

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第6号機 設計及び工事計画審査資料	
資料番号	KK6 補足-028-10-75 改0
提出年月日	2023年11月27日

原子炉圧力容器及び原子炉格納容器の構造強度評価における  
形状係数の設定について

2023年11月

東京電力ホールディングス株式会社

原子炉圧力容器及び原子炉格納容器の構造強度評価における

形状係数の設定について

## 目 次

1. 概要	1
2. 設計・建設規格 解説 PVB -3111 に基づく形状係数について	1
3. 適用する部位と形状係数の設定	1
4. 結論	5

## 1. 概要

原子炉圧力容器及び原子炉格納容器の耐震計算における構造強度評価のうち、一次膜＋一次曲げ応力に対する許容応力を算出する際、設計・建設規格 PVB-3111 に基づき、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比または 1.5 のいずれか小さい方の値 ( $\alpha$ ) (以下「形状係数」という。) を用いて評価する部位がある。

本書は、原子炉圧力容器及び原子炉格納容器の耐震計算の構造強度評価において、形状係数を適用する部位と部位ごとの形状係数の設定についてまとめたものである。

## 2. 設計・建設規格 解説 PVB-3111 に基づく形状係数について

設計・建設規格 解説 PVB-3111 より、管状断面形状の場合、形状係数は下式で求められる。ただし、管状断面形状において下式の計算結果が 1.5 を上回る場合は、形状係数として 1.5 を用いる。

$$\alpha = \frac{32(1 - Y^3)}{6\pi(1 - Y^4)}$$

ただし、 $Y = d_i/d_o$

$d_i$  : 管の内径

$d_o$  : 管の外径

なお、この形状係数はノズルと配管の接続部のような部材断面全体が外部荷重による曲げモーメントを受ける箇所に適用すべき係数であり、中空円形断面であっても軸力、水平力等、断面積で応力が決定されるような箇所には適用する必要がなく、この場合は 1.5 を用いてよい。

上記は管状断面形状の場合であり、中実円形及び三角形断面では、1.5 を超えるが、この場合は形状係数として 1.5 を用いる。

中実矩形断面の場合、形状係数は 1.5 である。

## 3. 適用する部位と形状係数の設定

### (1) 原子炉圧力容器

VI-2-3-3-1-2(1)「原子炉圧力容器の耐震計算結果」及びVI-2-3-3-1-3「原子炉圧力容器本体の応力計算書」の構造強度評価において、形状係数を適用する部位及び部位ごとの形状係数を表 3-1 に示す。また、各部位の概要図及び形状係数を設定するための諸元を図 3-1 から図 3-19 に示す。(以下、応力評価面の表記において、P01- P02 等の表記には P01- P02 及び P01' -P02' の両方を含むものとする。)


原子炉圧力容器の評価部位は、基本的に中空円筒断面であるため、2章に示す管状断面形状として形状係数を設定し、全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比が 1.5 を上回る部位については 1.5 を用いる。ただし、制御棒駆動機構ハウジング貫通孔の応力評価面  及びブラケット類は、応力評価上の断面が中実矩形断面であるため、中実矩形断面の形状係数である 1.5 を用いる。

表 3-1 原子炉压力容器の耐震計算における形状係数適用部位 (1/2)

適用部位	応力評価点	形状係数	備考
胴板	P01-P02, P03-P04		
	P05-P06		
	P07-P08		
下部鏡板	P01-P02, P03-P04, P05-P06, P07-P08, P09-P10, P11-P12		
制御棒駆動機構ハウジング貫通孔	P01-P02, P03-P04		
	P05-P06, P07-P08		
	P09-P10		
原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔 (N1)	P01-P02		
	P03-P04		
	P05-P06		
主蒸気ノズル (N3)	P01-P02		
	P03-P04		
	P05-P06		
給水ノズル (N4)	P01-P02		
	P03-P04, P05-P06		
	P07-P08		
	P09-P10		
	P11-P10		
低圧注水ノズル (N6)	P01-P02		
	P03-P04, P05-P06		
	P07-P08		
上蓋スプレイ・ベントノズル (N7)	P01-P02, P03-P04		
原子炉停止時冷却材出口ノズル (N8), (N10)	P01-P02		
	P03-P04		
	P05-P06		
原子炉冷却材再循環ポンプ差圧検 出ノズル (N9)	P01-P02, P03-P04		
	P05-P06, P07-P08		

注記\*1 : 中実矩形断面の 1.5 を用いる。

\*2 : 全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比が 1.5 を上回るため 1.5 を用いる。

表 3-1 原子炉压力容器の耐震計算における形状係数適用部位 (2/2)

適用部位	応力評価点	形状係数	備考
炉心支持板差圧検出ノズル (N11)	P01-P02, P03-P04		
	P05-P06, P07-P08		
計装ノズル (N12 及び N13)	P01-P02		
	P03-P04		
	P05-P06		
計装ノズル (N14)	P01-P02		
	P03-P04		
	P05-P06		
ドレンノズル (N15)	P01-P02		
	P03-P04		
高圧炉心注水ノズル (N16)	P01-P02		
	P03-P04, P05-P06		
	P07-P08		
ブラケット類 (原子炉压力容器スタビライザブラケット, 蒸気乾燥器支持ブラケット, 給水スパーチャブラケット, 低圧注水スパーチャブラケット)	—		
原子炉压力容器支持スカート	P01-P02		
原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシング	P01-P02		
	P03-P04		
	P05-P06		

注記\*1 : 中実矩形断面の 1.5 を用いる。

\*2 : 全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比が 1.5 を上回るため 1.5 を用いる。

## (2) 原子炉格納容器

原子炉格納容器の耐震計算の構造強度評価において、形状係数を適用する部位及び部位ごとの形状係数を表 3-2 に示す。


原子炉格納容器は、2 章に示す管状断面形状としての形状係数の影響を考慮し、中空円筒にモーメントが作用して生じる応力を膜応力として分類し評価している。これは、2 章に示す中空円形断面であっても軸力、水平力等、断面積で応力が決定されるような箇所に対応し、この場合の形状係数は 1.5 を用いてよいとされている。また、応力評価上の断面を板厚部分の中実矩形断面とし、中実矩形断面の形状係数である 1.5 を用いる。



