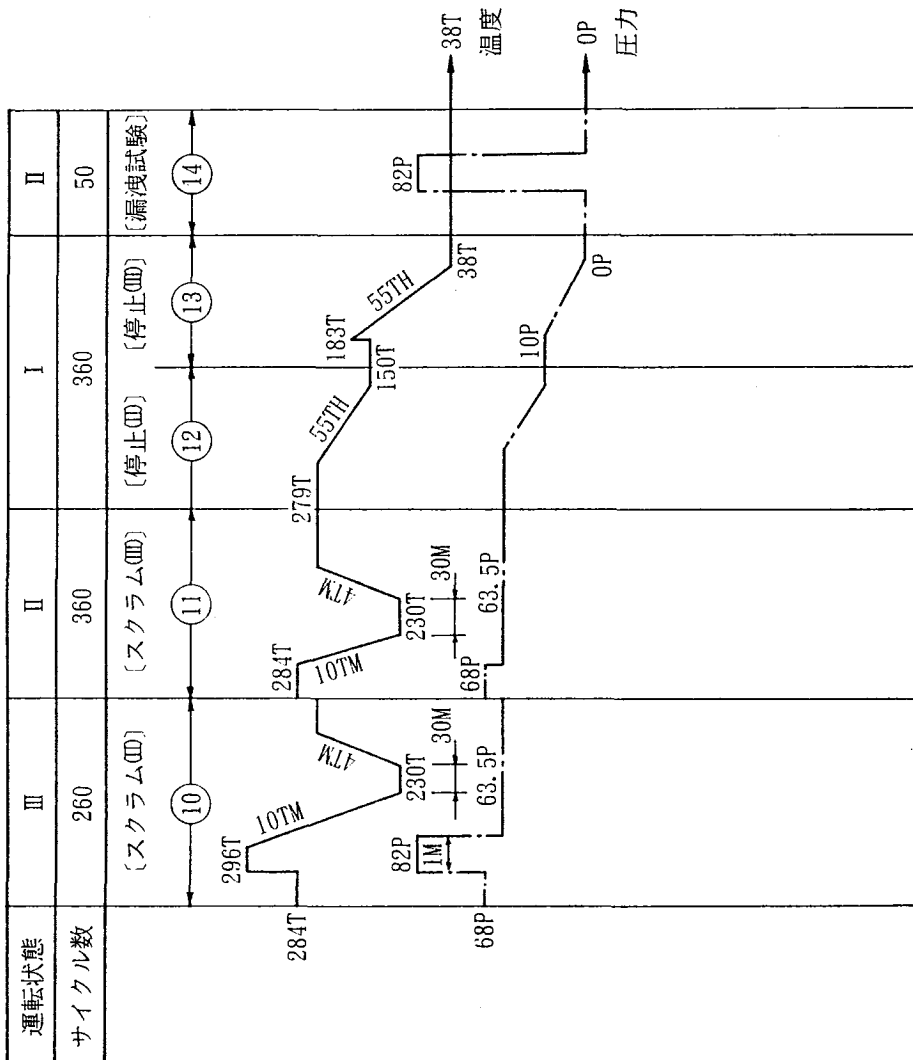


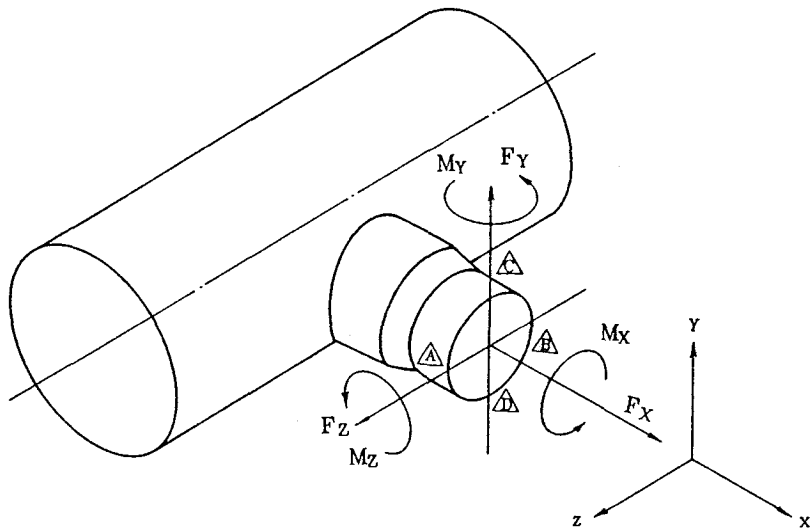
図-3-(4)-4 過渡条件

表 3 - (4) - 3 下降管ノズルセーフエンド外荷重条件

荷 重 条 件			反 力 (kg)			反モーメント (kg-m)		
			F x	F y	F z	M x	M y	M z
自 重			2236	103	-12	-18	63	-2201
熱 膨 張			-2019	-595	-52	-274	372	-2286
地 震	慣 性 力	X + Y 方向	8342	4493	153	50	280	2661
		Z + Y 方向	8108	4142	491	146	897	2228
震 対	相 対	X + Y 方向	1150	587	48	113	74	354
		Z + Y 方向	2616	1460	181	447	696	1018

注 1. 地震による反力は絶対値を記載した。

注 2. 座標系は下図による。



△: 応力解析点(PPOINT)

図 3 - (4) - 5

5. 許容応力

告示第501号第1種容器の規定により応力の算出及び評価を行う。なお、地震時の応力評価は従来どおりである。(表4-(1)-4参照)

5.1 1次応力

告示第501号第13条第1項により、地震時も含め設計状態の一次一般膜応力は S_m 以下、一次局部膜応力または一次膜応力と一次曲げ応力の和は $1.5 S_m$ 以下とする。

5.2 1次+2次応力

地震時も含め運転状態Ⅰ、Ⅱ、Ⅲの1次+2次応力の最大値と最小値の差は、告示第501号第13条第1項により $3 S_m$ 以下であることを確認する。

5.3 ピーク応力及び疲労評価

地震時も含め運転状態Ⅰ、Ⅱ、Ⅲにおける繰返しピーク応力強さは、告示第501号第13条第1項により疲れ累積係数が1以下であることを確認する。

5.4 熱応力変動値

運転状態Ⅰ、Ⅱにおける熱応力変動値は、告示第501号第13条第1項により許容値内にあることを確認する。

5.5 使用材料の許容応力値は表4-(1)-5のとおりである。

表 3-(4)-4 荷重の組み合わせ

許容応力		応力の種類	一次一般	一次局部膜応力 + 一次曲げ応力強	一次応力 + 二次応力強さ	一次応力 + 二次応力 + ピーク応力強さ
		膜応力強さ	P m	PL+Pb	PL+Pb+Q	PL+Pb+Q+F
状態の分類		S m	1.5 S m	3 S m	$\Sigma U_i \leq 1$	
最高使用圧力		○	○	—	—	
運転状態 (I, II)		—	—	○	○	
運転状態 (III, IV)		—(注3)	—(注3)	—	—	
配管外力	自重	○	○	○	○	
	熱膨張	—	—	○	○	
	地震	○	○	○(注1)	○(注2)	

(注1) 運転状態の各過渡のうち、地震を除く一次+二次応力が最大となる過渡に地震(慣性力+相対変位)を組み合わせ、応力評価を行う。

(注2) 運転状態の各過渡のうち、地震を除く一次+二次+ピーク応力が最大となる過渡に地震(慣性力+相対変位)を組み合わせ、疲れ累積係数を評価する。

ただし、過渡の回数は、地震と組み合わせる過渡の回数が50回以下の場合には50とし、50回を越える場合はその過渡回数とする。

(注3) 運転状態III, IVは、設計状態の条件以下であり、評価不要である。

表 3-(4)-5 材料の許容応力

材 質	S m (kg/mm ²) (296℃)	使 用 箇 所
S U S F 3 1 6 L	9.74	ノズルセーフエンド部 (図3-(4)-2 ①~⑧)
原子力発電用鍛鋼品1種A (ASME SA 350 Gr LF2)	12.89 (注)	ノズル本体 (図3-(4)-2 ⑨, ⑩)

(注) 昭和45年告示第501号による。

6. 計算結果と応力評価

6.1 下降管ノズルセーフエンド基本強度計算

下降管ノズルセーフエンドについては、通商産業省告示第501号第13条に基づいて一次一般膜応力を計算した。

その結果のうち、最も高いものを表3-(4)-6に示す。

表3-(4)-6 基本強度計算

計算箇所		下降管ノズルセーフエンド
記号及び算式		
最高使用圧力 P kg/mm ²		0.82
内半径 R mm		158.6
材 料		JIS G 3214 SUSF316L
設計応力強さ S _m kg/mm ²		9.74
計 算 式		円筒 $S = \sigma_{\theta} - \sigma_r = \frac{PR}{t} + \frac{P}{2}$
①	PR	$0.82 \times 158.6 = 130.052$
②	t	19.2
③	①/②	6.78
④	P/2	0.41
⑤	最大応力強さ S kg/mm ²	$7.19 < S_m$
参 考 図		

6.2 応力解析結果

図3-(4)-2に示す応力評価位置における周方向90度毎に設けた応力評価点の応力強さの最大値を表3-(4)-7に示す。表に示すとおり各応力はそれぞれの許容値以下である。

表3-(4)-7 計算結果

位置	一次一般膜応力		一次局部膜応力 +一次曲げ応力		二次応力		ピーク応力	
	Pm (kg/mm ²)	許容値 (Sm) (kg/mm ²)	PL or PL+Pb (kg/mm ²)	許容値 (1.5 Sm) (kg/mm ²)	二次応力強 さの変動幅 の最大値 (S. I) (kg/mm ²)	許容値 (3Sm) (kg/mm ²)	疲れ累積 係数 (ΣUi)	許容値
1	7.20	9.74	6.23	14.61	16.35	29.22	0.0	1.0
2	7.20		6.23		15.32		0.0	
3	5.73		5.73		22.56		0.0	
4	5.73		5.73		22.40		0.0	
5	3.50		4.40		17.00		0.0	
6	3.50		4.40		15.58		0.0	
7	4.60		4.71		14.48		0.0	
8	4.60	9.74	4.71	14.61	17.86	29.22	0.0	
9	5.52	12.89	4.72	19.33	13.80	38.67	0.0	
10	5.52	12.89	4.72	19.33	14.26	38.67	0.0	1.0
応力 評価	Pm(MAX) =7.20Kg/mm ² (位置1, 2) <Sm=9.74Kg/mm ² (位置1~8) Pm(MAX) =5.52Kg/mm ² (位置9, 10) <Sm =12.89Kg/mm ² (位置9, 10)		PL or PL+Pb(MAX) =6.23Kg/mm ² (位置1, 2) <1.5Sm= =14.61Kg/mm ² (位置1~8) PL or PL+Pb(MAX) =4.72Kg/mm ² (位置9, 10) <1.5Sm =19.33Kg/mm ² (位置9, 10)		SI(MAX)=22.56Kg/mm ² (位置3) <3Sm=29.22Kg/mm ² (位置1~8) SI(MAX)=14.26Kg/mm ² (位置10) <3Sm=38.67Kg/mm ² (位置9, 10)		ΣUi = 0.0 < 1.0 (位置1~10)	

6.3 熱応力変動値

熱応力変動値の評価結果を表3-(4)-8に示す。表に示すとおり、熱応力変動値は許容値以下である。

表3-(4)-8 熱応力変動値の評価結果

解析箇所	最大一次一般 膜応力 σ_P (kg/mm ²)	熱応力変動値 σ_S (kg/mm ²)	許容値 σ (kg/mm ²)	備考
セーフエンド	5.74	17.31	37.18	許容値 $\frac{(1.5 S m)^2}{\sigma_P}$ $\sigma_P \leq 0.75 S m$
ノズル	5.52	8.58	67.62	許容値 $\frac{S y^2}{\sigma_P}$ $\sigma_P \leq 0.5 S y$

IV - 4 下部ヘッドの強度計算書
(耐震強度計算を含む)

IV - 4 - (1) 下部ヘッド胴及び入口管ノズルの強度計算書

目 次

1. 概 要	IV-4-(1)-1
2. 基本条件	IV-4-(1)-2
3. 計算モデル及び仕様	IV-4-(1)-3
4. 計算方法の概要	IV-4-(1)-7
5. 許容応力	IV-4-(1)-13
6. 計算結果と応力評価	IV-4-(1)-16

1. 概 要

下部ヘッダの強度計算は、胴及び入口管ノズル、振れ止め金物の各々につき行う。なお、入口管ノズルは8個を取り替えるが、強度計算に当たっては、胴に接続されている入口管ノズルの使用条件が同一であるため、入口管ノズルに外力を及ぼす入口管からの荷重が最も厳しい箇所の入口管ノズルについて応力評価を行った。

(図4-(1)-1参照)

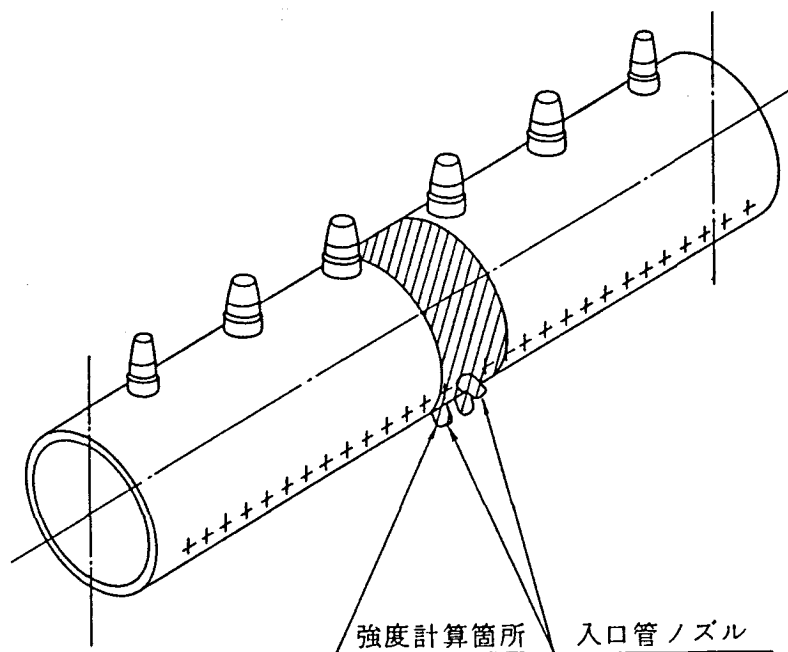


図4-(1)-1

2. 基本条件

下部ヘッダの強度計算は、下記を基本条件として実施した。

- 2.1 耐震クラスはAクラス，機器種別は第1種容器である。
- 2.2 耐震解析は，最大水平加速度0.25Gが原子炉建屋基礎部に加わるとして動的解析を行い，動的解析より定まる水平地震力または $1.2 \times 0.8 \times 3 C_0$ (C_0 は建築基準法に定められる震度)より定まる静的地震力のいずれか大きい方と鉛直方向地震力を同時に不利な方向に作用させて評価した入口管からの地震荷重が下部ヘッダノズルに加わるとした。
- 2.3 各部の応力の算出及び評価に関しては告示第501号による。なお，耐震設計は，本発電所の既設構造物の設計に用いた手法のものと同様な手法で行う。

3. 計算モデル及び仕様

3.1 計算モデル

下部ヘッド胴については入口管ノズル取付部近傍が応力的に最も厳しいことから、入口管ノズルを含めて計算を行った。下部ヘッド胴及び入口管ノズルの形状は図4-(1)-2(1)に示すとおりである。これを二次元軸対称にモデル化し、図4-(1)-2(2)に示すとおりメッシュに分割して、有限要素法を用いて応力分布をもとめ、図4-(1)-2(1)に示す応力評価位置において周方向90度毎に応力評価点を設け応力評価を行った。

下部ヘッドのようにノズル付き円筒の解析を行う場合、円筒部を球形にモデル化し、二次元軸対象体として取り扱う方法は、従来から一般的に採用されている手法であり、モデル化に際しては、次の点に考慮している。

- (1) 考慮すべき荷重である内圧に対して妥当な評価ができるよう、一般胴部に生ずる応力（軸方向応力：周方向応力=1：2）のうち、大きい方の周方向応力と一般球殻部に生ずる応力が等しくなるように球の半径を $2R$ としている。

また、他に考慮すべき荷重である外力（配管反力）及び熱については、

- (1) 外力（配管反力）に対しては、ノズル側（ $t = 7.2 \text{ mm}$ ）に比べ、容器側（ $t = 37.3 \text{ mm}$ ）は十分厚肉で剛性があるため、容器を二次元にモデル化した影響は小さく、また、実際に容器に発生する応力も十分小さい。
- (2) 熱に対しては、肉厚方向温度差による応力が主であり、容器側を二次元にモデル化した影響は十分小さい。