表 3-2 原子炉格納容器の耐震計算における形状係数適用部位

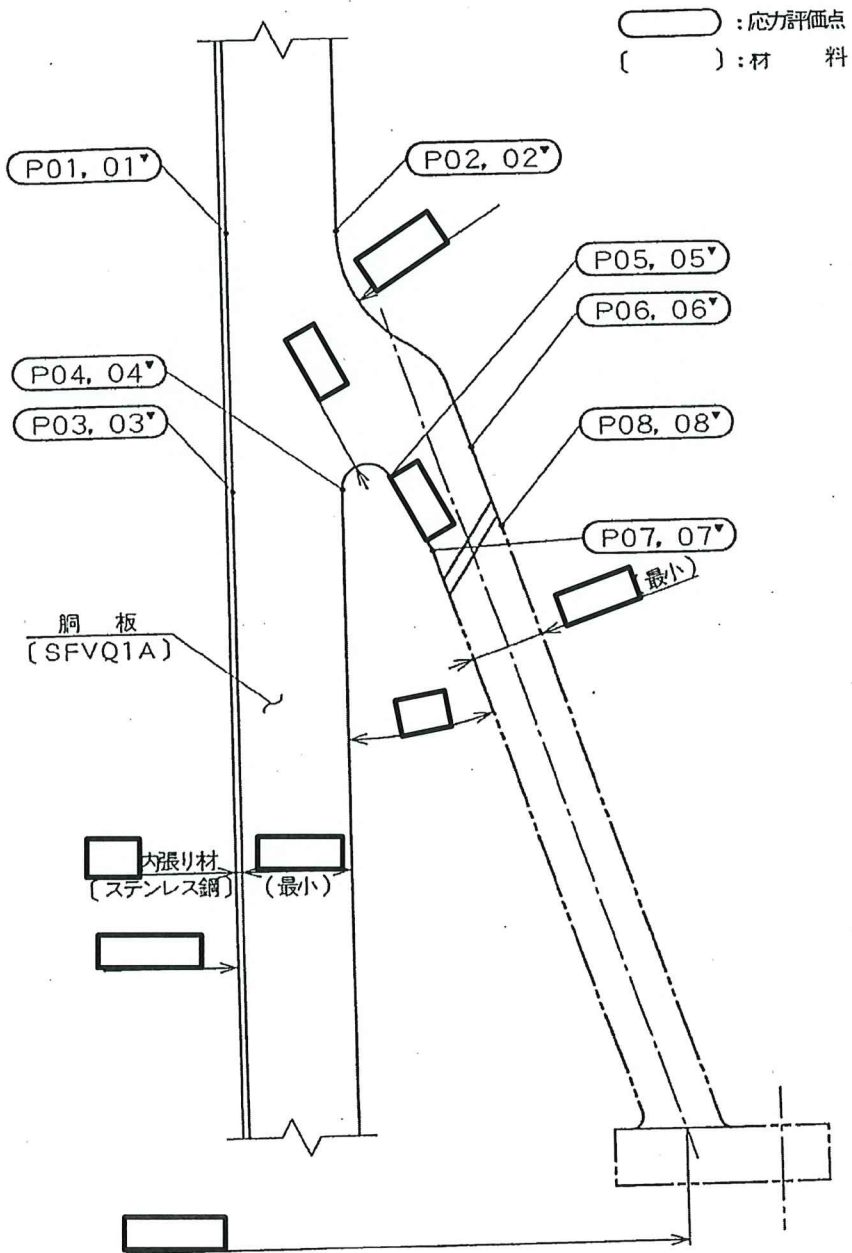
図書番号	図書名称	適用する評価部位	応力評価点番号	形状係数
VI-2-9-2-3	ドライウエル上鏡の耐震性についての計算書	上鏡球殻部とナックル部の結合部	P1	1.5
VI-2-9-2-4	下部ドライウエルアクセステンネルスリーブ及び鏡板(所員用エアロック付)の耐震性についての計算書	上鏡円筒のフランジプレートとの結合部 鏡板	P2 P1	1.5 1.5
VI-2-9-2-5	下部ドライウエルアクセステンネルスリーブ及び鏡板(機器搬入用ハッチ付)の耐震性についての計算書	鏡板のスリーブとの結合部 スリーブのフランジプレートとの結合部 鏡板	P2~P4 P5~P7 P1	1.5 1.5 1.5
VI-2-9-2-7	上部ドライウエル機器搬入用ハッチの耐震性についての計算書	鏡板のスリーブとの結合部 スリーブのフランジプレートとの結合部	P2~P4 P5~P7	1.5 1.5
VI-2-9-2-8	下部ドライウエル機器搬入用ハッチの耐震性についての計算書	上部ドライウエル機器搬入用ハッチ円筒 上部ドライウエル機器搬入用ハッチ円筒のフランジプレートとの結合部	P8~P10 P11~P13	1.5 1.5
VI-2-9-2-9	サブプレッショントンネル出入口の耐震性についての計算書	下部ドライウエル機器搬入用ハッチ円筒 下部ドライウエル機器搬入用ハッチ円筒と鏡板との結合部 サブプレッショントンネル出入口円筒 サブプレッショントンネル出入口円筒のフランジプレートとの結合部	P8~P10 P11~P13 P8~P10 P11~P13	1.5 1.5 1.5 1.5
VI-2-9-2-10	上部ドライウエル所員用エアロックの耐震性についての計算書	上部ドライウエル所員用エアロック内側円筒 上部ドライウエル所員用エアロック内側円筒のフランジプレートとの結合部	P8~P10 P11~P13	1.5 1.5
VI-2-9-2-11	下部ドライウエル所員用エアロックの耐震性についての計算書	上部ドライウエル所員用エアロック外側円筒 上部ドライウエル所員用エアロック外側円筒のフランジプレートとの結合部	P14~P16 P17~P19	1.5 1.5
VI-2-9-2-12	原子炉格納容器配管貫通部の耐震性についての計算書	下部ドライウエル所員用エアロック円筒 下部ドライウエル所員用エアロック円筒と鏡板との結合部	P8~P10 P11~P13	1.5 1.5
VI-2-9-2-13	原子炉格納容器電気配線貫通部の耐震性についての計算書	スリーブ スリーブのフランジプレートとの結合部 端板 スリーブ スリーブのフランジプレートとの結合部	P1 P2 P3 P1 P2	1.5 1.5 1.5 1.5 1.5

#### 4. 結論

以上のとおり，原子炉圧力容器及び原子炉格納容器の耐震計算の構造強度評価において，形状係数を適用する部位と部位ごとに設計・建設規格 解説 PVB-3111 に基づき設定した形状係数についてまとめた。原子炉圧力容器は，基本的には管状断面形状として形状係数を設定し，制御棒駆動機構ハウジング貫通孔の応力評価面  及びブラケット類については，中実矩形断面の形状係数を設定している。原子炉格納容器は，応力評価上の断面を板厚部分の中実矩形断面とし，中実矩形断面の形状係数を設定している。



胴板

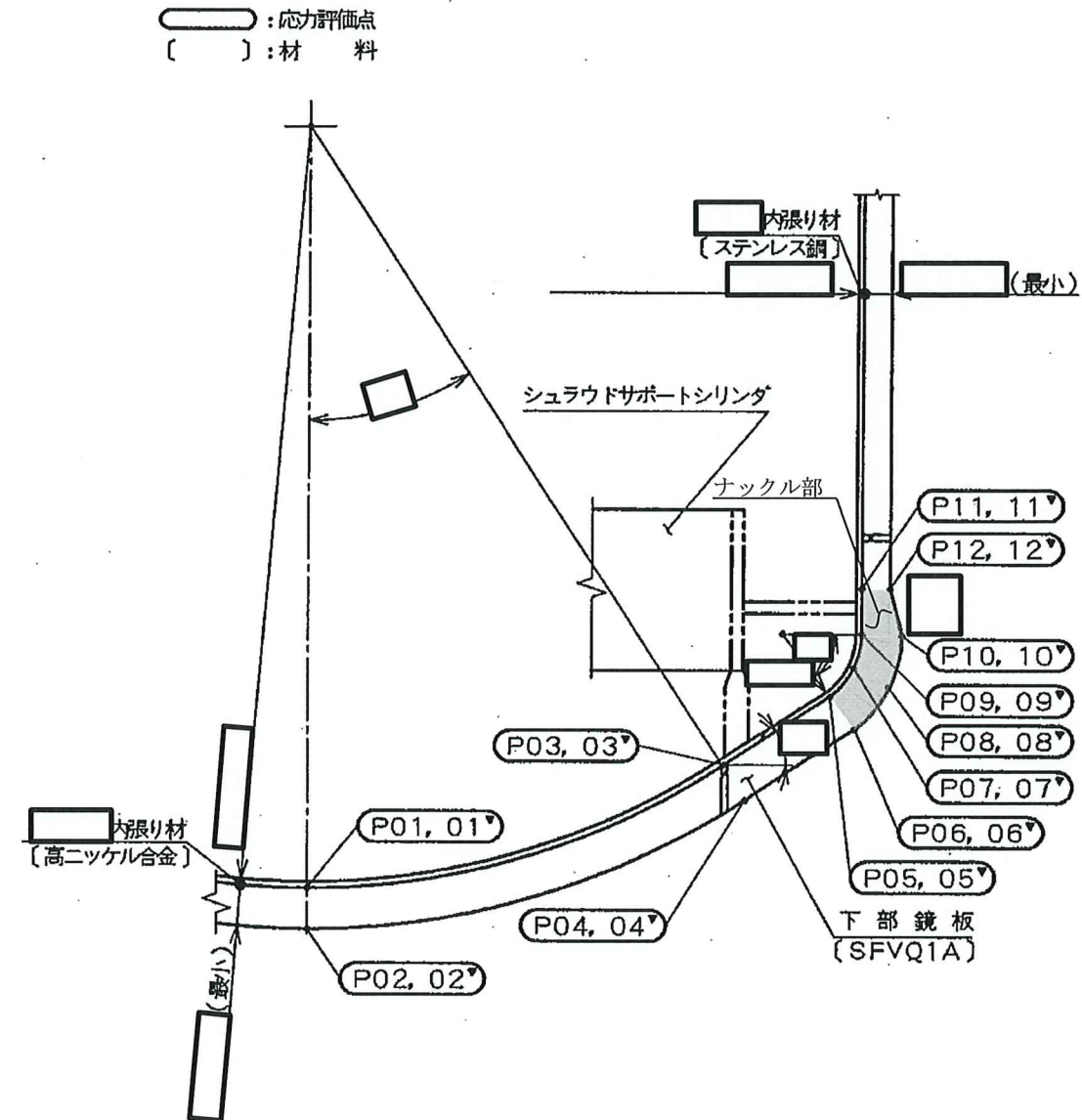


応力評価点	形状係数*	内径 $d_i$ (mm)	外径 $d_o$ (mm)	備考
P01-P02				
P03-P04				
P05-P06				
P07-P08				

注記\*：形状係数は小数点以下第3位を切り捨て、小数点以下第2位までの値とする。

図 3-1 胴板の概要図及び諸元

下部鏡板



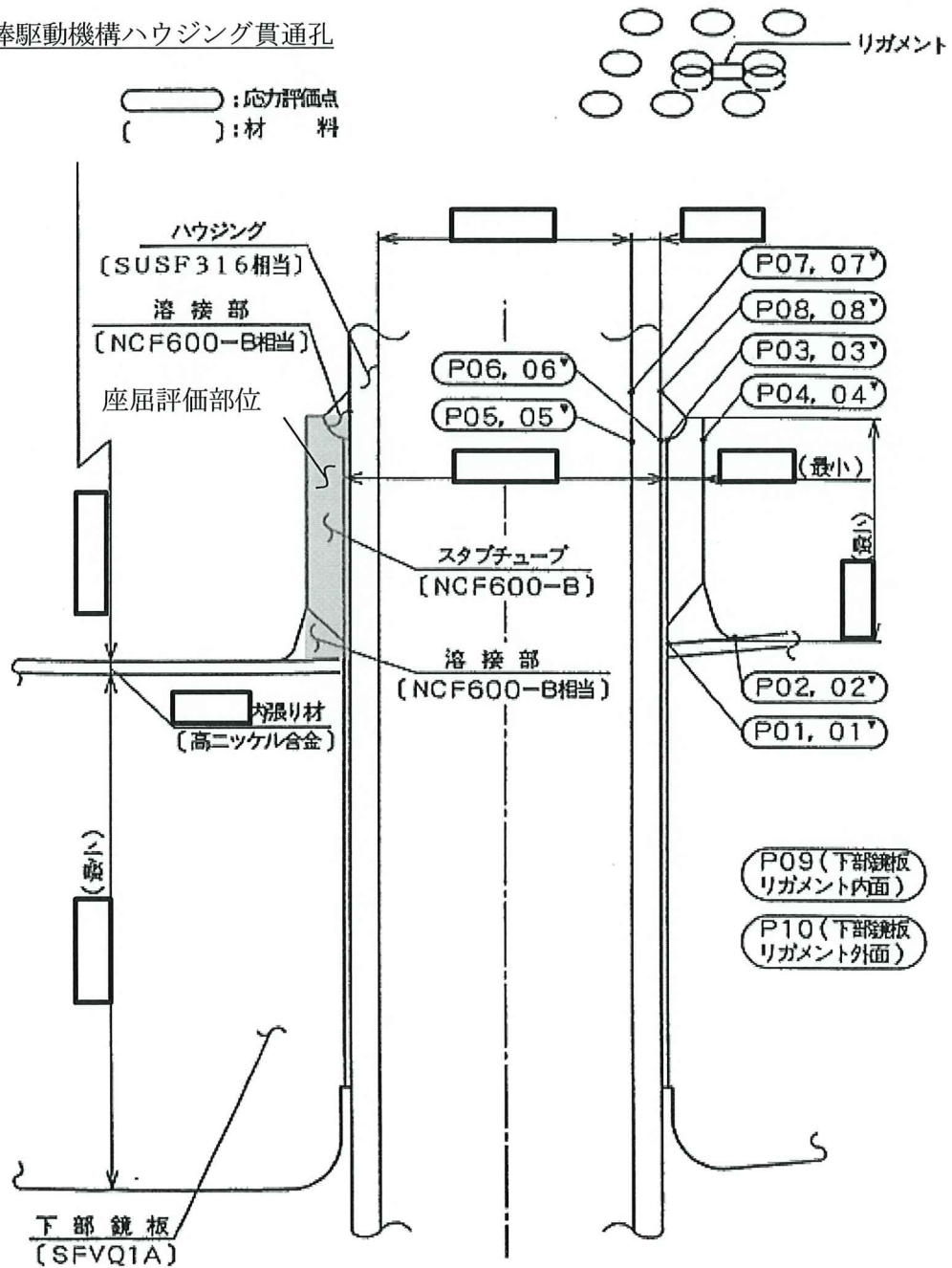
応力評価点	形状係数*1	内径 $d_i$ (mm)	外径 $d_o$ (mm)	備考
P01-P02				
P03-P04				
P05-P06				
P07-P08				
P09-P10				
P11-P12				

注記\*1 : 形状係数は小数点以下第3位を切り捨て、小数点以下第2位までの値とする。

\*2 : P11-P12 で算出した形状係数を適用する。

図 3-2 下部鏡板の概要図及び諸元

制御棒駆動機構ハウジング貫通孔



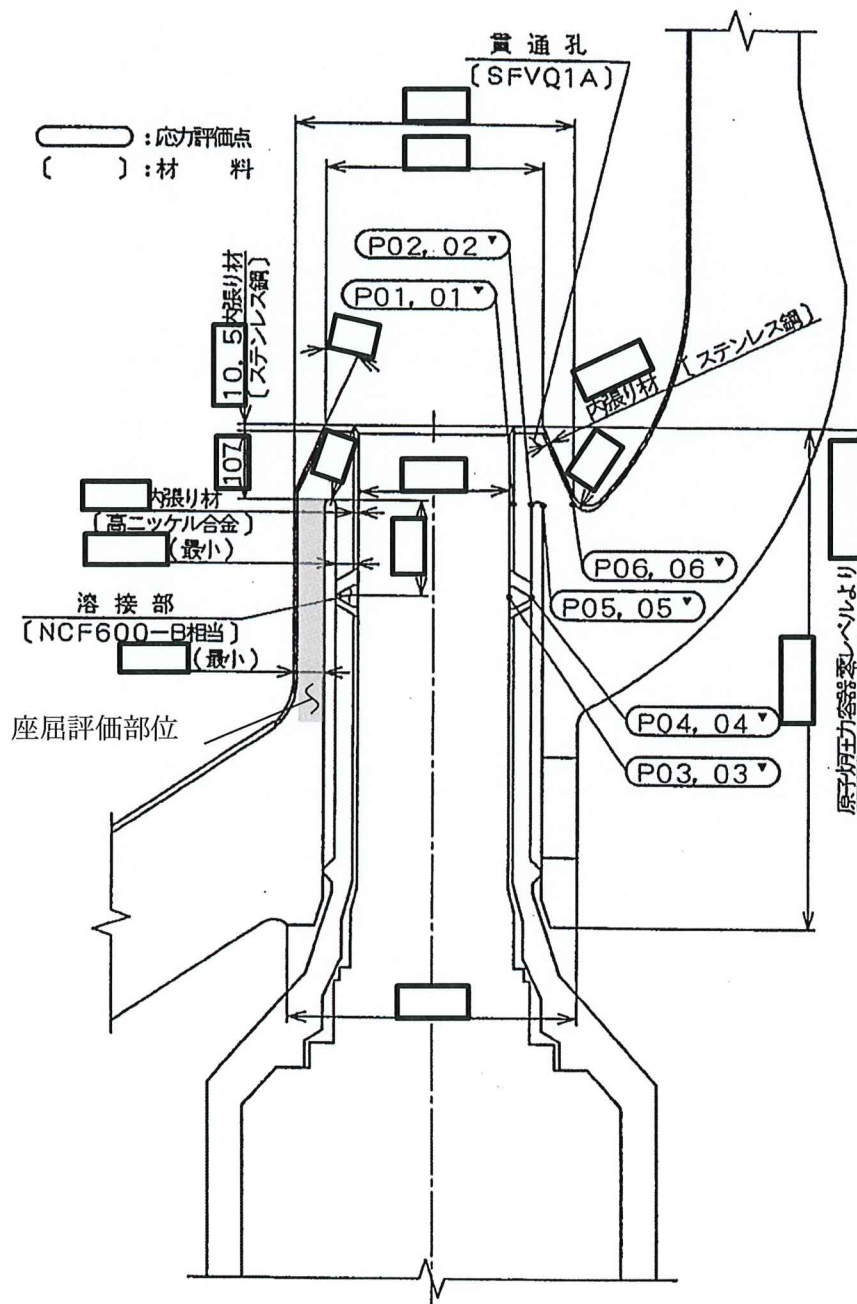
応力評価点	形状係数*1	内径 $d_i$ (mm)	外径 $d_o$ (mm)	備考
P01-P02				
P03-P04				
P05-P06				
P07-P08				
P09-P10				