ことから、本モデルで妥当な評価が行える。

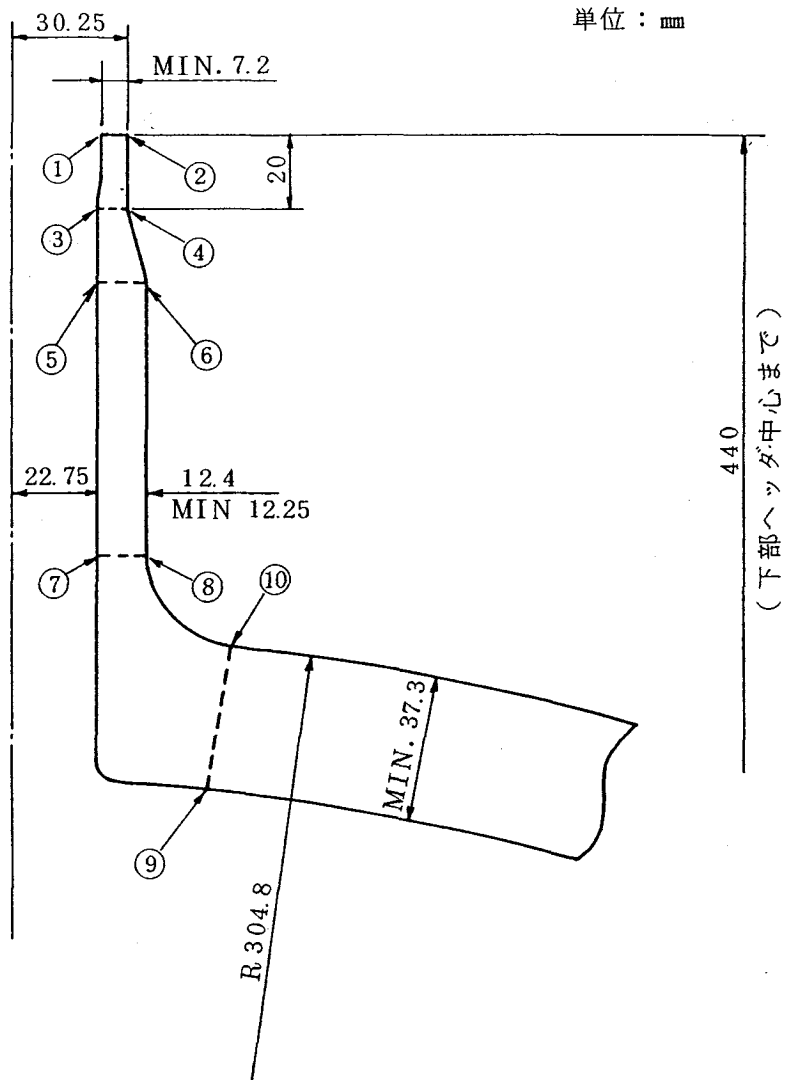
なお、入口管からの荷重による応力は梁理論により求めた。

3.2 下部ヘッド胴及び入口管ノズルの仕様は表4-(1)-1に示すとおりである。

表4-(1)-1 下部ヘッド胴及び入口管ノズル仕様

名 称	耐 震 クラス	最高使用 圧 力 (kg/cm ²)	最高使用 温 度 (°C)	外 径 (mm)	厚 さ (mm)	材 料
下部ヘッド胴	A	82	296	609.6	38.9	SUS F 316L
入口管ノズル		(74.2)	(279)	60.5 / 70.0	7.2 / 12.4	

() 内は通常運転時の値



①～⑩：応力評価位置

図4-(1)-2(1) 下部ヘッド胴及び入口管ノズルの形状、寸法及び
応力評価位置

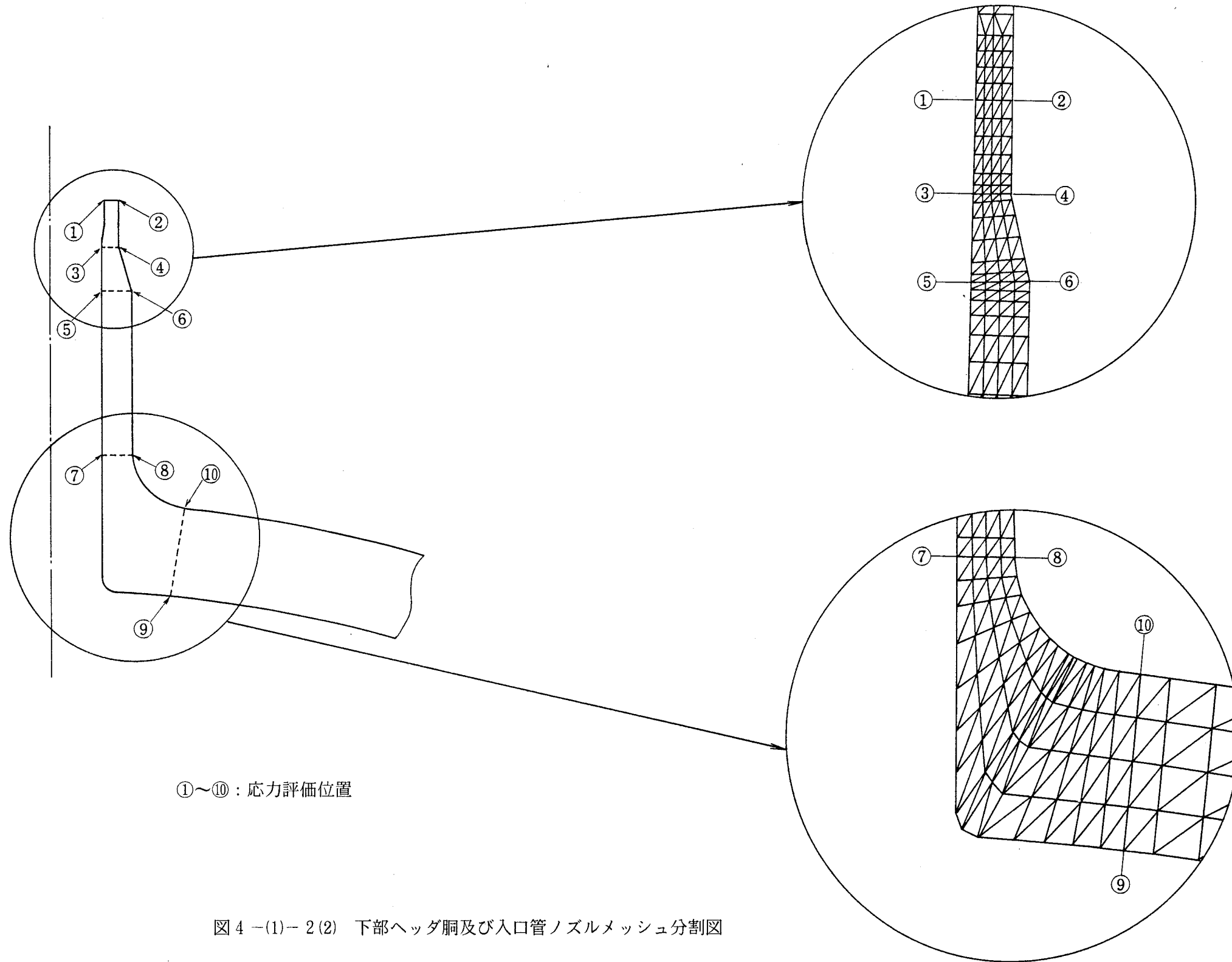


図4-(1)-2(2) 下部ヘッド胴及び入口管ノズルメッシュ分割図

4. 計算方法の概要

告示第501号第1種容器の規定により応力の算出及び評価を行う。

応力の算出は、1次応力及び1次+2次応力を内圧、自重、熱膨張等の荷重条件を考慮し、地震時も含めて計算する。(表4-(1)-4参照)

4.1.1 応力算出

(1) 1次応力

地震時も含め、設計状態の一次一般膜応力は告示第501号第13条第1項により応力を算出する。

設計状態において考慮する荷重は内圧(最高使用圧力)並びに入口管の自重及び地震慣性力による外力である。

なお、運転状態Ⅲ、Ⅳ(破断事故)は設計状態の条件以下であり、評価不要である。

(2) 1次+2次応力

地震時も含め運転状態Ⅰ、Ⅱ、Ⅲの1次+2次応力の最大値と最小値の差は、告示第501号第13条第1項により算出する。

考慮する荷重は内圧、熱衝撃及び入口管からの外力である。

(3) ピーク応力及び疲労評価

地震時も含め運転状態Ⅰ、Ⅱ、Ⅲにおける繰返しピーク応力強さは、告示第501号第13条第1項により算出する。

考慮する荷重は内圧、熱衝撃及び入口管からの外力である。

(4) 熱応力変動値

運転状態Ⅰ、Ⅱにおける熱応力変動値は、告示第501号第13条第1項により算出する。

考慮する荷重は内圧、熱衝撃である。

4.2 荷重条件

表 4-(1)-2 及び図 4-(1)-3, 図 4-(1)-4 に示す過渡条件と以下の荷重条件を考慮して計算を行った。

- (1) 内 圧 ……… 最高使用圧力, 運転圧力。
- (2) 熱衝撃 ……… 各運転状態において温度によって発生する応力を考慮した。

なお, 各運転状態における流体の圧力及び温度は図 4-(1)-3 及び図 4-(1)-4 に示す値を用いた。

- (3) 入口管からの外力

入口管からの外力として, 自重による外力, 地震慣性力による外力, 地震相対変位による外力及び熱膨張による外力を考慮した。(表 4-(1)-3 参照)

表4-(1)-2 下部ヘッド胴及び入口管ノズルの過渡条件

番号	運転状態	過渡条件	過渡条件の説明	発生回数	備考
1	I	起 動 (I)	冷温停止から高温停止までの原子炉温度上昇	3 6 0	
2	I	高 温 停 止	高温停止	—	(注1)
3	I	燃 料 交 換	燃料交換	—	(注1)
4	I	起 動 (II)	高温停止から出力運転まで	1 5 8 0	
5	I	出 力 運 転	出力運転	—	(注1)
6	I	出 力 変 化	発電出力変化	1 3 6 4 0	
7	I	停 止 (I)	出力運転から高温停止まで	9 3 0	
8	II	所内電源喪失	出力運転中の所内電源喪失	1 0	(注2)
9	III	スクラム (I)	タービントリップ	2 0	最高使用圧力×1.1になる場合
10	III	スクラム (II)	タービントリップ	2 6 0	
11	II	スクラム (III)	手動その他	3 6 0	
12	I	停 止 (II)	給水により水位を保ちながら原子炉圧力低下	3 6 0	高温停止から余熱除去系作動領域まで
13	I	停 止 (III)	原子炉温度低下	3 6 0	余熱除去系による原子炉温度の低下
14	II	漏 洩 試 験		5 0	

(注1) 圧力、温度とも変化しないので、考慮しない。

(注2) 地震の組み合わせられる過渡条件であるので、疲れ解析では地震の回数(50回)に合わせた。

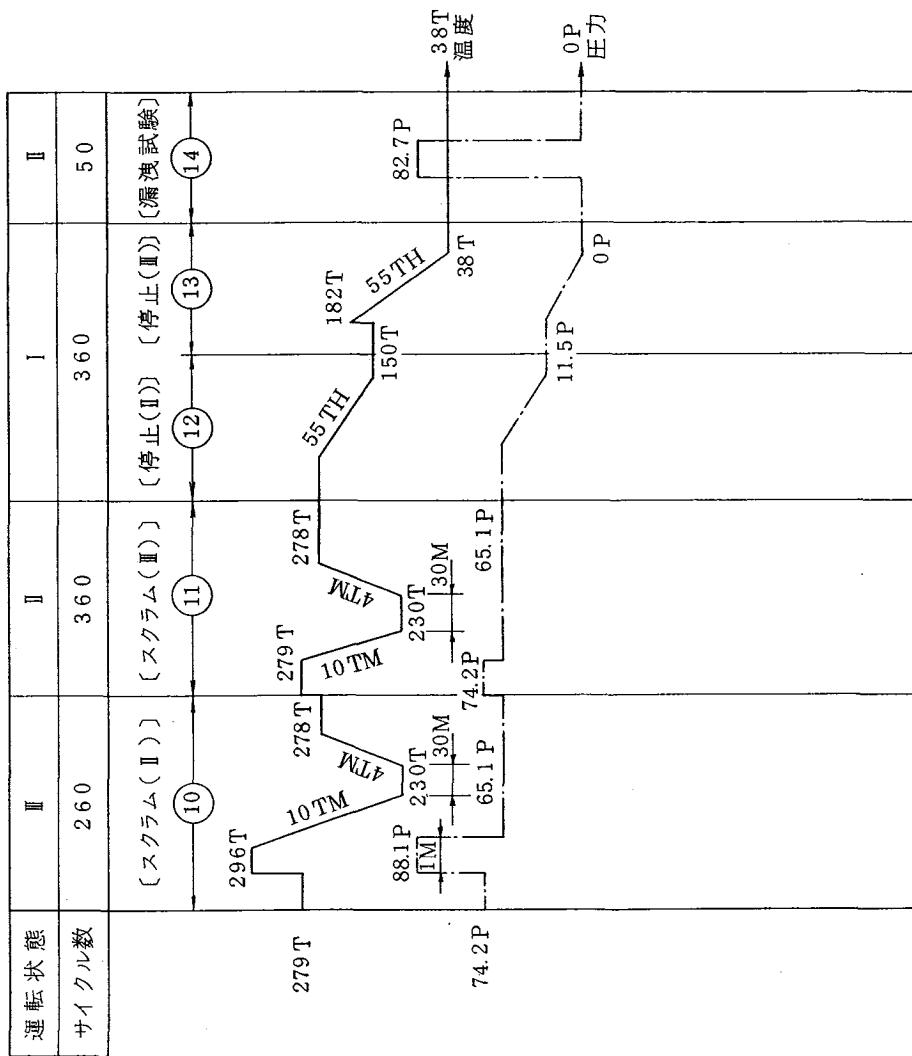


図4-(1)-4 過渡条件

表 4-(1)-3 下部ヘッド胴及び入口管ノズル外荷重条件

荷重条件			反力 (kg)			モーメント (kg-m)		
			F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z
自重			-0.2	8.9	1.7	-3.4	-1.4	10.1
熱膨張			-4.0	11.2	0.4	0.3	0.1	2.8
地震	振動	X+Y方向	29.6	49.4	14.9	1.6	13.2	36.8
	振動	Z+Y方向	13.2	24.3	25.6	2.5	22.8	18.6
相対	相対	X+Y方向	1.9	3.3	0.2	0.1	0.3	6.0
	相対	Z+Y方向	1.5	1.0	1.6	2.1	4.2	0.7

注 1. 地震による反力は絶対値を記載した。

注 2. 座標系は下図による。

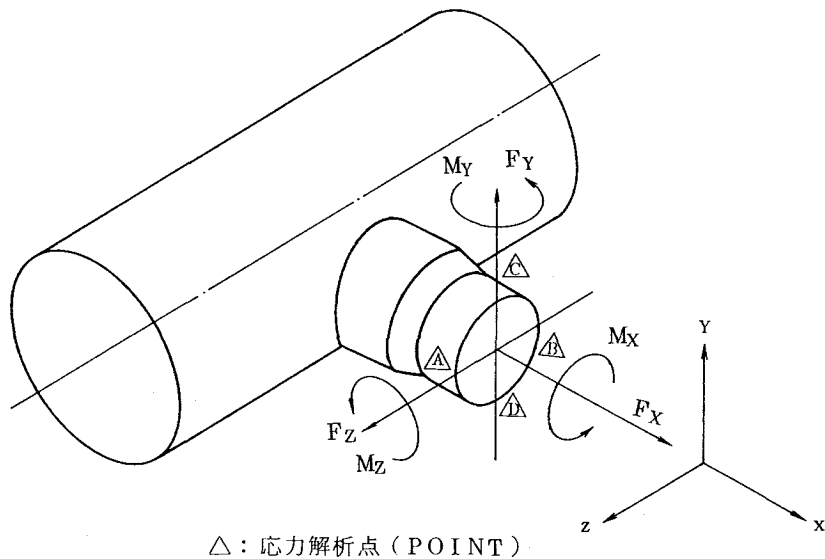


図 4-(1)-5

5. 許容応力

告示第501号第1種容器の規定により応力の算出及び評価を行う。なお、地震時の応力評価は従来どおりである。(表4-(1)-4参照)

5.1 1次応力

告示第501号第13条第1項により、地震時も含め設計状態の一次一般膜応力は S_m 以下、一次局部膜応力または一次膜応力と一次曲げ応力の和は $1.5 S_m$ 以下とする。