注記\*1 : 形状係数は小数点以下第3位を切り捨て、小数点以下第2位までの値とする。

\*2 : 中実矩形断面の1.5を用いる。

図3-3 制御棒駆動機構ハウジング貫通孔の概要図及び諸元

原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔 (N1)

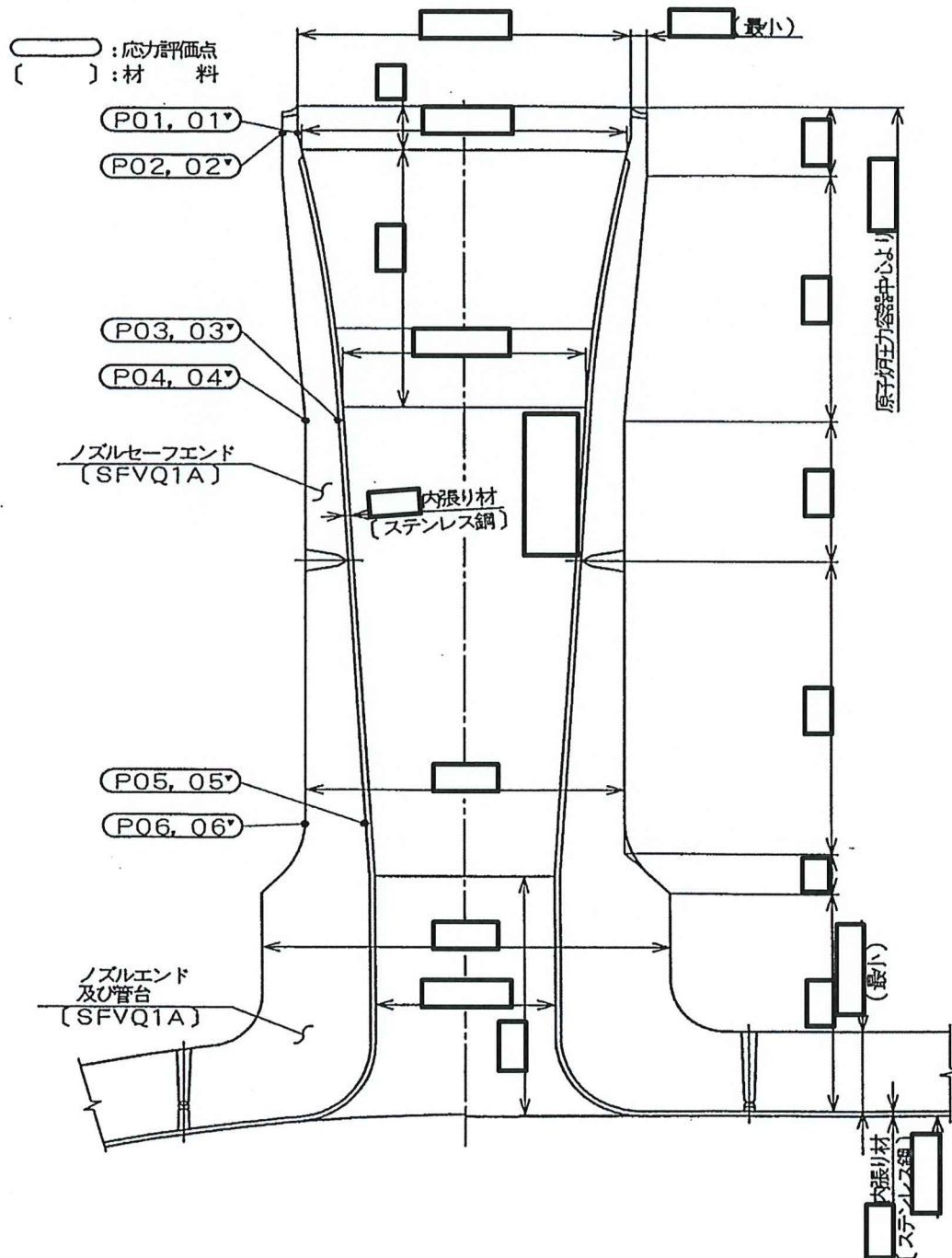


応力評価点	形状係数*	内径 $d_i$ (mm)	外径 $d_o$ (mm)	備考
P01-P02				
P03-P04				
P05-P06				

注記\* : 形状係数は小数点以下第3位を切り捨て、小数点以下第2位までの値とする。

図3-4 原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔 (N1) の概要図及び諸元

主蒸気ノズル (N3)



応力評価点	形状係数*1	内径 $d_i$ (mm)	外径 $d_o$ (mm)	備考
P01-P02				
P03-P04				
P05-P06				

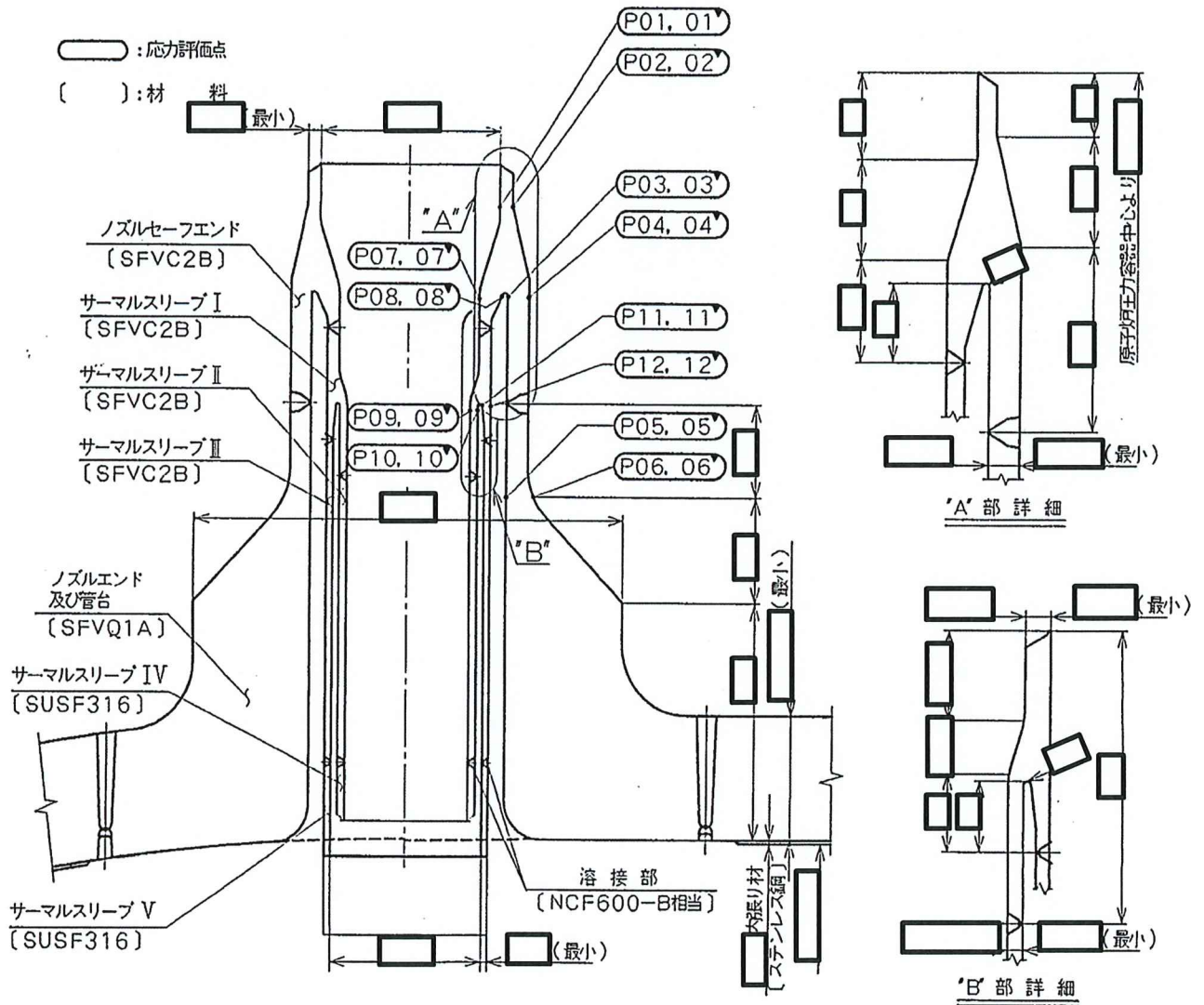
注記\*1 : 形状係数は小数点以下第3位を切り捨て、小数点以下第2位までの値とする。

\*2 : 全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比が1.5を上回るため1.5を用いる。

図3-5 主蒸気ノズル (N3) の概要図及び諸元



給水ノズル (N4)

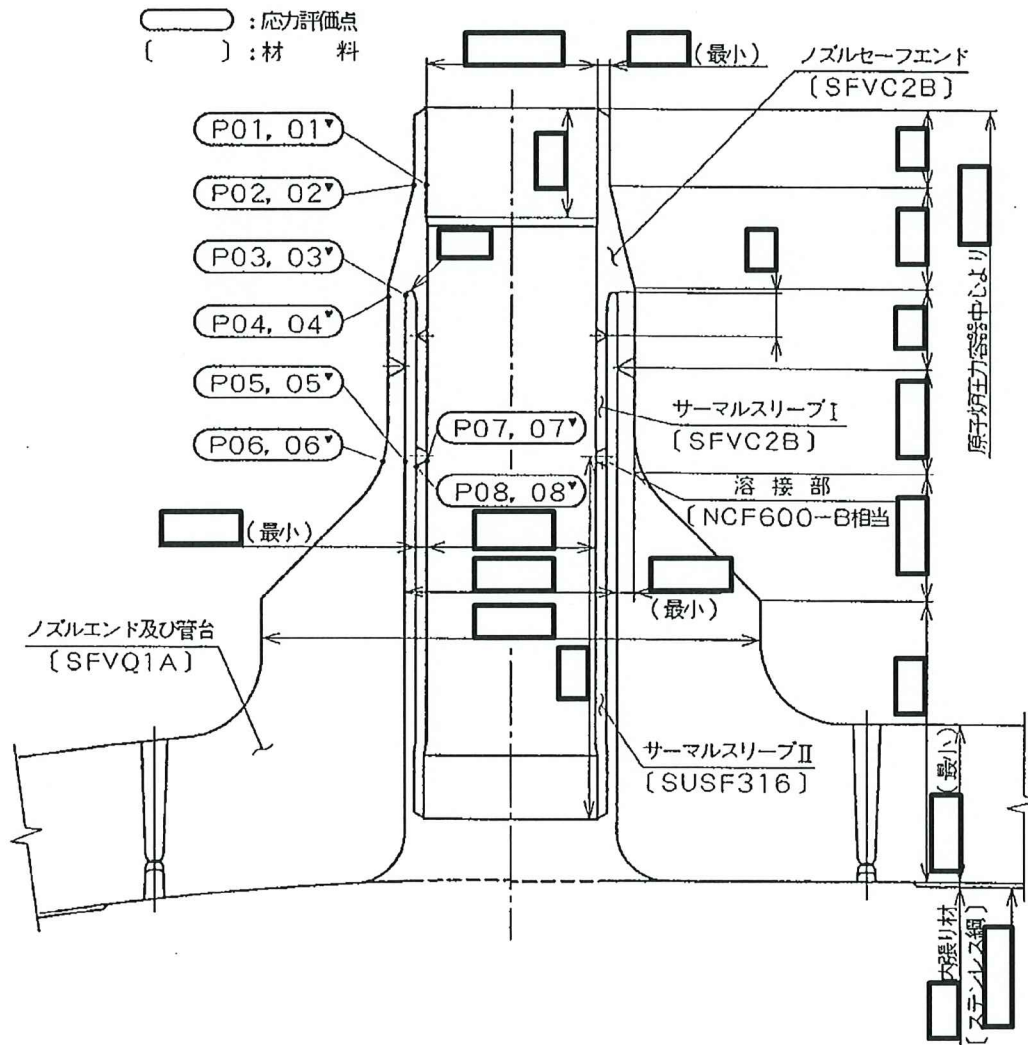


応力評価点	形状係数*	内径 $d_i$ (mm)	外径 $d_o$ (mm)	備考
P01-P02				
P03-P04				
P05-P06				
P07-P08				
P09-P10				
P11-P12				

注記\* : 形状係数は小数点以下第3位を切り捨て、小数点以下第2位までの値とする。

図3-6 給水ノズル (N4) の概要図及び諸元

低圧注水ノズル (N6)



応力評価点	形状係数*	内径 $d_i$ (mm)	外径 $d_o$ (mm)	備考
P01-P02				
P03-P04				
P05-P06				
P07-P08				

注記\* : 形状係数は小数点以下第3位を切り捨て、小数点以下第2位までの値とする。

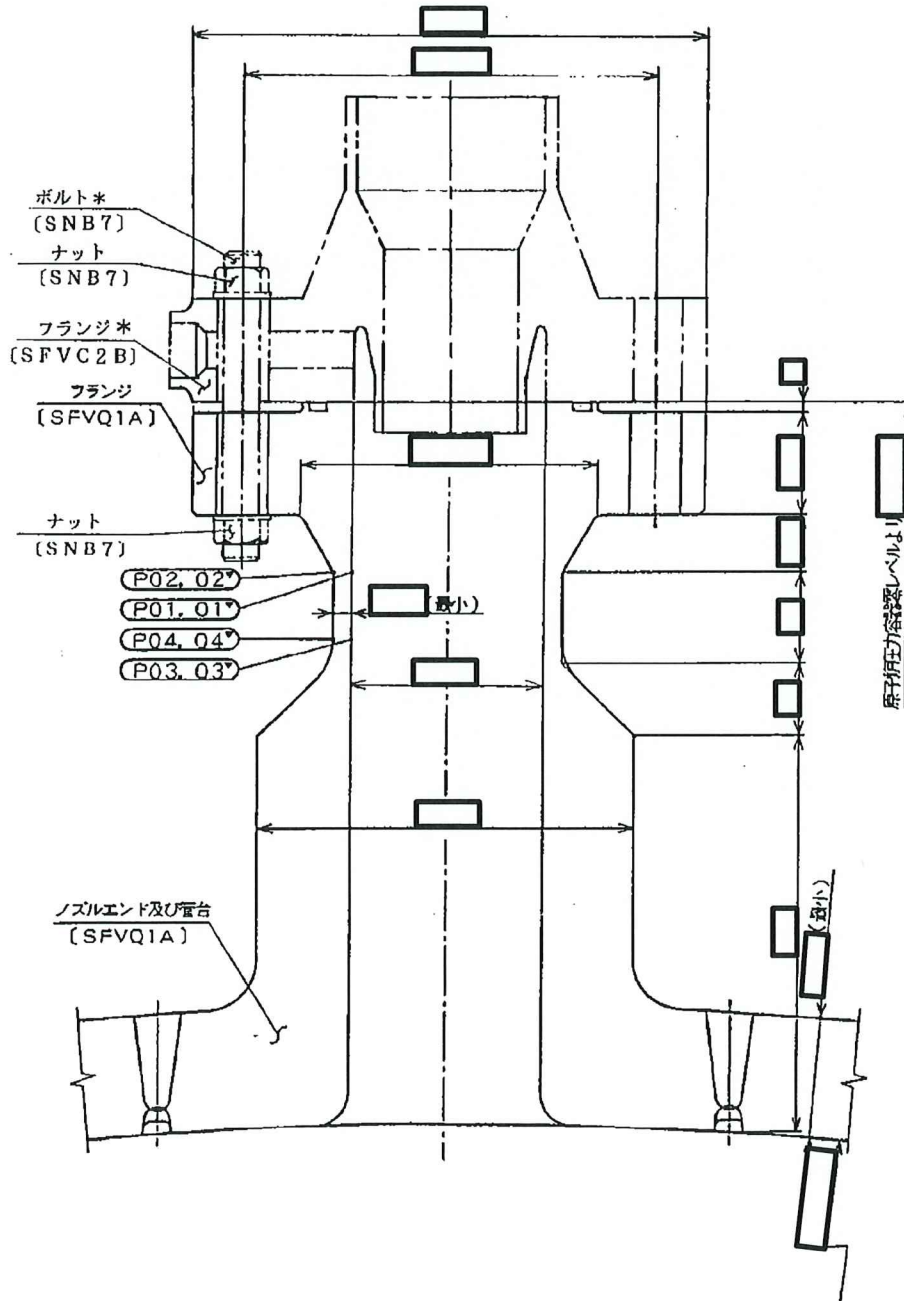
図3-7 低圧注水ノズル (N6) の概要図及び諸元



上蓋スプレイ・ベントノズル (N7)