5.2 1次+2次応力

地震時も含め運転状態Ⅰ，Ⅱ，Ⅲの1次+2次応力の最大値と最小値の差は、告示第501号第13条第1項により $3 S_m$ 以下であることを確認する。

5.3 ピーク応力及び疲労評価

地震時も含め運転状態Ⅰ，Ⅱ，Ⅲにおける繰返しピーク応力強さは、告示第501号第13条第1項により疲れ累積係数が1以下であることを確認する。

5.4 熱応力変動値

運転状態Ⅰ，Ⅱにおける熱応力変動値は、告示第501号第13条第1項により許容値内にあることを確認する。

5.5 使用材料の許容応力値は表4-(1)-5のとおりである。

表 4 - (1) - 4 荷重の組み合わせと許容応力

許容 応力		応力の種類	一次 一 般	一次局部膜応力 + 一次曲げ応力 強	一 次 応 力 + 二次応力強さ	一 次 応 力 + 二 次 応 力 + ピーク応力強さ
		膜 応 力 強 さ	P m	PL+Pb	PL+Pb+Q	PL+Pb+Q+F
状態の分類			S m	1.5 S m	3 S m	$\Sigma U_i \leq 1$
最高使用圧力		○	○	—	—	
運転状態 (I, II)		—	—	○	○	
運転状態 (III, IV)		—(注3)	—(注3)	—	—	
配管外力	自 重	○	○	○	○	
	熱 膨 張	—	—	○	○	
	地 震	○	○	○ (注1)	○ (注2)	

(注 1) 運転状態の各過渡のうち、地震を除く一次+二次応力が最大となる過渡に地震（慣性力+相対変位）を組み合わせ、応力評価を行う。

(注 2) 運転状態の各過渡のうち、地震を除く一次+二次+ピーク応力が最大となる過渡に地震（慣性力+相対変位）を組み合わせ、疲れ累積係数を評価する。

ただし、過渡の回数は、地震と組み合わせる過渡の回数が50回以下の場合には50とし、50回を越える場合はその過渡回数とする。

(注 3) 運転状態 III, IV（運転状態 IV の圧力は設計条件を下まわる）の評価については、運転状態 III の最高圧力（88.1 kg/cm²）と設計条件の最高使用圧力（82 kg/cm²）の比が1.07倍であり、運転状態 III における許容応力との比が1.2倍（1.2 S m / S m, 1.8 S m / 1.5 S m）であるため、最高使用圧力での評価で満足する。

表 4 - (1) - 5 材料の許容応力

材 質	S _m (kg/mm ²) (296℃)	使 用 箇 所
S U S F 3 1 6 L	9.74	下部ヘッド胴 (図 3 - 1 ① ~ ⑩)

6. 計算結果と応力評価

6.1 応力評価の概要

6.1.1 下部ヘッド胴基本強度計算

下部ヘッド胴については，通商産業省告示第501号第13条に基づいて一次一般膜応力強さを計算した。

その結果のうち，最も応力の高いものを表4-(1)-6に示す。

表4-(1)-6 基本強度計算

計算箇所 記号及び算式		下部ヘッド本体(中央部)
最高使用圧力 P kg/mm ²		0.82
内半径 R mm		267.5
材 料		SUSF316L
設計応力強さ S _m kg/mm ²		9.74
計 算 式		円筒 $S = \sigma_{\theta} - \sigma_r = \frac{PR}{t} + \frac{P}{2}$
①	PR	$0.82 \times 267.5 = 219.35$
②	t	37.3
③	①/②	5.88
④	P/2	0.41
⑤	最大応力強さ S kg/mm ²	$6.29 < S_m$
参 考 図		<p>The diagram shows a cross-section of a cylindrical head. A horizontal line represents the thickness of the cylinder, with a vertical arrow pointing to it labeled 't = 37.3'. Below this line, a vertical arrow points from a horizontal dashed line (representing the centerline) to the bottom edge of the cylinder, labeled 'R = 267.5'.</p>

6.1.2 下部ヘッダ入口管ノズル基本強度計算

下部ヘッダ入口管ノズルについては、通商産業省告示第501号第13条に基づいて一次一般膜応力強さを計算した。

その結果のうち、最も応力の高いものを表4-(1)-7に示す。

表4-(1)-7 基本強度計算

計算箇所 記号及び算式		下部ヘッダ入口管ノズル
最高使用圧力 P kg/mm ²		0.82
内半径 R mm		23.05
材 料		SUSF316L
設計応力強さ S _m kg/mm ²		9.74
計 算 式		円筒 $S = \sigma_{\theta} - \sigma_r = \frac{PR}{t} + \frac{P}{2}$
①	PR	0.82 × 23.05 = 18.901
②	t	7.2
③	①/②	2.625
④	P/2	0.41
⑤	最大応力強さ S kg/mm ²	3.04 < S _m
参 考 図		<p>The diagram shows a horizontal nozzle with a wider main body and a narrower neck. The main body has an inner radius R=22.75 mm and a wall thickness t=12.25 mm. The neck has an inner radius R=23.05 mm and a wall thickness t=7.2 mm.</p>

6.2 応力解析結果

図4-(1)-2に示す応力評価位置における周方向90度毎に設けた応力評価点の応力強さの最大値を表4-(1)-8に示す。表に示すとおり各応力はそれぞれの許容値以下である。

表4-(1)-8 計算結果

位置	一次一般膜応力		一次局部膜応力 +一次曲げ応力		二次応力		ピーク応力	
	Pm (kg/mm ²)	許容値 (Sm) (kg/mm ²)	PL or PL+Pb (kg/mm ²)	許容値 (1.5 Sm) (kg/mm ²)	二次応力強 さの変動幅 の最大値 (S. I) (kg/mm ²)	許容値 (3Sm) (kg/mm ²)	累積損傷 係 数 (ΣUi)	許容値
1	4.06	9.74	3.89	14.61	9.93	29.22	0.0	1.0
2	4.83		4.66		9.69		0.0	
3	3.91		3.76		12.67		0.0	
4	4.72		4.57		12.05		0.0	
5	2.17		2.07		10.53		0.0	
6	2.79		2.69		10.32		0.0	
7	2.27		2.78		14.36		0.0	
8	2.95		3.46		14.73		0.0	
9	6.29		6.67		19.10		0.0	
10	6.29		6.67		18.57		0.0	
応力 評価	Pm(MAX) =6.29Kg/mm ² (位置9, 10) < Sm=9.74Kg/mm ² (位置1~10)		PL or PL+Pb(MAX) =6.67Kg/mm ² (位置9, 10) < 1.5Sm =14.61Kg/mm ² (位置1~10)		SI(MAX)=19.10Kg/mm ² (位置9) < 3 Sm=29.22Kg/mm ² (位置1~10)		ΣUi=0.0<1.0 (位置1~10)	

計算結果に示すとおり、各応力はそれぞれの許容値よりも小さいため安全である。

6.3 熱応力変動値

熱応力変動値の評価結果を表4-(1)-9に示す。表に示すとおり、熱応力変動値は許容値以下である。

表4-(1)-9 熱応力変動値の評価結果

解析箇所	最大一次一般 膜応力 σ_P (kg/mm ²)	熱応力変動値 σ_s (kg/mm ²)	許容値 σ (kg/mm ²)	備 考
胴	6.32	18.97	33.77	許容値 $(1.5 S m)^2$
管 台	2.68	10.82	79.64	σ_P $\sigma_P \leq 0.75 S m$

IV - 4 - (2) 下部ヘッダ振れ止め金物の強度計算書

目 次

1. 概 要	IV-4-(2)-1
1.1 適用基準	IV-4-(2)-1
2. 胴部の強度計算	IV-4-(2)-2
2.1 記号の説明	IV-4-(2)-2
2.2 設計条件	IV-4-(2)-3
2.3 胴部の強度計算	IV-4-(2)-7
2.4 応力評価	IV-4-(2)-11
3. 溶接部の強度計算	IV-4-(2)-14
3.1 応力計算式	IV-4-(2)-14
3.2 応力計算結果	IV-4-(2)-14
3.3 応力評価	IV-4-(2)-16

1. 概 要

1.1 適用基準

適用基準は「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」（通商産業省告示第501号）（以下「告示第501号」という。）に適合することを確認する。

応力計算は、胴部の応力計算と、胴と振れ止め金物の溶接部の応力計算に分けて行う。

2. 胴部の強度計算

2.1 記号の説明

本計算書で使用する記号は次のとおりである。

P : 圧力 (kg/cm^2)

F_x : 軸方向の地震外力 (kg)

M_L : 軸方向の曲げモーメント ($\text{kg}-\text{cm}$)

I : 断面二次モーメント (cm^4)

Z : 断面係数 (cm^3)

a : 下部ヘッド胴内面半径 (cm)

R_m : 下部ヘッド胴平均半径 (cm)

T : 下部ヘッド胴最小厚さ (cm)

$2C_1$: }
 $2C_2$: } 長方形ラグのそれぞれの辺の長さ (cm)

位置 A : }
B : } ラグと殻の接点
C : }
D : }

σ_x : 軸方向の応力 (kg/mm^2)

σ_θ : 円周方向の応力 (kg/mm^2)

σ_r : 半径方向の応力 (kg/mm^2)

N : 膜応力の力 (N_x, N_θ)

P_L : 一次局部膜応力 (kg/mm^2)

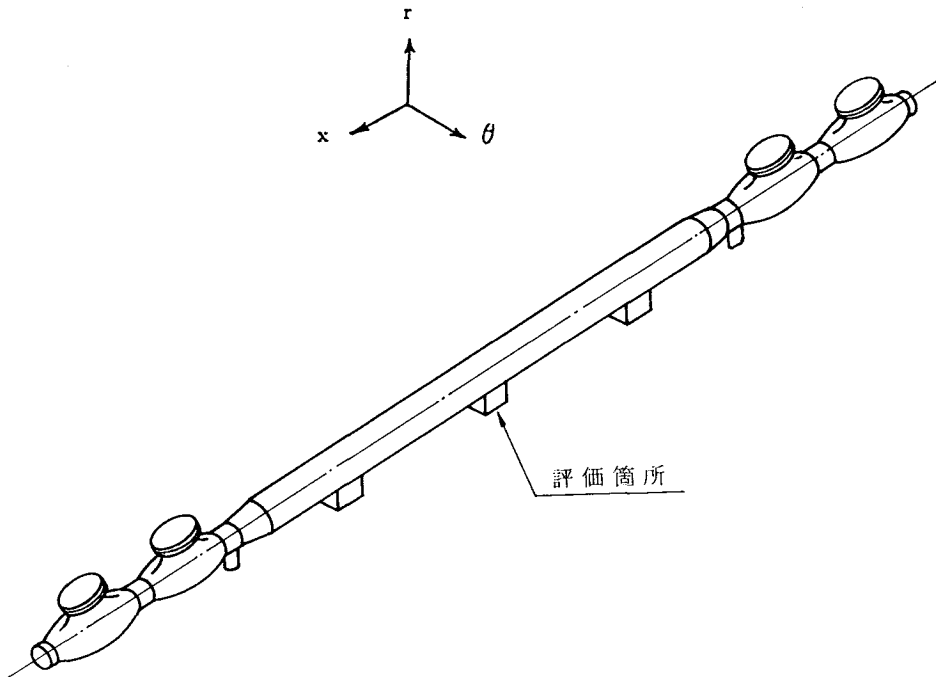
P_b : 一次曲げ応力 (kg/mm^2)

S_m : 設計応力強さ (kg/mm^2)

2.2 設計条件

2.2.1 下部ヘッド振れ止め金物の評価位置

下部ヘッド振れ止め金物の評価位置を図4-(2)-1に示す。



注) 座標は局所座標である。

図4-(2)-1 下部ヘッド振れ止め金物の評価位置

2.2.2 下部ヘッダ振れ止め金物の形状及び寸法

下部ヘッダ振れ止め金物の形状及び寸法を図4-(2)-2に示す。

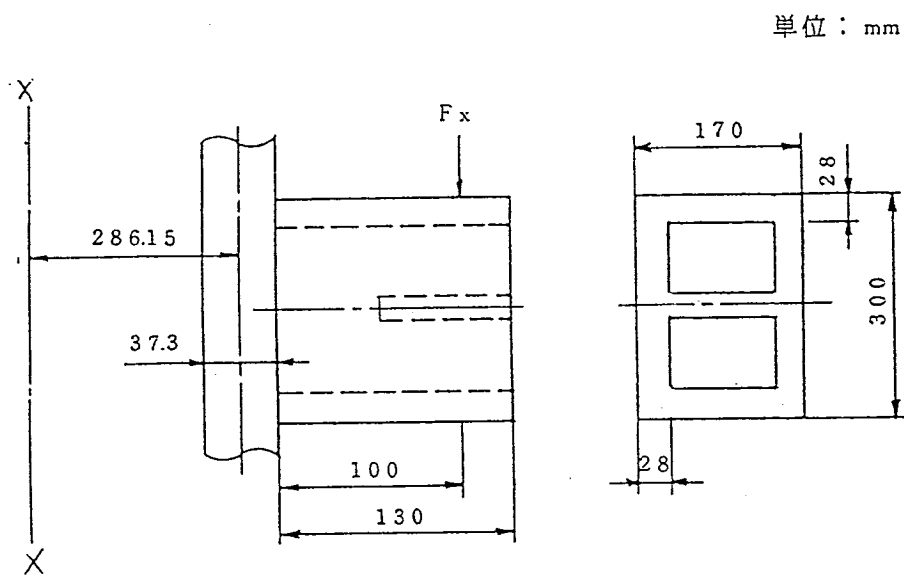


図4-(2)-2 下部ヘッダ振れ止め金物の形状及び寸法

2.2.3 設計条件

- (1) 最高使用圧力 8.2 kg/cm²
- (2) 最高使用温度 296 °C
- (3) 地震外力

下部ヘッド振れ止め金物に作用する地震時反力を表4-(2)-1に示す。

表4-(2)-1

		応 力 (T o n)		
		χ 軸方向	θ 軸方向	r 軸方向
地震外力	+側	+ 23.2	0.0	0.0
	-側	- 23.2	0.0	0.0

(地震外力は、既認可第12回工事計画認可申請書の「Ⅲ 添付書類」の「Ⅲ-1 耐震性についての計算書」に記載の値を用いた。)

2.2.4 材料の許容応力

使用する材料の許容応力強さは告示第501号による。

表4-(2)-2

材 質	S _m (kg/mm ²) (296 °C)
SUS F 316L	9.74

2.2.5 バイラード理論による解析モデル

バイラード理論による解析モデルを図4-(2)-3に示す。

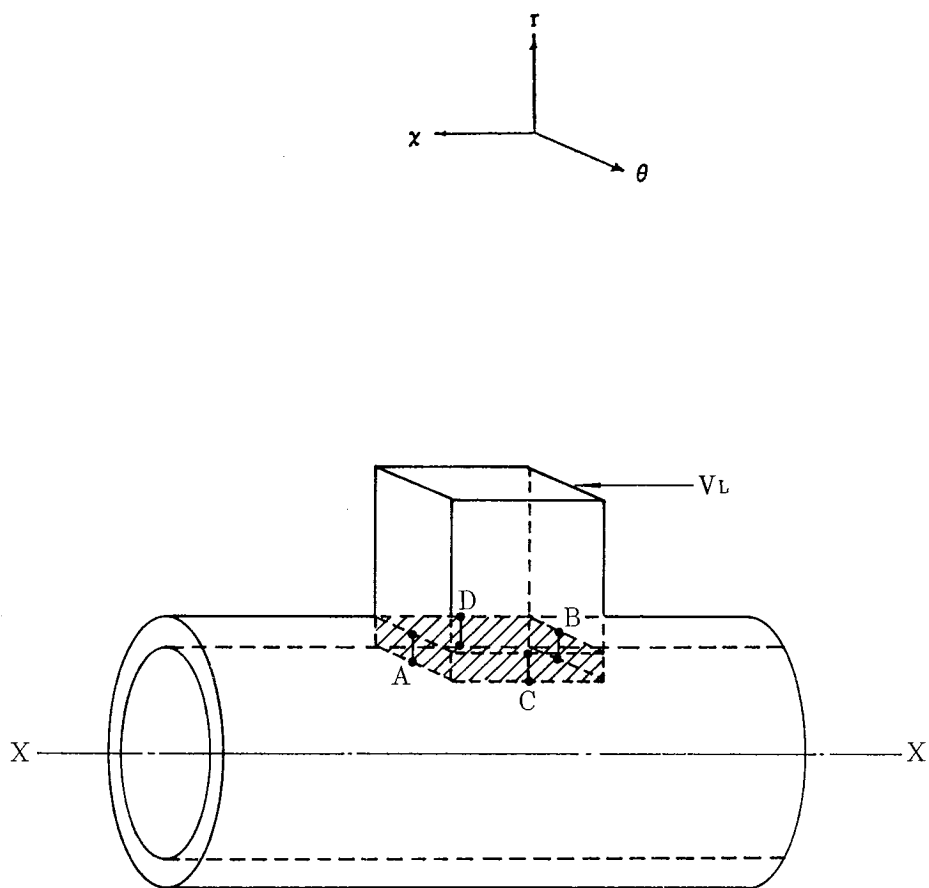


図4-(2)-3 バイラード理論による解析モデル

2.3 胴部の強度計算

2.3.1 応力計算式

(1) 内圧による応力

$$\sigma_x = \frac{a^2 \cdot P}{2 R m \cdot T} = 2.75 \text{ (kg/mm}^2\text{)}$$

$$\sigma_\theta = \frac{a \cdot P}{T} = 5.88 \text{ (kg/mm}^2\text{)}$$

$$\sigma_r = \frac{P}{2} = 0.41 \text{ (kg/mm}^2\text{)}$$

(2) 外力による応力

外力によりラグ根元に生じる応力は、下記文献によるバイラードの手法及び支持梁の理論により計算する。

文 献

K. R. Wichman And others,
"Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to
External Loadings."
Welding Research Council, Bulletin, Aug. 1965

応力計算

$$R m = 28.615 \text{ (cm)}$$

$$T = 3.73 \text{ (cm)}$$

$$2 C_1 = 17.0 \text{ (cm)}$$

$$2 C_2 = 30.0 \text{ (cm)}$$

$$Z = 1630 \text{ (cm}^3\text{)}$$

$$\beta_1 = \frac{C_1}{R m} = 0.297$$

$$\beta_2 = \frac{C_2}{Rm} = 0.524$$

$$\gamma = \frac{Rm}{T} = 7.672$$

Nx $N\theta$ に対し

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} = 0.434$$

文献 Table-8 により

$$Cx = 1.25$$

$$C\theta = 0.88$$

同様に文献グラフ Fig. 3, Fig. 4 により

$$\frac{Nx}{M_L / Rm^2 \cdot \beta} = 0.344$$

$$\frac{N\theta}{M_L / Rm^2 \cdot \beta} = 0.901$$

M_L による力

(地震荷重の+側)

$$\begin{aligned} M_L &= \ell \times Fx = 10.0 \times 23200.0 \\ &= 232000.0 \text{ kg} \cdot \text{cm} \end{aligned}$$

(地震荷重の-側)

$$\begin{aligned} M_L &= \ell \times Fx = 10.0 \times (-23200.0) \\ &= -232000.0 \text{ kg} \cdot \text{cm} \end{aligned}$$

故に、外力による応力は

(地震荷重の+側)

$$\sigma_{x_{A,B}} = \mp \frac{C_x \cdot N_x}{T} = \mp 0.75 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_{\theta A, B} = \mp \frac{C \theta \cdot N \theta}{T} = \mp 1.39 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_{r A, B} = \mp \frac{M_L}{Z} = \mp 1.42 \text{ kg/mm}^2$$

剪断応力 (τ)

$$\tau_{C, D} = \frac{F x}{4 C_2 \cdot T} = 1.04 \text{ kg/mm}^2$$

(地震荷重一側)

$$\sigma_{x A, B} = \pm \frac{C_x \cdot N x}{T} = \pm 0.75 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_{\theta A, B} = \pm \frac{C \theta \cdot N \theta}{T} = \pm 1.39 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_{r A, B} = \pm \frac{M_L}{Z} = \pm 1.42 \text{ kg/mm}^2$$

剪断応力

$$\tau_{C, D} = - \frac{F x}{4 C_2 \cdot T} = -1.04 \text{ kg/mm}^2$$

2.3.2 応力計算結果

表 4-(2)-3 地震荷重+側

(単位 ; kg/mm²)

位置 \ 応力		σ_x	σ_θ	σ_r	τ
A	内側	-0.75	-1.39	0.0	0.0
	外側	-0.75	-1.39	-1.42	0.0
B	内側	0.75	1.39	0.0	0.0
	外側	0.75	1.39	1.42	0.0
C	内側	0.0	0.0	0.0	1.04
	外側	0.0	0.0	0.0	1.04
D	内側	0.0	0.0	0.0	1.04
	外側	0.0	0.0	0.0	1.04

表 4-(2)-4 地震荷重-側

(単位 ; kg/mm²)

位置 \ 応力		σ_x	σ_θ	σ_r	τ
A	内側	0.75	1.39	0.0	0.0
	外側	0.75	1.39	1.42	0.0
B	内側	-0.75	-1.39	0.0	0.0
	外側	-0.75	-1.39	-1.42	0.0
C	内側	0.0	0.0	0.0	-1.04
	外側	0.0	0.0	0.0	-1.04
D	内側	0.0	0.0	0.0	-1.04
	外側	0.0	0.0	0.0	-1.04

2.3.3 応力計算のまとめ

応力計算結果の一覧表を表4-(2)-5及び表4-(2)-6に示す。

2.4 応力評価

表4-(2)-7 応力評価結果 (単位; kg/mm²)

地震の 方向	位置	一次局部膜応力 または 一次局部膜応力+ 一次曲げ応力	許容値 (1.5 S _m)
		P _L または P _L +P _b	
+側	B (内側)	7.68	14.61
-側	A (内側)		

上記のとおり応力は、許容値よりも小さいため安全である。

表 4 - (2) - 5 応力計算結果のまとめ (地震荷重 + 側)

(単位 : kg/mm²)

位置	内圧による応力			外力による応力				(内圧+外力)による応力				主応力			応力強さ		
	σ_x	σ_θ	σ_r	σ_x	σ_θ	σ_r	τ	σ_x	σ_θ	σ_r	τ_x	σ_1	σ_2	σ_3	$\sigma_1 - \sigma_2$	$\sigma_2 - \sigma_3$	$\sigma_3 - \sigma_1$
A	内側	2.75	5.88	-0.41	-0.75	-1.39	0.0	0.0	2.0	4.49	0.0	2.00	4.49	-0.41	-2.49	4.90	-2.41
	外側	2.75	5.88	-0.41	-0.75	-1.39	0.0	0.0	2.0	4.49	0.0	2.00	4.49	-1.83	-2.49	6.32	-3.83
B	内側	2.75	5.88	-0.41	0.75	1.39	0.0	0.0	3.50	7.27	0.0	3.50	7.27	-0.41	-3.77	7.68	-3.91
	外側	2.75	5.88	-0.41	0.75	1.39	0.0	0.0	3.50	7.27	0.0	3.50	7.27	1.01	-3.77	6.26	-2.49
C	内側	2.75	5.88	-0.41	0.0	0.0	1.04	1.04	2.75	5.88	-0.41	2.44	6.19	-0.41	-3.75	6.60	-2.85
	外側	2.75	5.88	-0.41	0.0	0.0	1.04	1.04	2.75	5.88	-0.41	2.44	6.19	-0.41	-3.75	6.60	-2.85
D	内側	2.75	5.88	-0.41	0.0	0.0	1.04	1.04	2.75	5.88	-0.41	2.44	6.19	-0.41	-3.75	6.60	-2.85
	外側	2.75	5.88	-0.41	0.0	0.0	1.04	1.04	2.75	5.88	-0.41	2.44	6.19	-0.41	-3.75	6.60	-2.85

最大応力強さ = $\sigma_2 - \sigma_3 = 7.68 \text{ kg/mm}^2$

表 4 - (2) - 6 応力計算結果のまとめ (地震荷重 - 側)

(単位: kg/mm²)

位置	内圧による応力			外力による応力				(内圧+外力) による応力				主 応 力			応 力 強 さ				
	σ_x	σ_θ	σ_r	σ_x	σ_θ	σ_r	τ	σ_x	σ_θ	σ_r	τ	σ_1	σ_2	σ_3	$\sigma_1 - \sigma_2$	$\sigma_2 - \sigma_3$	$\sigma_3 - \sigma_1$		
A	内側	2.75	5.88	-0.41	0.75	1.39	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.50	7.27	-0.41	3.50	7.27	-0.41	7.68	-3.91
	外側	2.75	5.88	-0.41	0.75	1.39	1.42	0.0	0.0	0.0	0.0	3.50	7.27	1.01	3.50	7.27	1.01	6.26	-2.49
B	内側	2.75	5.88	-0.41	-0.75	-1.39	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	4.49	-0.41	2.0	4.49	-0.41	4.90	-2.41
	外側	2.75	5.88	-0.41	-0.75	-1.39	-1.42	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	4.49	-1.83	2.0	4.49	-1.83	6.32	-3.83
C	内側	2.75	5.88	-0.41	0.0	0.0	0.0	-1.04	0.0	0.0	-1.04	2.75	5.88	-0.41	2.44	6.19	-0.41	6.60	-2.85
	外側	2.75	5.88	-0.41	0.0	0.0	0.0	-1.04	0.0	0.0	-1.04	2.75	5.88	-0.41	2.44	6.19	-0.41	6.60	-2.85
D	内側	2.75	5.88	-0.41	0.0	0.0	0.0	-1.04	0.0	0.0	-1.04	2.75	5.88	-0.41	2.44	6.19	-0.41	6.60	-2.85
	外側	2.75	5.88	-0.41	0.0	0.0	0.0	-1.04	0.0	0.0	-1.04	2.75	5.88	-0.41	2.44	6.19	-0.41	6.60	-2.85

最大応力強さ = $\sigma_2 - \sigma_3 = 7.68 \text{ kg/mm}^2$

3. 溶接部の強度計算

3.1 応力計算式

溶接箇所には、胴の歪みによる応力と剪断応力が生じる。

(1) 曲げ応力

$$\text{外力 } Fx = 23200 \text{ kg}$$

位置 A, B に生ずる応力は

$$\sigma_x = \mp 0.75 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_\theta = \mp 1.39 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_r = \mp 1.42 \text{ kg/mm}^2$$

(2) 剪断応力

溶接部断面積

$$S = 23184 \text{ cm}^2$$

$$\tau = \frac{Fx}{S} = 1.0 \text{ kg/mm}^2$$

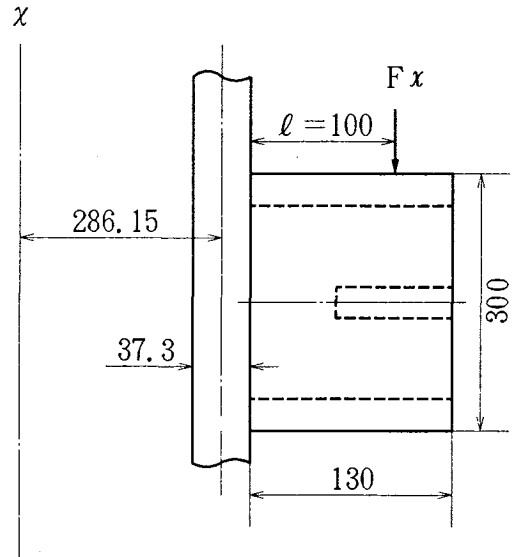


図 4-(2)-4 振れ止め金物形状図

3.2 応力計算結果

応力計算結果を表 4-(2)-8 に示す。

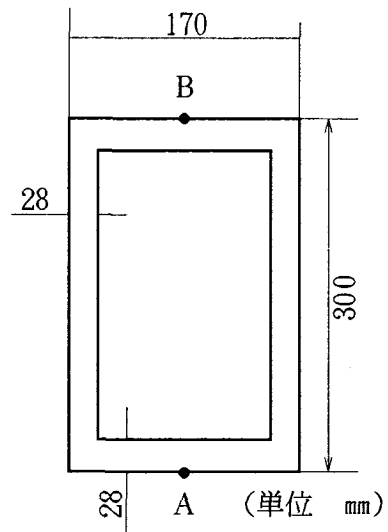


図 4-(2)-5 溶接部形状

表 4-(2)-8 応力計算結果

(単位: kg/mm²)

位置	内圧による応力			外力による応力				(内圧+外力)による応力				主応力			応力強さ		
	σ_x	σ_θ	σ_r	σ_x	σ_θ	σ_r	τ	σ_x	σ_θ	σ_r	τ	σ_1	σ_2	σ_3	$\sigma_1 - \sigma_2$	$\sigma_2 - \sigma_3$	$\sigma_3 - \sigma_1$
A	2.75	5.88	-0.41	-0.75	-1.39	-1.42	1.00	2.00	4.49	-1.83	1.00	2.25	4.49	-2.08	-2.24	6.57	-4.33
B	2.75	5.88	-0.41	0.75	1.39	1.42	1.00	3.50	7.27	1.01	1.00	3.85	7.27	0.66	-3.42	6.61	-3.19

最大応力強さ = $\sigma_2 - \sigma_3 = 6.61 \text{ kg/mm}^2$

3.3 応力評価

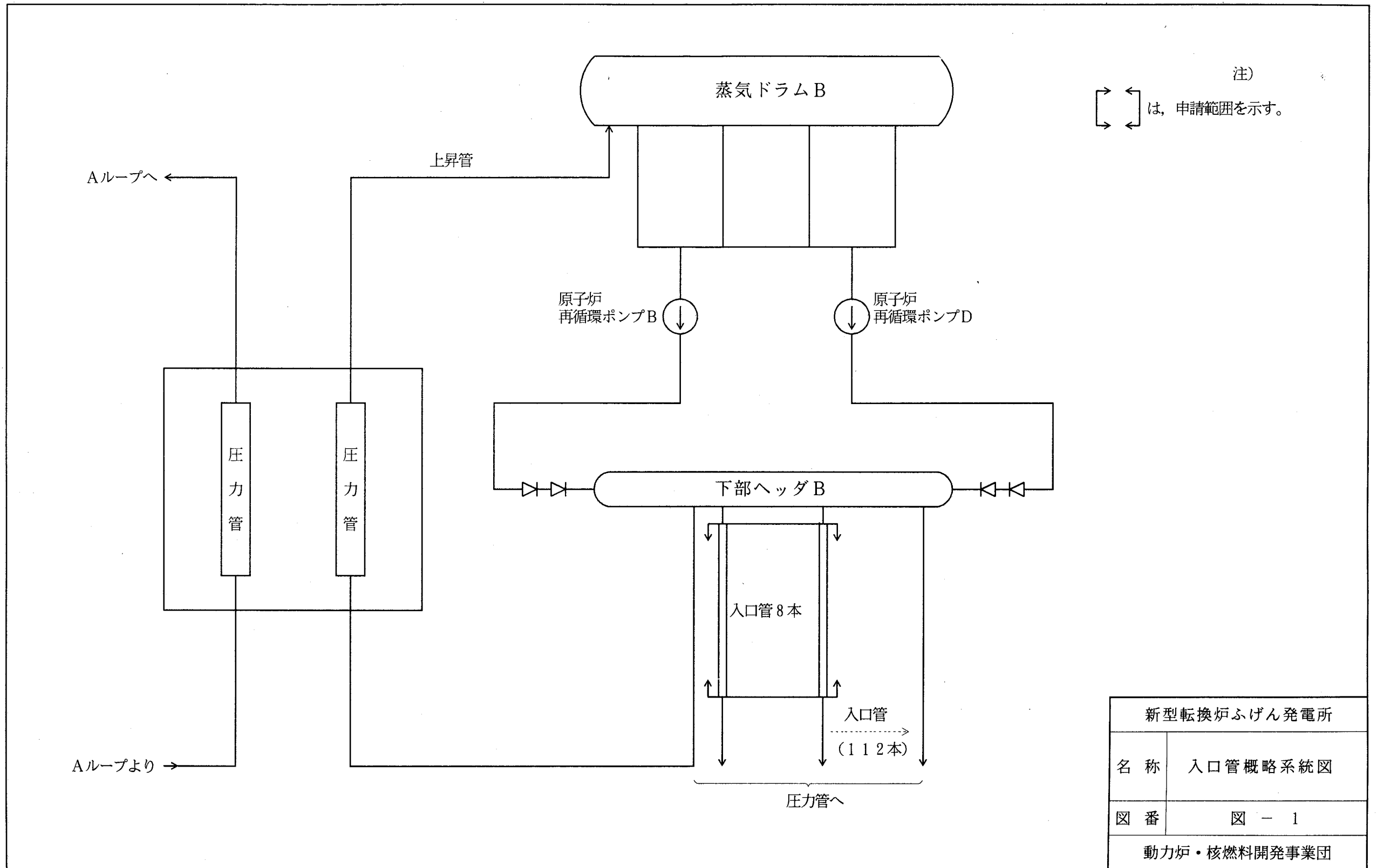
応力強さの最大値は位置 B に於て生ずる。

$$\sigma_2 - \sigma_3 = 6.61 \text{ kg/mm}^2$$

$$1.5 S m = 14.61 \text{ kg/mm}^2$$

上記のとおり応力は許容値よりも小さいため安全である。

IV - 5 添 付 図 面



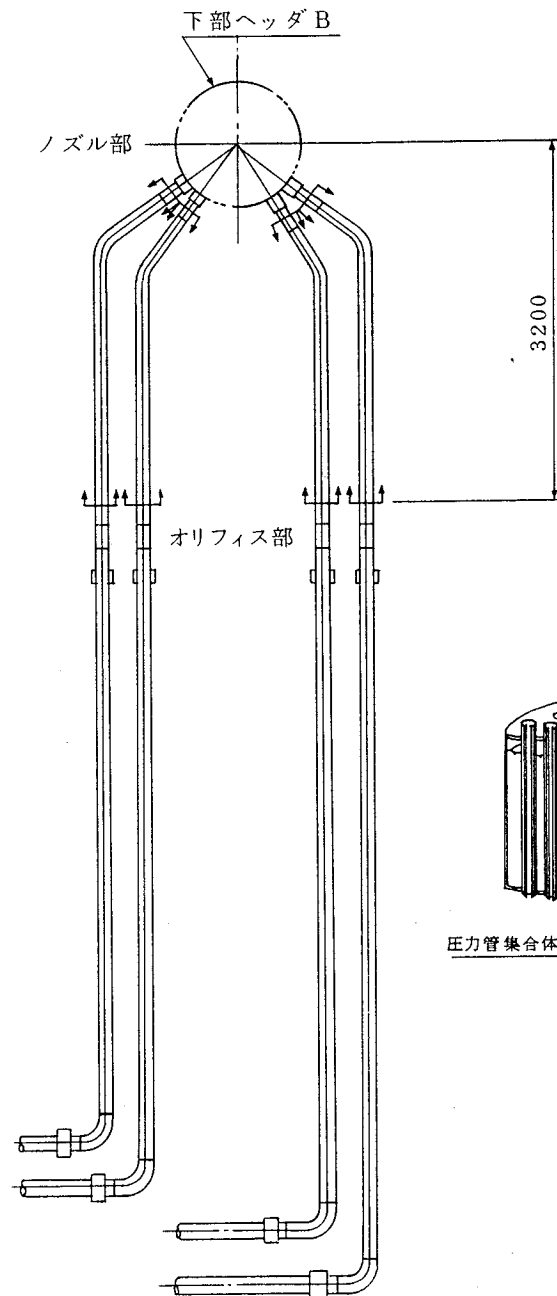
新型転換炉ふげん発電所	
名称	入口管概略系統図
図番	図 - 1
動力炉・核燃料開発事業団	