○ : 応力評価点

[ ] : 材 料

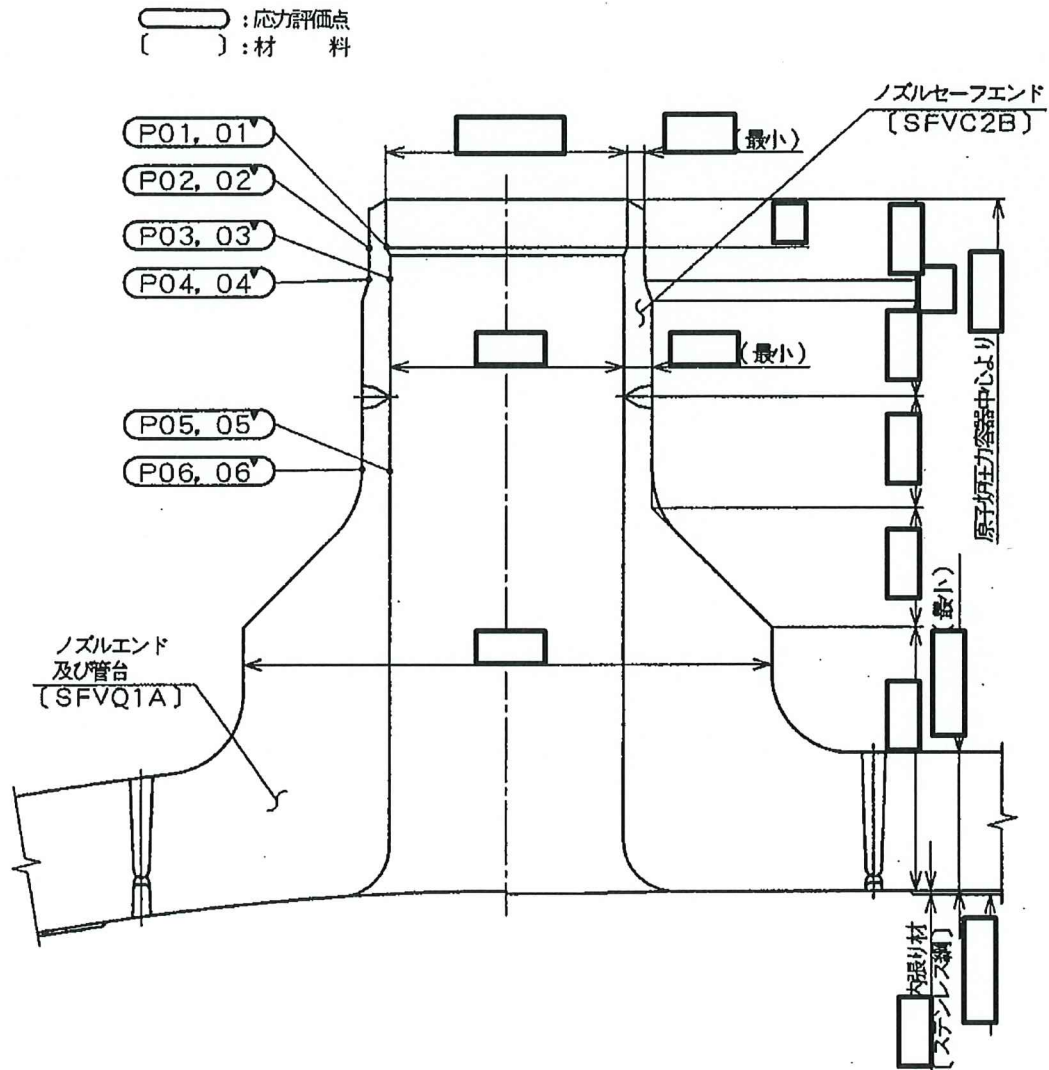


応力評価点	形状係数*	内径 $d_i$ (mm)	外径 $d_o$ (mm)	備考
P01-P02				
P03-P04				

注記\* : 形状係数は小数点以下第3位を切り捨て、小数点以下第2位までの値とする。

図 3-8 上蓋スプレイ・ベントノズル (N7) の概要図及び諸元

原子炉停止時冷却材出口ノズル (N8)

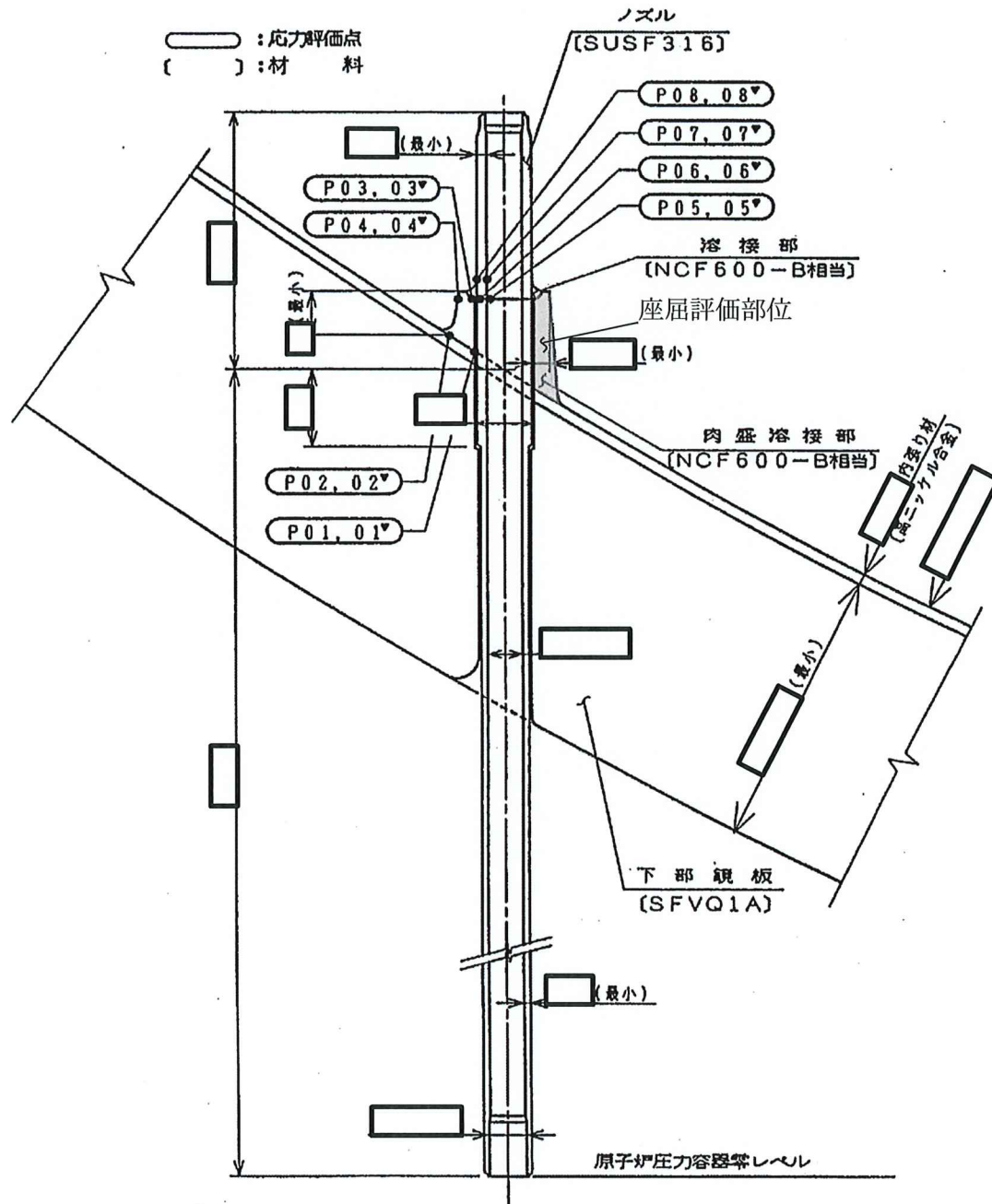


応力評価点	形状係数*	内径 $d_i$ (mm)	外径 $d_o$ (mm)	備考
P01-P02				
P03-P04				
P05-P06				

注記\* : 形状係数は小数点以下第3位を切り捨て、小数点以下第2位までの値とする。

図3-9 原子炉停止時冷却材出口ノズル (N8) の概要図及び諸元

原子炉冷却材再循環ポンプ差圧検出ノズル (N9)