注) ノズルより第1溶接線までがスケジュール160である。それ以降は、スケジュール80である。
 今回の申請範囲については、全てスケジュール160である。

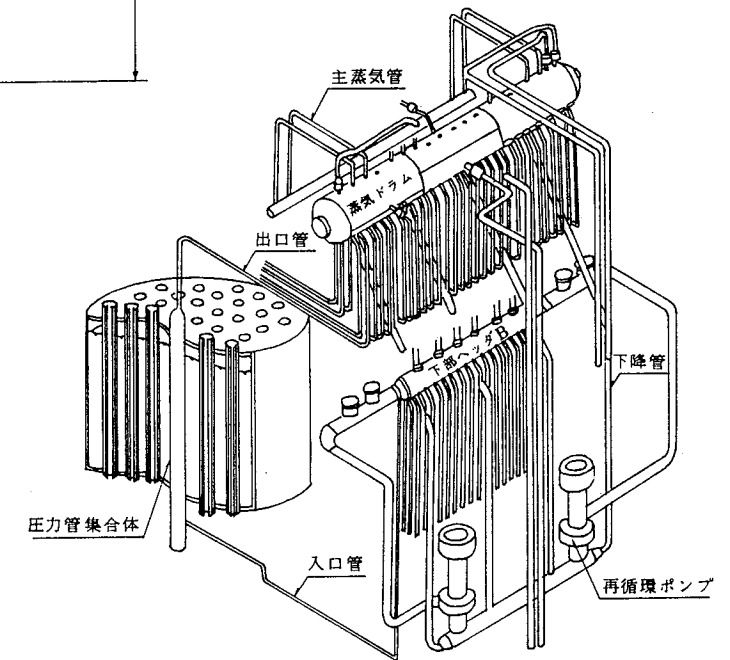
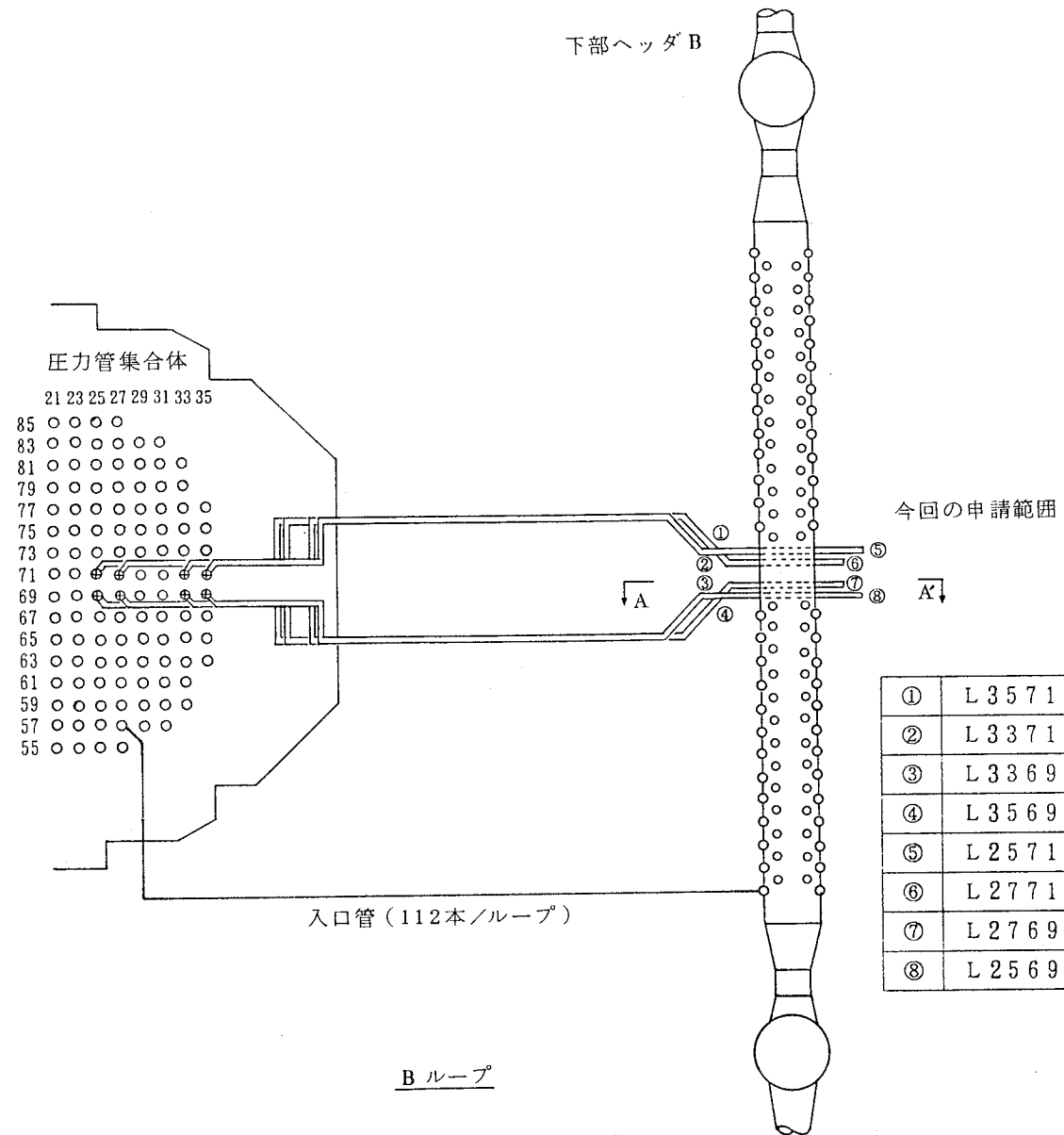
[] は、今回の申請範囲

図中の寸法は参考値である。(単位mm)

A-A' 矢視図



下部ヘッダ B

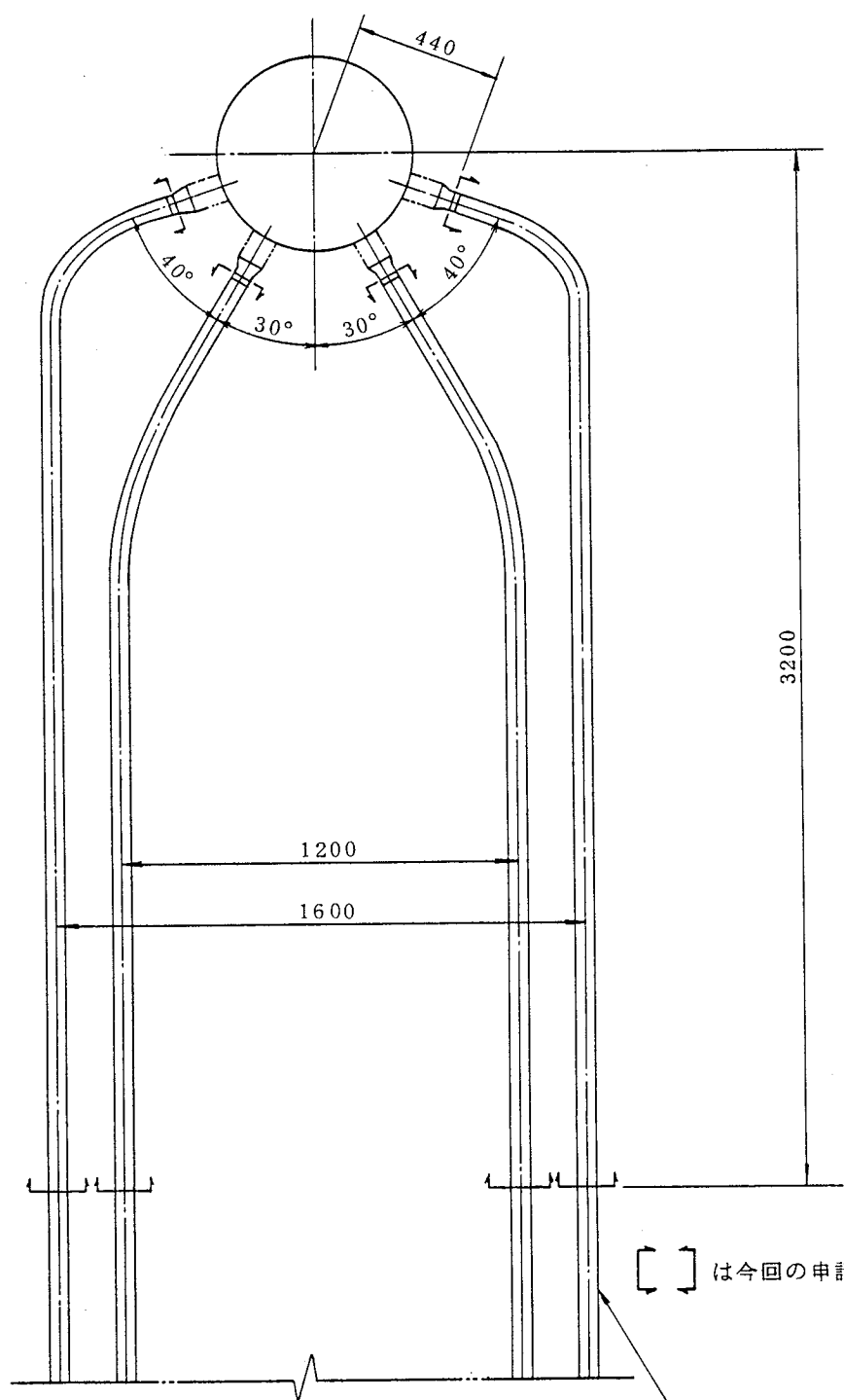


新型転換炉ふげん発電所

名称 Bループ
入口管配管図(1)

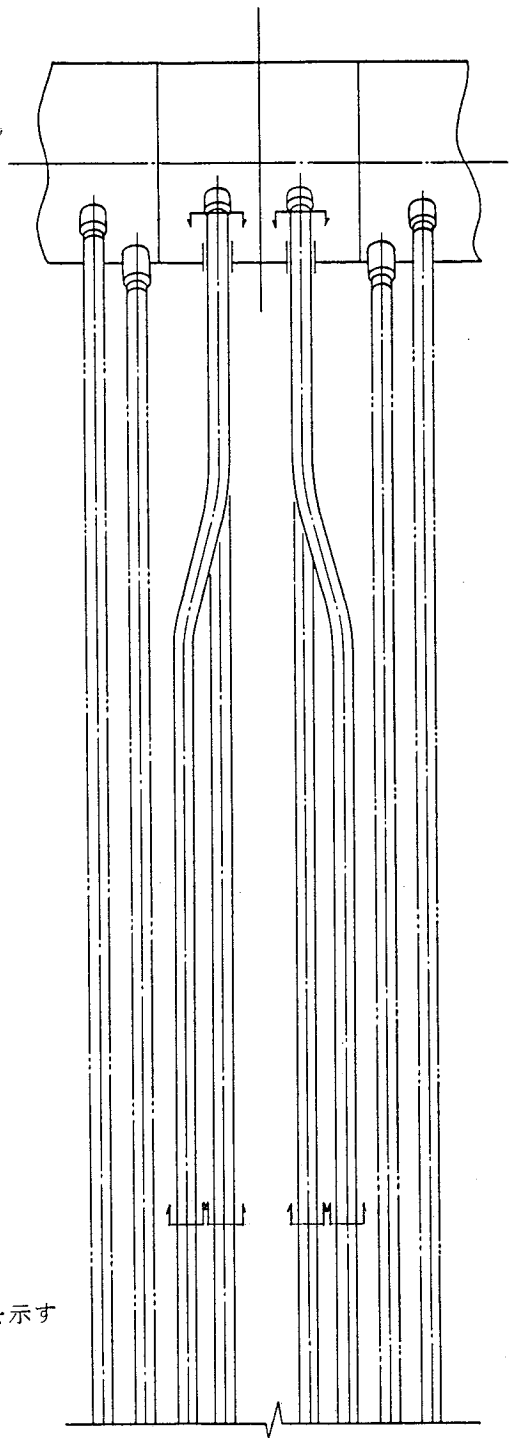
図番 図 - 2

動力炉・核燃料開発事業団

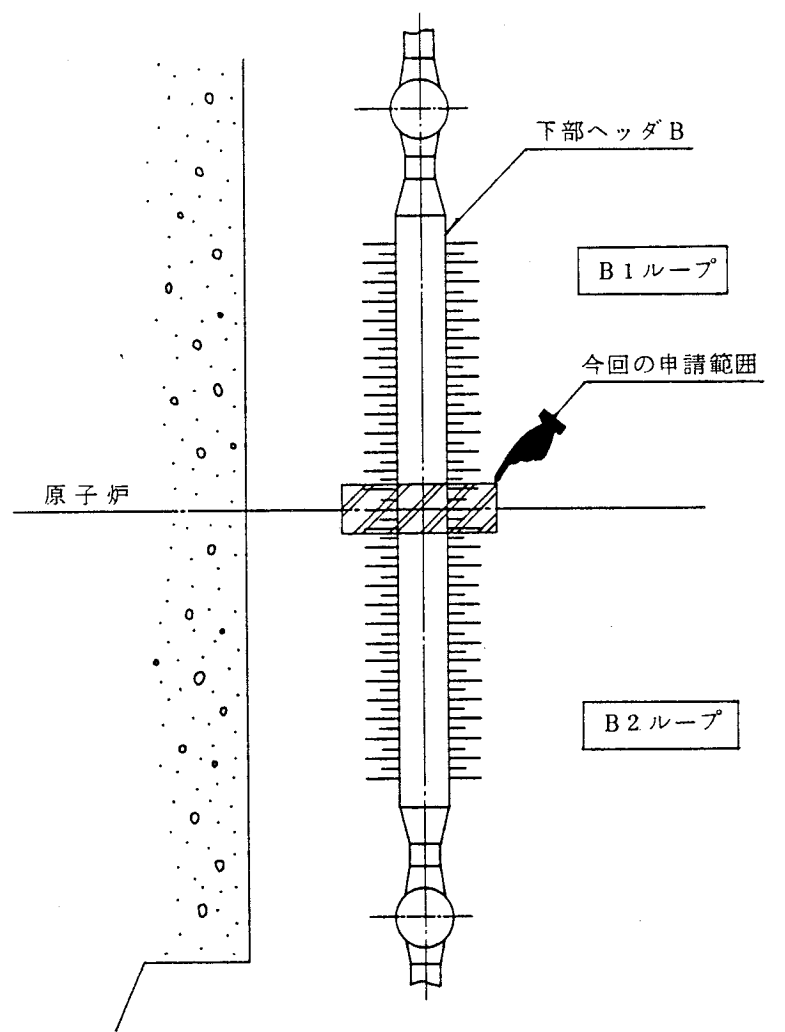


[] は今回の申請範囲を示す

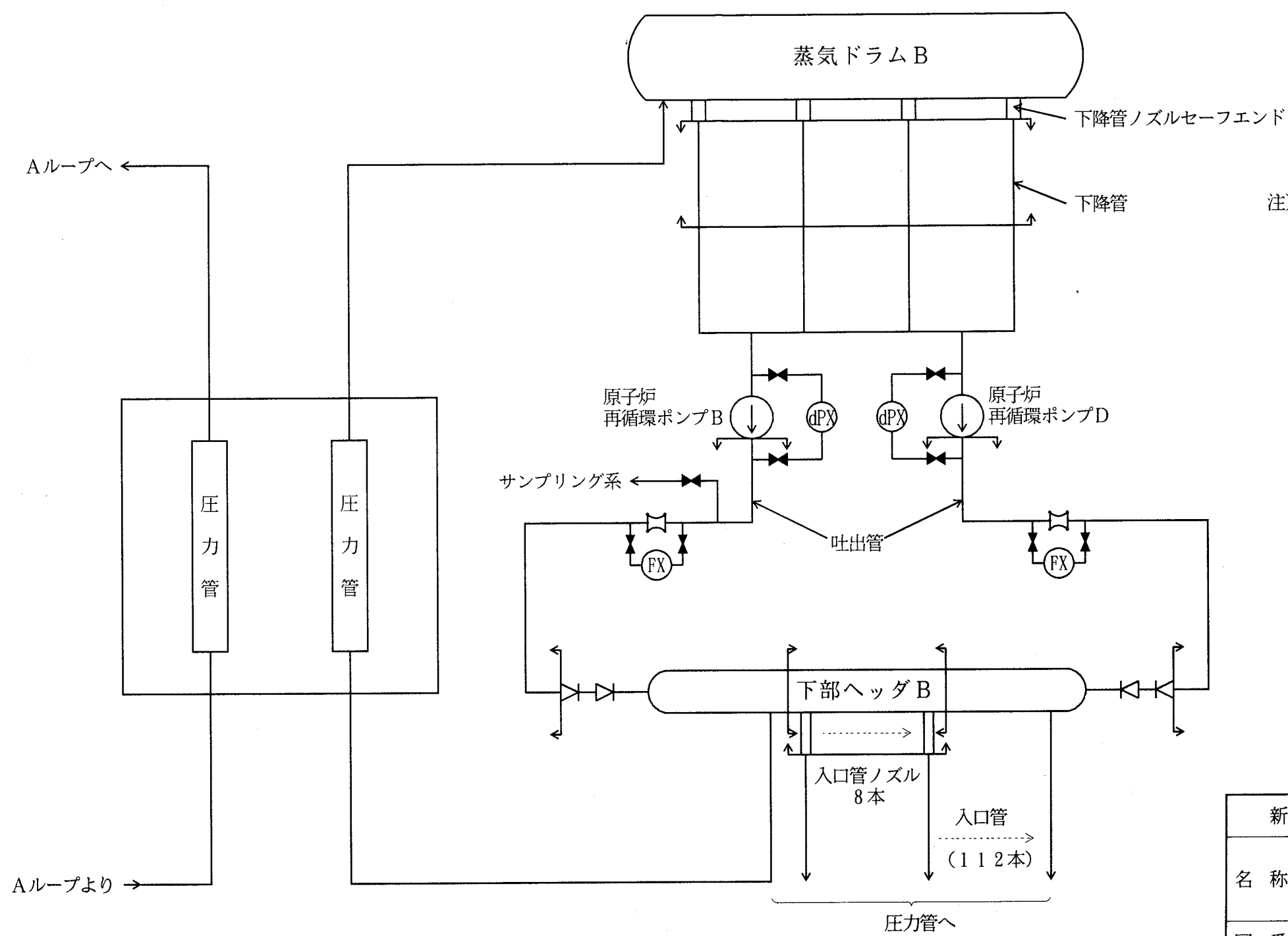
既設配管



図中の寸法は参考値である。(単位mm)

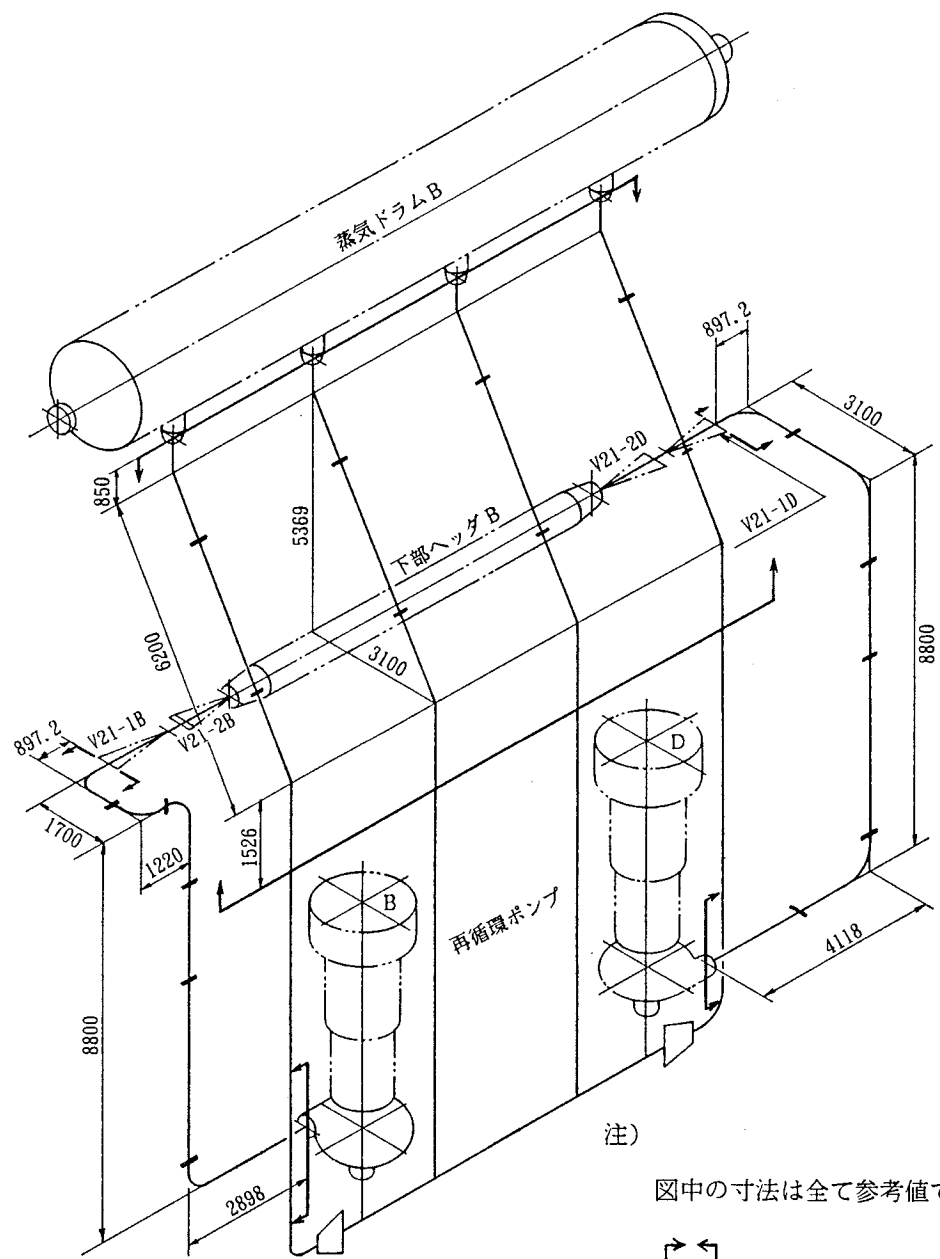


新型転換炉ふげん発電所	
名称	Bループ 入口管配管図(2)
図番	図 - 3
動力炉・核燃料開発事業団	



注) は、申請範囲を示す。

新型転換炉ふげん発電所	
名称	原子炉冷却系統設備のうち 原子炉再循環系概略系統図
図番	図 - 4
動力炉・核燃料開発事業団	

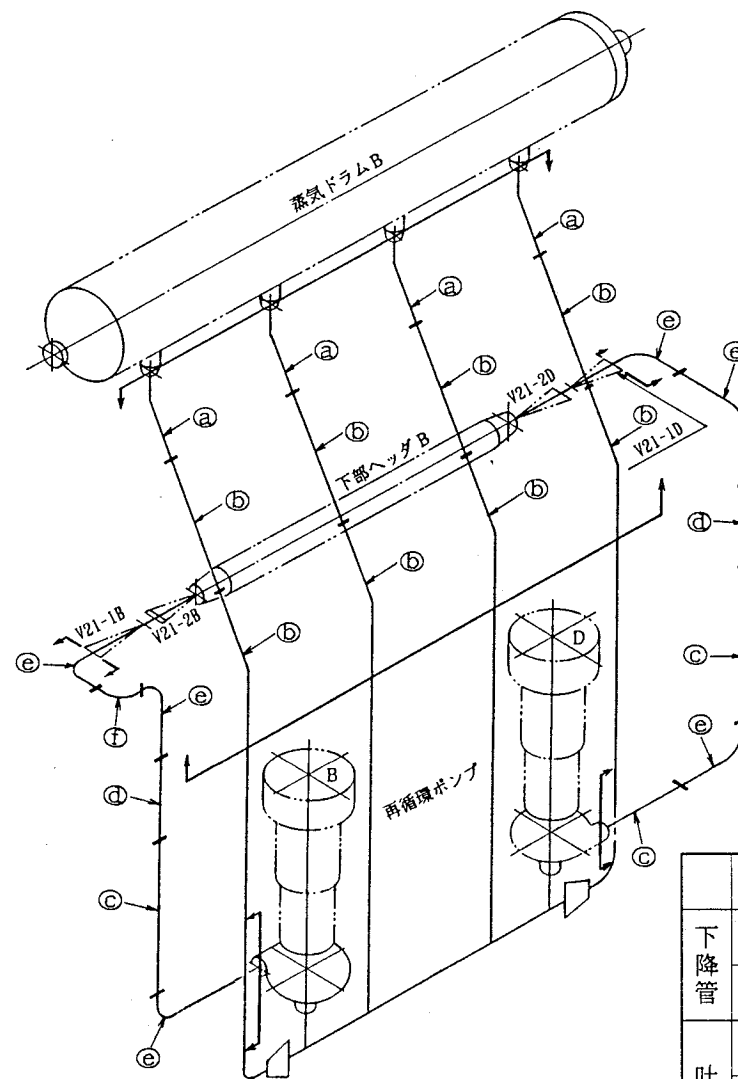


原子炉再循環系（Bループ）主配管

注)
図中の寸法は全て参考値である。

は申請範囲を示す。

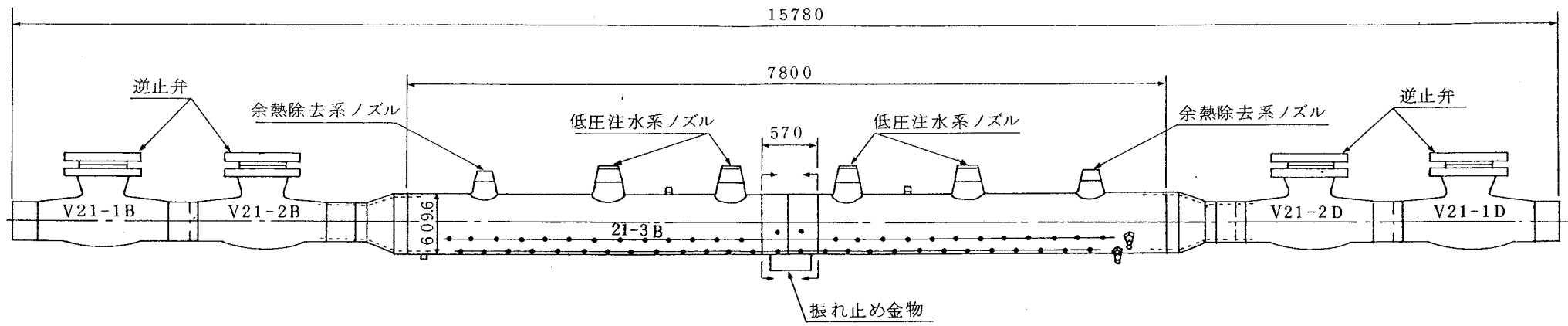
— : 溶接部を示す。



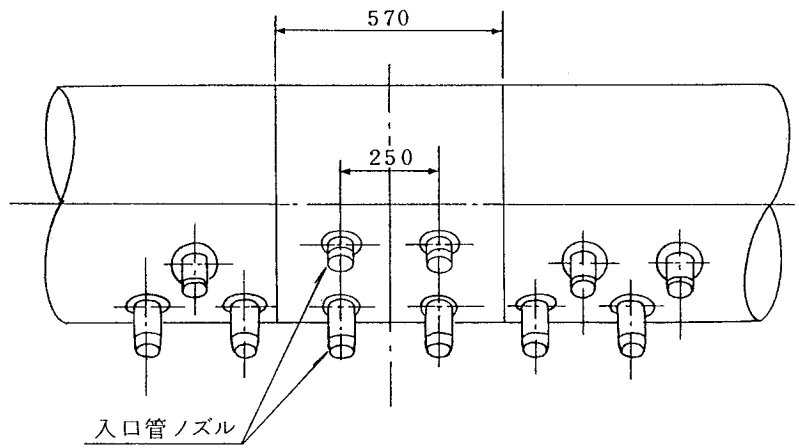
主配管の外径、厚さ及び材料

	記号	外径 × 厚さ	材 料
下降管	Ⓐ	355.6 × 23.8	SUS 316LTP
	Ⓑ	355.6 × 19.0	SUS 316LTP
吐出管	Ⓒ	406.4 × 21.4	SUS 316LTP
	Ⓓ	406.4 × 19.325	SUS F 316L
	Ⓔ	406.4 × 26.2	SUS F 316L
	Ⓕ	406.4 × 26.2	SUS 316LTP

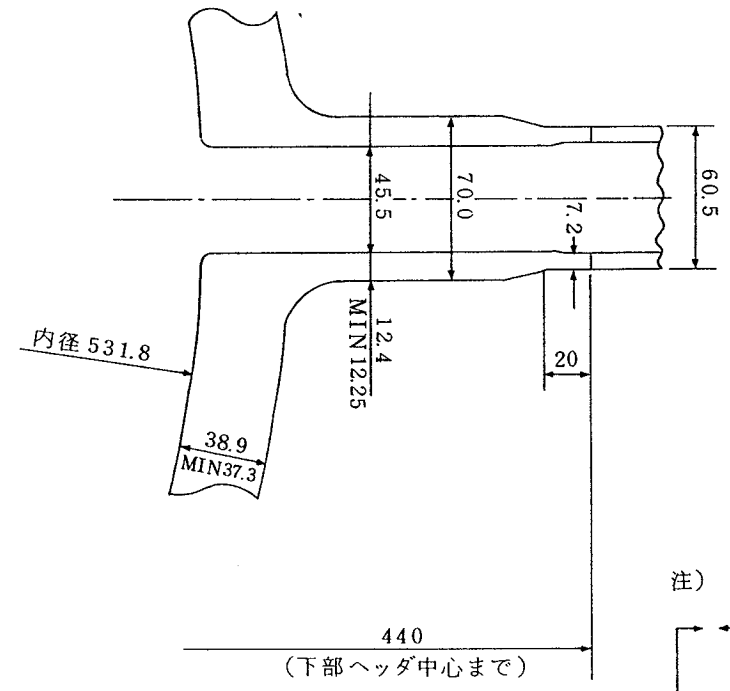
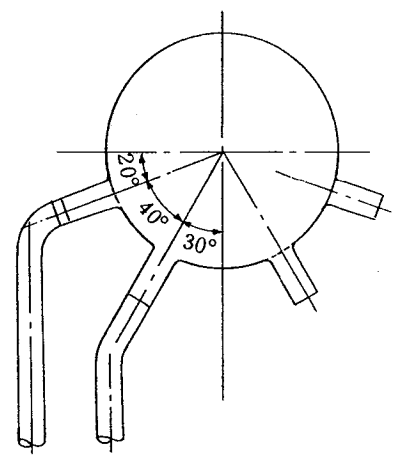
新型転換炉ふげん発電所	
名称	Bループ 原子炉再循環系配管図
図番	図 - 5
動力炉・核燃料開発事業団	



下部ヘッダ B
(反炉心側より見たる図)