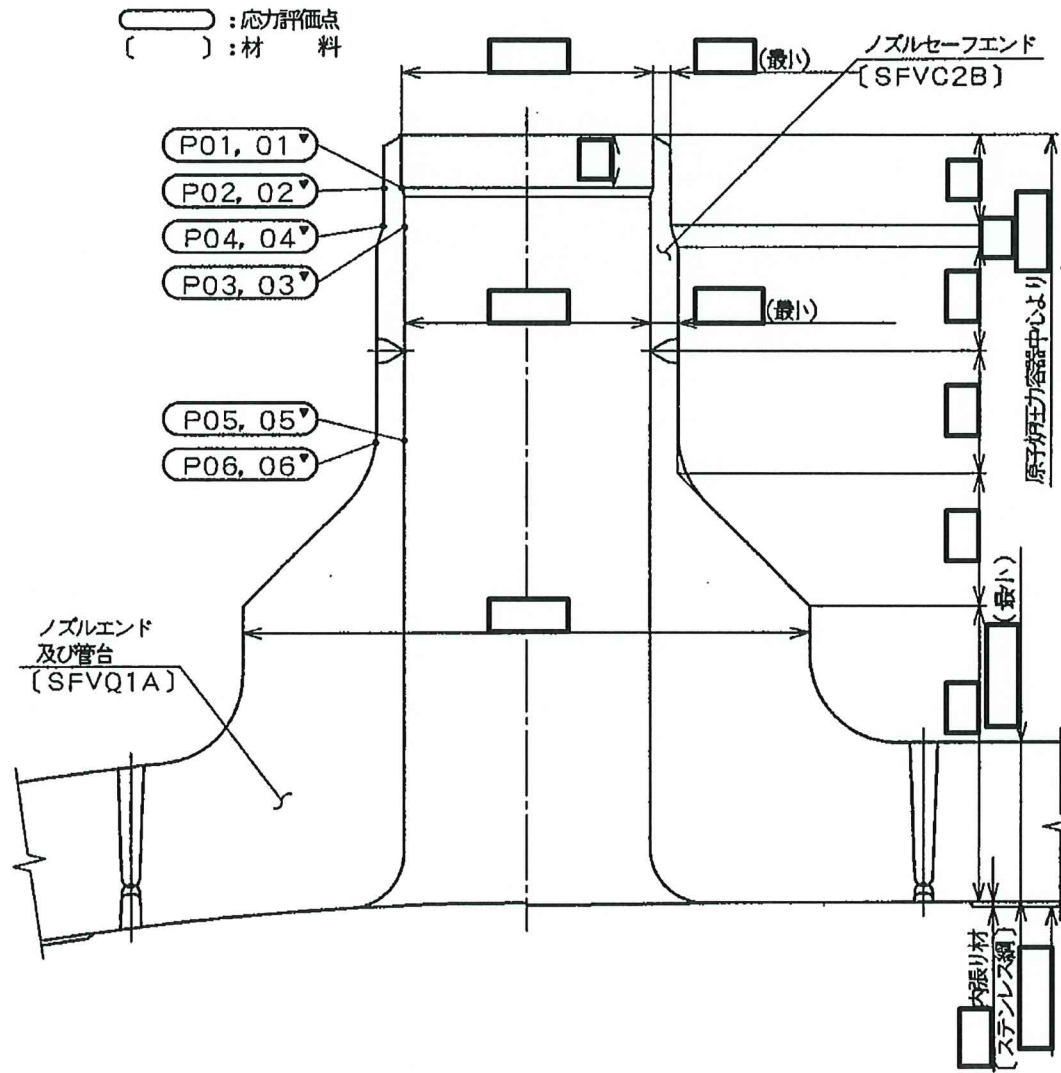
応力評価点	形状係数*1	内径 $d_i$ (mm)	外径 $d_o$ (mm)	備考
P01-P02				
P03-P04				
P05-P06				
P07-P08				

注記\*1 : 形状係数は小数点以下第3位を切り捨て、小数点以下第2位までの値とする。

\*2 : 全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比が1.5を上回るため1.5を用いる。

図3-10 原子炉冷却材再循環ポンプ差圧検出ノズル (N9) の概要図及び諸元

原子炉停止時冷却材出口ノズル (N10)

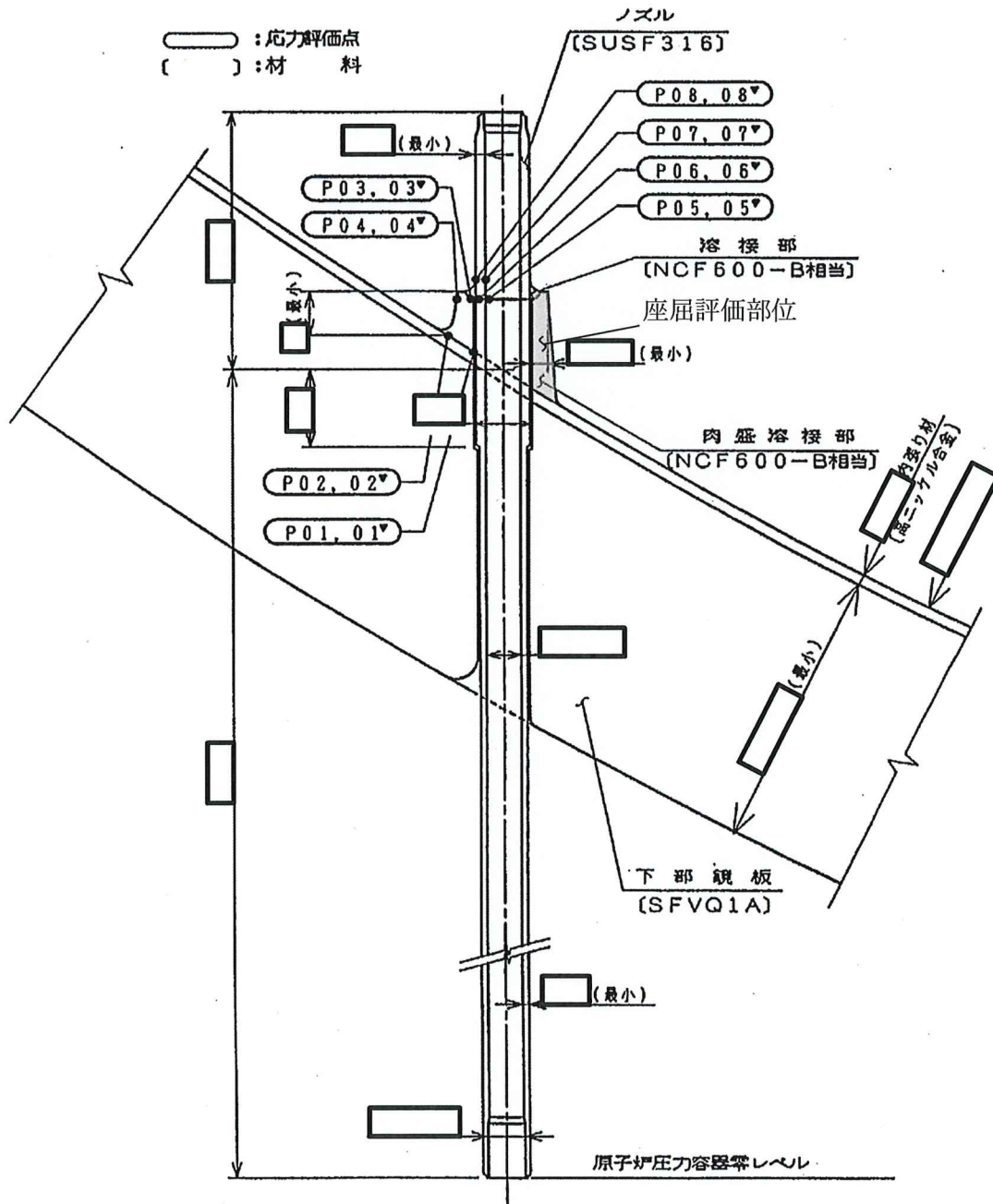


応力評価点	形状係数*	内径 $d_i$ (mm)	外径 $d_o$ (mm)	備考
P01-P02				
P03-P04				
P05-P06				

注記\*：形状係数は小数点以下第3位を切り捨て、小数点以下第2位までの値とする。

図3-11 原子炉停止時冷却材出口ノズル (N10) の概要図及び諸元

炉心支持板差圧検出ノズル (N11)



応力評価点	形状係数*1	内径 $d_i$ (mm)	外径 $d_o$ (mm)	備考
P01-P02				
P03-P04				
P05-P06				
P07-P08				