下部ヘッダ B 取替範囲詳細

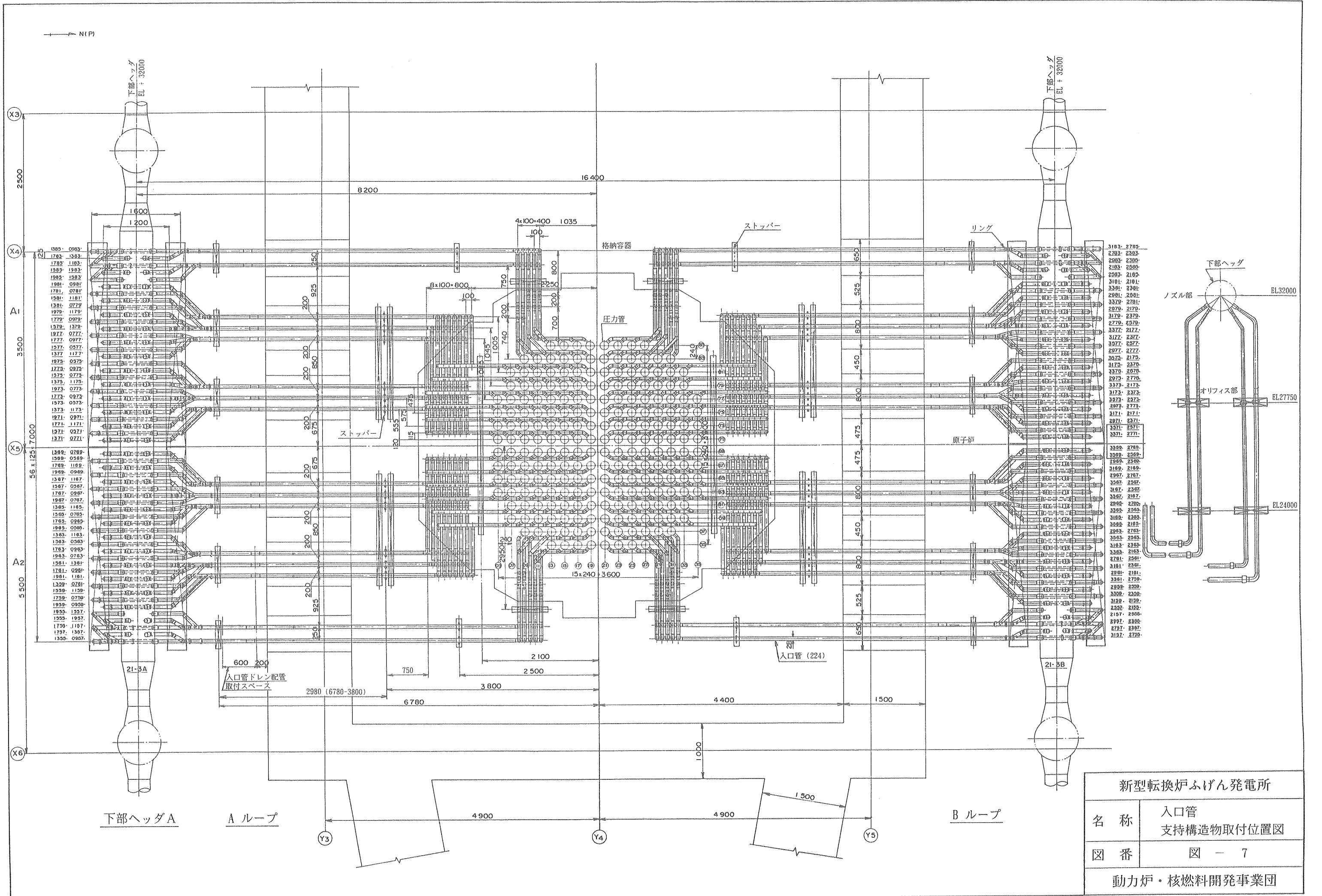


入口管ノズル詳細

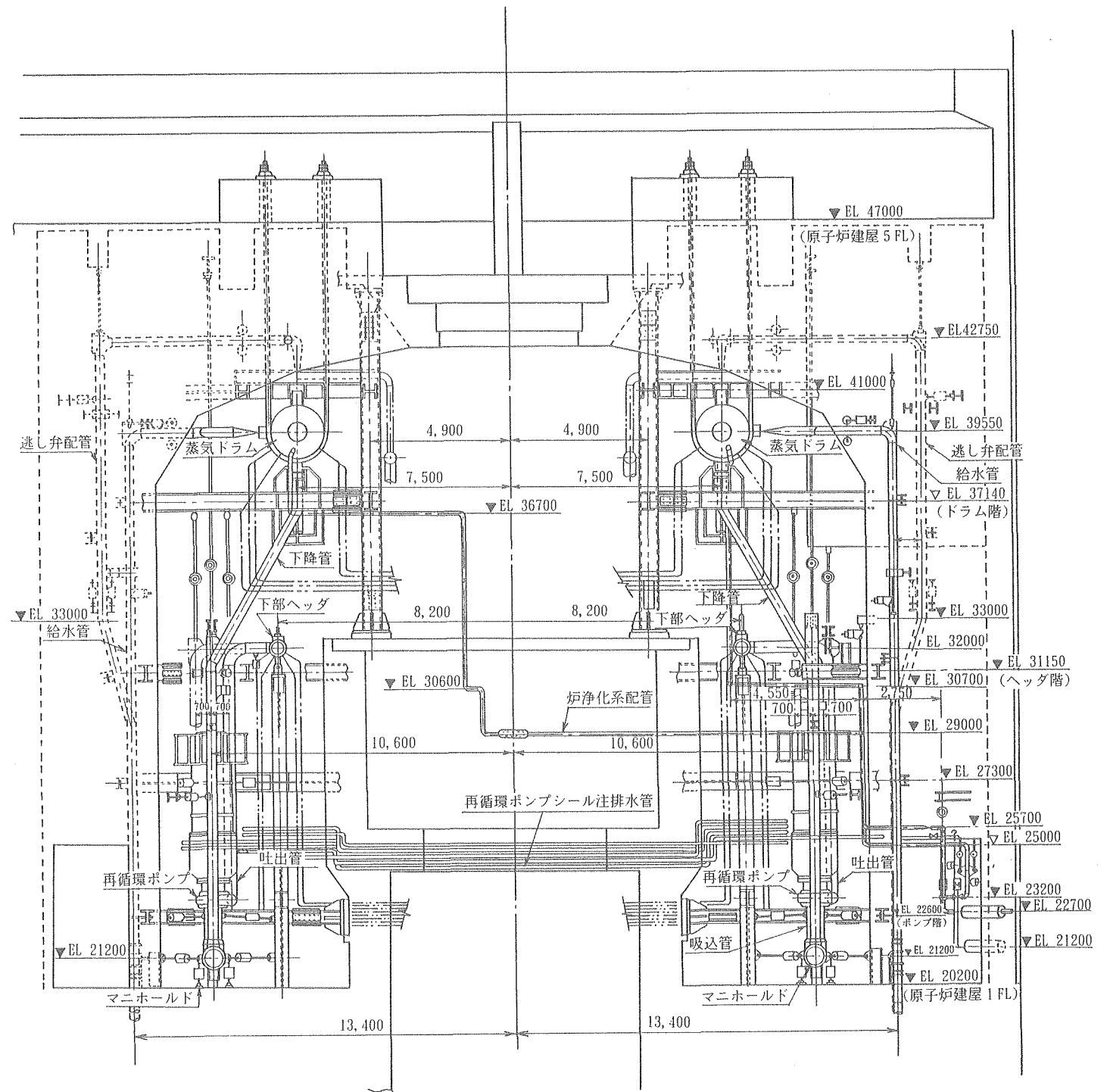
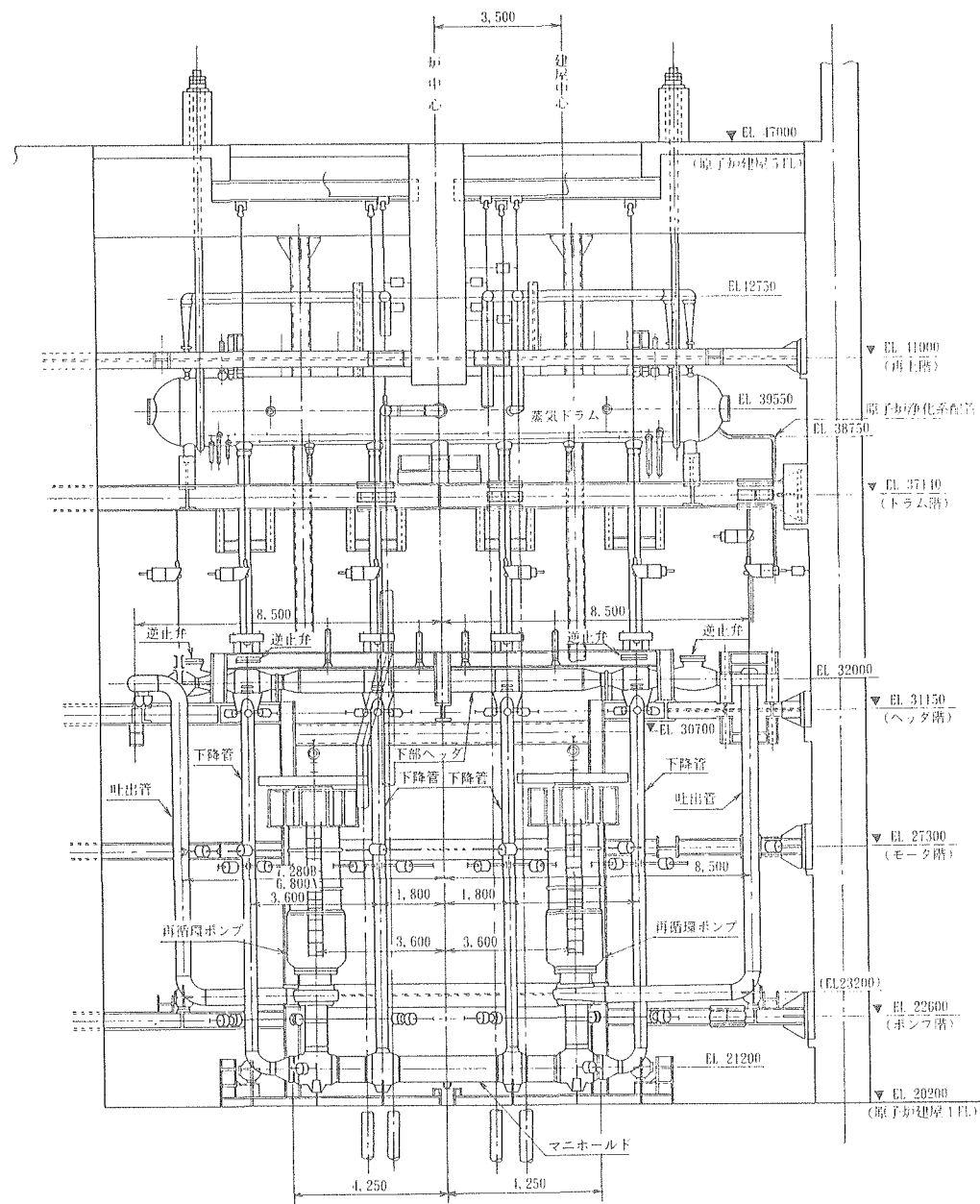
注) は、申請範囲を示す。

単位：mm

新型転換炉ふげん発電所	
名称	下部ヘッダ外形図
図番	図 - 6
動力炉・核燃料開発事業団	



新型転換炉ふげん発電所	
名称	入口管 支持構造物取付位置図
図番	図 - 7
動力炉・核燃料開発事業団	



新型転換炉ふげん発電所	
名称	原子炉再循環系配管 支持構造物取付位置図
図番	図 - 8
動力炉・核燃料開発事業団	

参 考 资 料

参考資料 - 1 原子炉再循環系配管応力解析計算コード
” P I S Y A N ” の概要説明

1. 概 要

計算コード P I S Y A N (Piping System Analysis Computer Code) は、3次元骨組構造系の構造強度振動解析に有限要素法を適用し、且つ、機器配管系に便利な入力Format及び応力評価をすることができる汎用性のあるものである。

本計算コードの概略仕様は、以下のとおりである。

(1) 構造要素

- ① " P I P E " (曲管, 直管, テーパー管)
- ② " M E M B E R " (任意の断面係数等の断面形状をもつ梁要素)
- ③ " R I G I D E L E M E N T " (剛体要素)

(2) 節 点 (J O I N T)

任意の節点に、基準座標系と異なる直交座標系を設定できる。

各節点の支持条件は、剛支持または、弾性支持を与えることができる。

(3) 計算条件

- ① 節点荷重……………任意の節点に、集中荷重、集中モーメントを与えることができる。
- ② 変位型荷重……………外部より支持された節点に、その拘束方向に強制変位を与えることができる。
- ③ 温度変化……………系の任意要素の熱膨張による応力計算をすることができる。
- ④ 地震応答解析……………系を多質点系に置換し、固有値計算及び地震応答スペクトル入力によるモーダルアナリシス法で地震応答計算を行うことができる。

(4) 応力計算

規格、基準等で規定される配管要素の可撓性係数、応力集中係数を任意に入力でき、応力計算をすることができる。

有限要素法を基にしたマトリックス計算法を適用しているが、これについては種々文献等もあり、また、固有値についても実験等により、その妥当性は十分確認されている。

2. 解析手法

2.1 静解析

図-1に機器配管系の静解析（節点荷重、支持点強制変位、熱膨張）の流れ図を示す。

構造解析手法には大きく分けて、変位法及び応力法の2種類があるが、ここでは、構成要素の変位を未知数にとる変位法をとっている。ここで重要なことは、剛性マトリックスの誘導であるが、カスチリアノの定理より各構成要素の撓性マトリックスを求め、その逆行列より剛性マトリックスを求める。

構造系全体の剛性マトリックスは、各要素の剛性マトリックスの重ね合わせとして表されることを利用する。

2.2 地震応答解析

図-2に機器配管系の地震応答スペクトル入力による地震応答解析の流れ図を示す。

ここで、モーダルアナリシス手法により、固有値計算及び慣性力を求める。

3. コードの検証について

P I S Y A Nは、加圧水型軽水炉の耐震設計に使用され、多くの実績を有するコードであり、その検証は以下とおりになされている。

- (1) P I S Y A Nコードは、日本電気協会が実施した試験研究「地震時における原子力施設の限界設計に関する試験研究」（昭和46年度～48年度）において検証されている。
- (2) 加圧水型軽水炉の使用前検査における振動試験結果と、P I S Y A Nによる耐震解析結果で、良好な一致が確認されている。

なお、動燃事業団においても、P I S Y A Nによる耐震設計結果の妥当性の確認を事業団が開発したコード（D I A N A - III）を使用し、行っている。

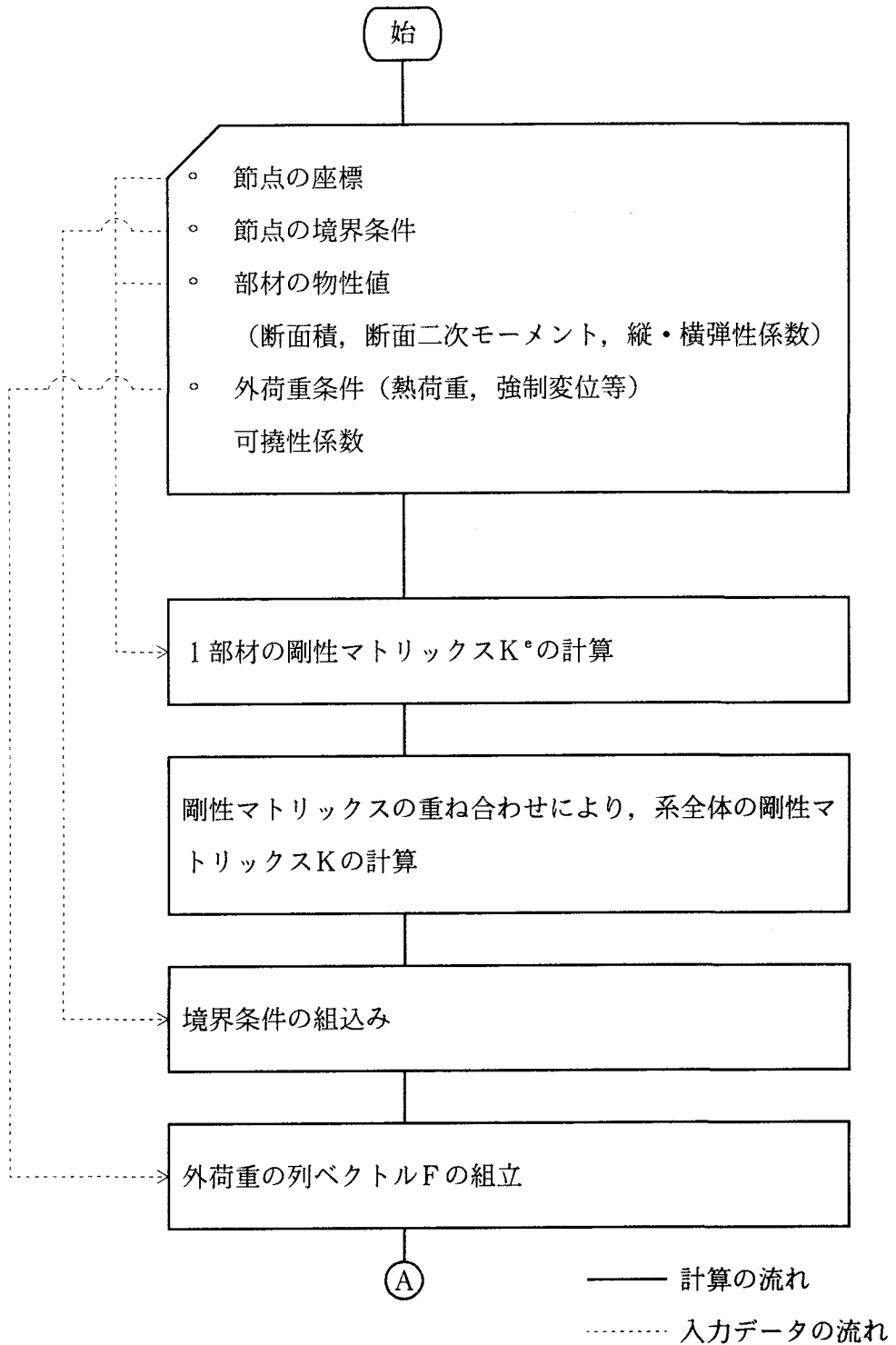


図-1 静的解析の流れ図 (その1)

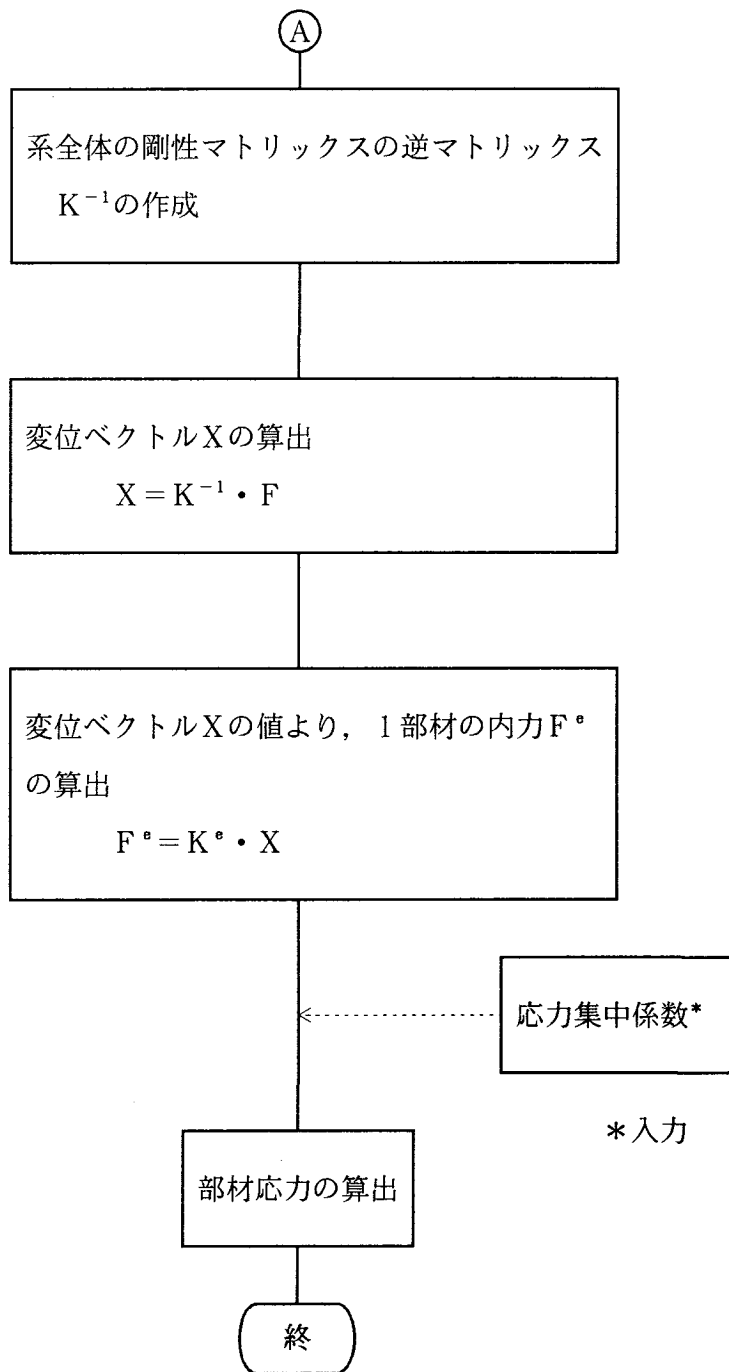
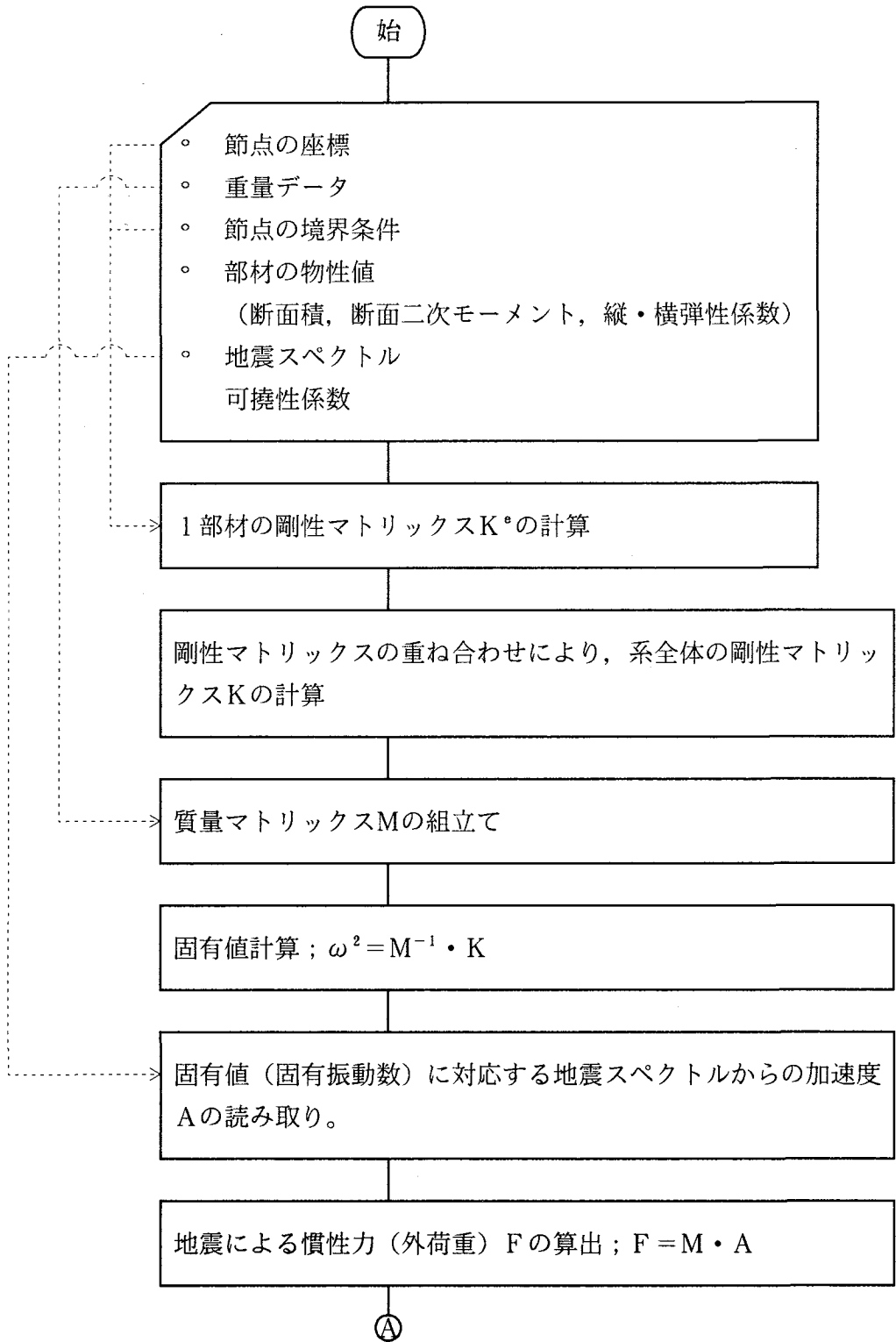


図-1 静的解析の流れ図(その2)



Ⓐは静的解析のⒶの接続部へつながる。

図-2 動的解析の流れ図

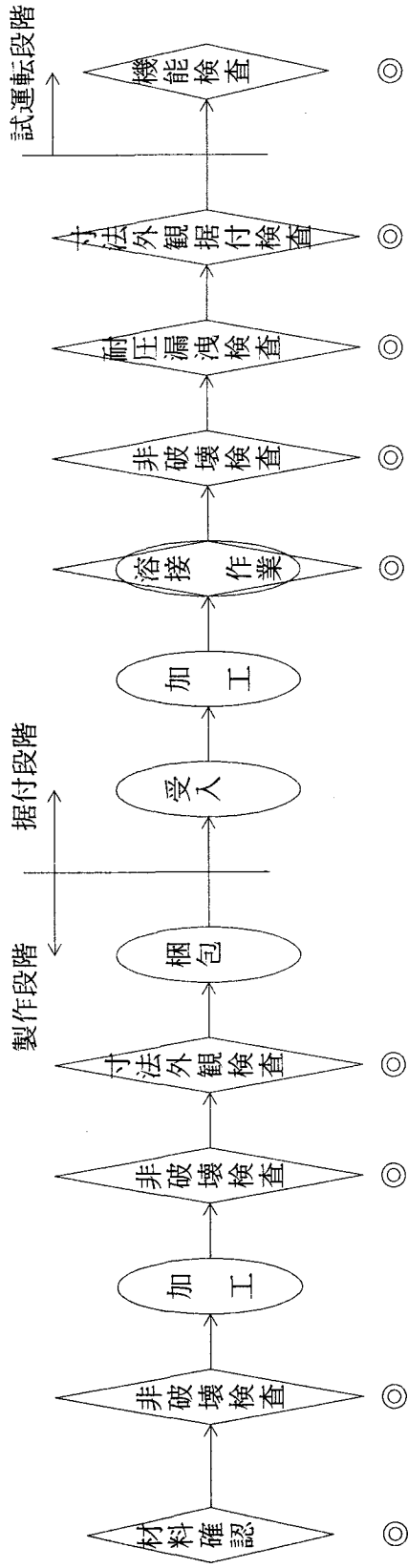
添付図書

今回の工事に係る品質保障活動の概要を、参考として表－1，2，3及び図－1，2，3に示す。

- (1) 表－1 入口管取替に関する品質管理表
- (2) 図－1 入口管取替工事に関する製作・据付・試験検査管理図
- (3) 表－2 原子炉再循環系配管の取替に関する品質管理表
- (4) 図－2 原子炉再循環系配管の取替に関する製作・据付・試験検査管理図
- (5) 表－3 下部ヘッダ胴の一部取替に関する品質管理表
- (6) 図－3 下部ヘッダ胴の一部取替に関する製作・据付・試験検査管理図

表-1 入口管取替に関する品質管理表

品質管理項目 (事業団管理項目)	設計段階	製段階		据付段階				試運転段階
	仕様承認	材料確認	非破壊検査	寸法・外観検査	溶接作業中検査	非破壊検査	寸法・外観・据付検査	耐圧漏えい検査



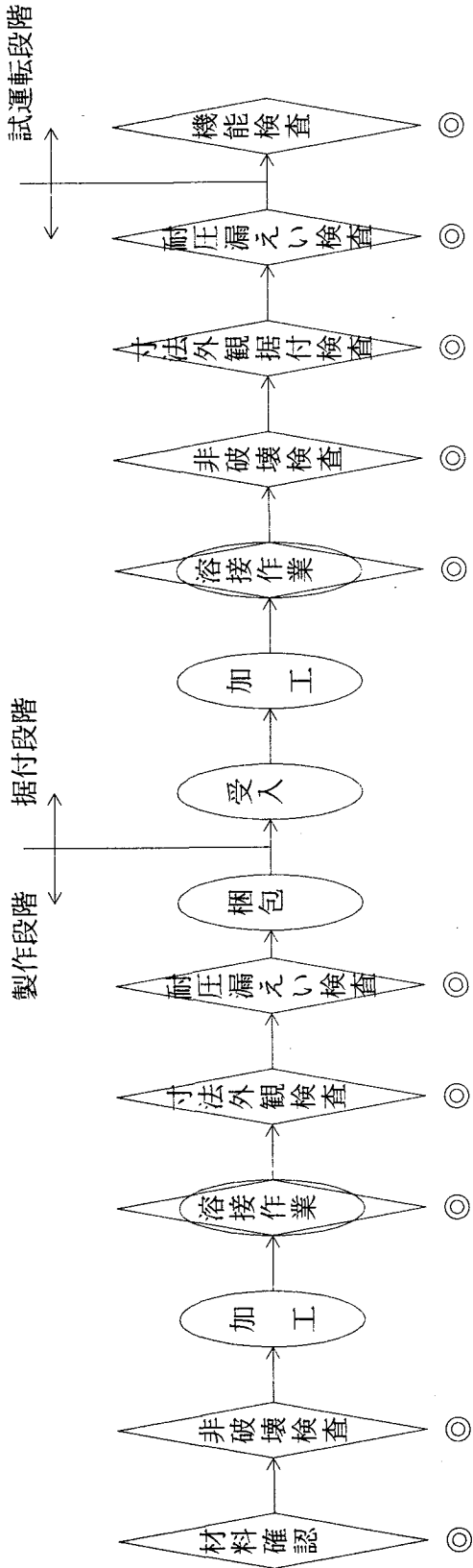
注)

◇ : メーカー管理項目

○ : メーカー作業工程

◎ : 事業団管理項目

図一 入口管取替工事に関する製作・据付・試験検査管理図



注)

◇：メーカー管理項目

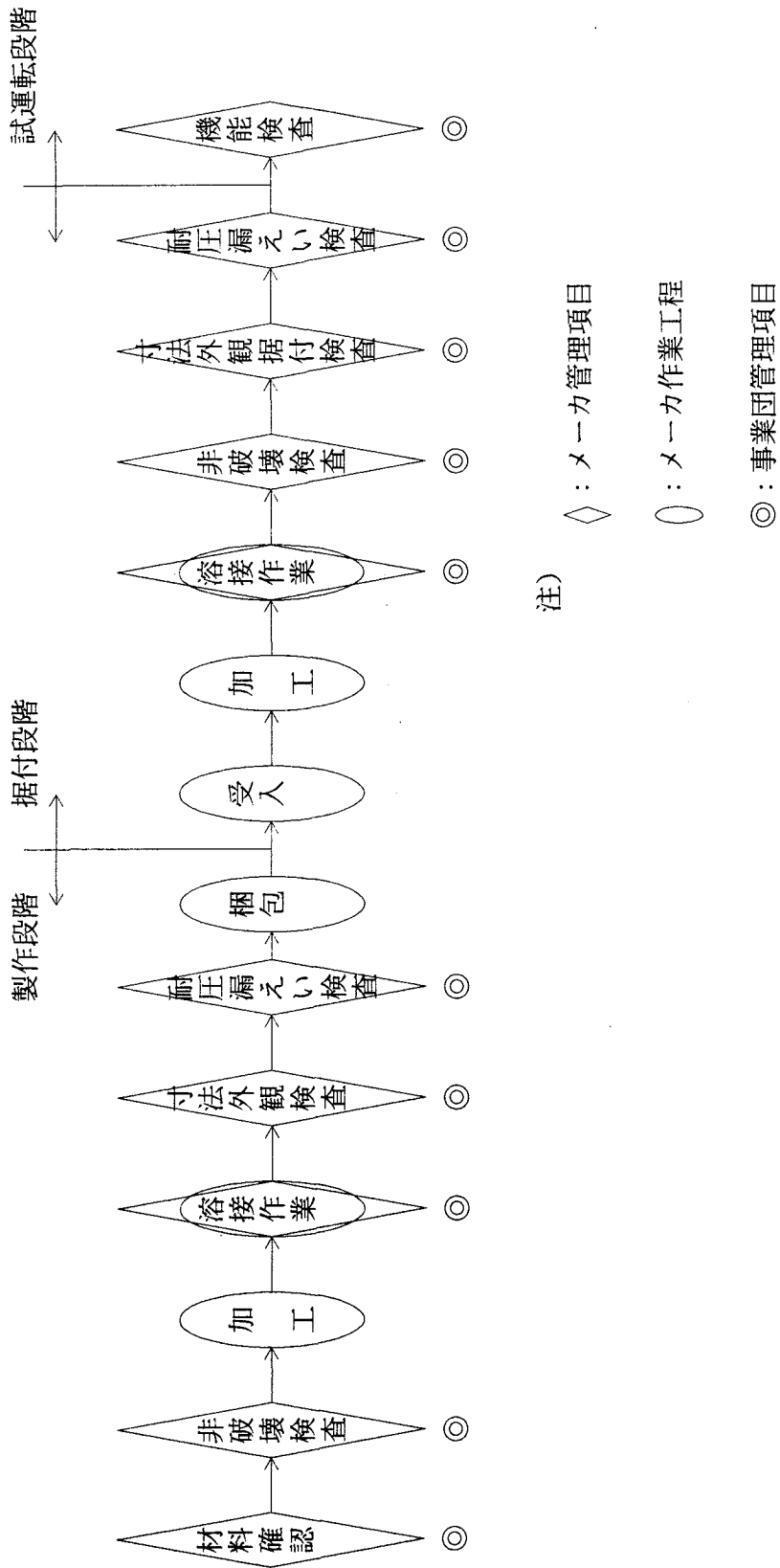
○：メーカー作業工程

◎：事業団管理項目

図一 2 原子炉再循環系配管取替に関する製作・据付・試験検査管理図

表-3 下部ヘッダ胴の一部取替に関する品質管理表

品質管理項目 (事業団管理項目)	設計段階	製作段階		据付段階			試運転段階
	仕様承認	材料確認	溶接作業中検査 非破壊検査	寸法・外観検査 耐圧漏えい検査	溶接作業中検査	非破壊検査 寸法・外観・据付検査	耐圧漏えい検査 性能・機能検査



注)

図-3 下部ヘッダ胴の一部取替に関する製作・据付・試験検査管理図