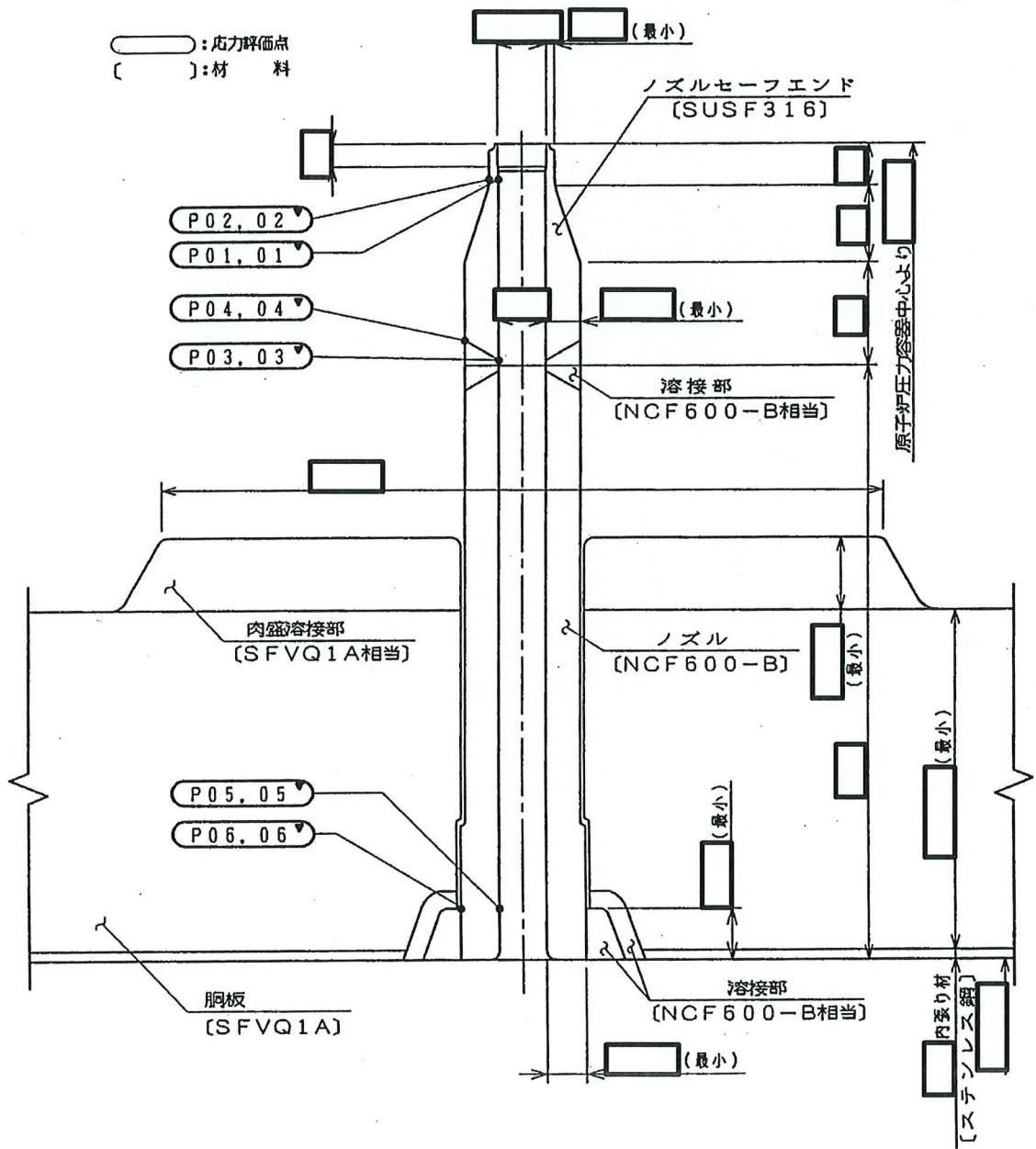
注記\*1 : 形状係数は小数点以下第3位を切り捨て、小数点以下第2位までの値とする。

\*2 : 全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比が1.5を上回るため1.5を用いる。

図3-12 炉心支持板差圧検出ノズル (N11) の概要図及び諸元



計装ノズル (N12)



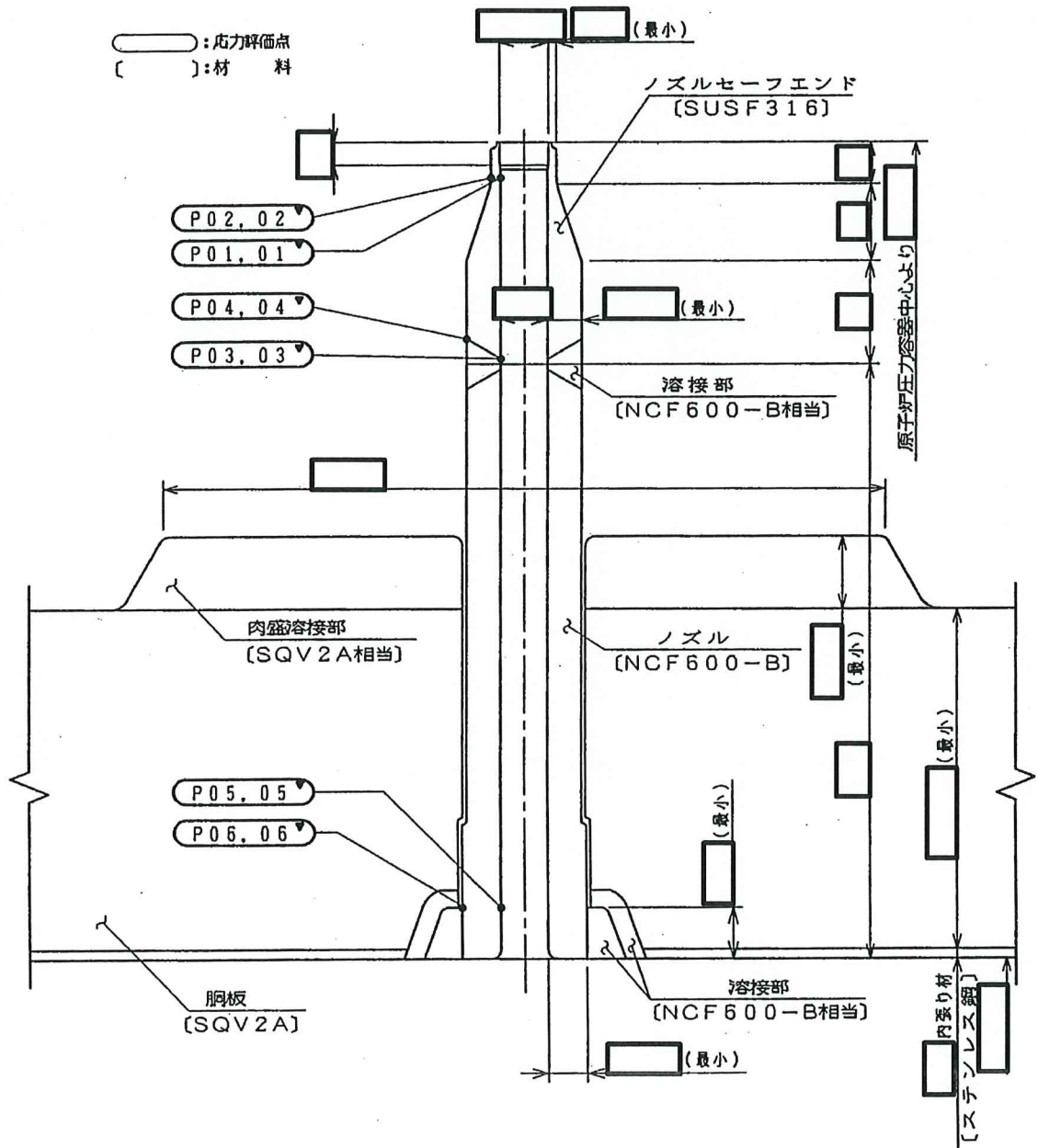
応力評価点	形状係数*1	内径 $d_i$ (mm)	外径 $d_o$ (mm)	備考
P01-P02				
P03-P04				
P05-P06				

注記\*1 : 形状係数は小数点以下第3位を切り捨て、小数点以下第2位までの値とする。

\*2 : 全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比が1.5を上回るため1.5を用いる。

図3-13 計装ノズル (N12) の概要図及び諸元

計装ノズル (N13)



応力評価点	形状係数*1	内径 $d_i$ (mm)	外径 $d_o$ (mm)	備考
P01-P02				
P03-P04				
P05-P06				

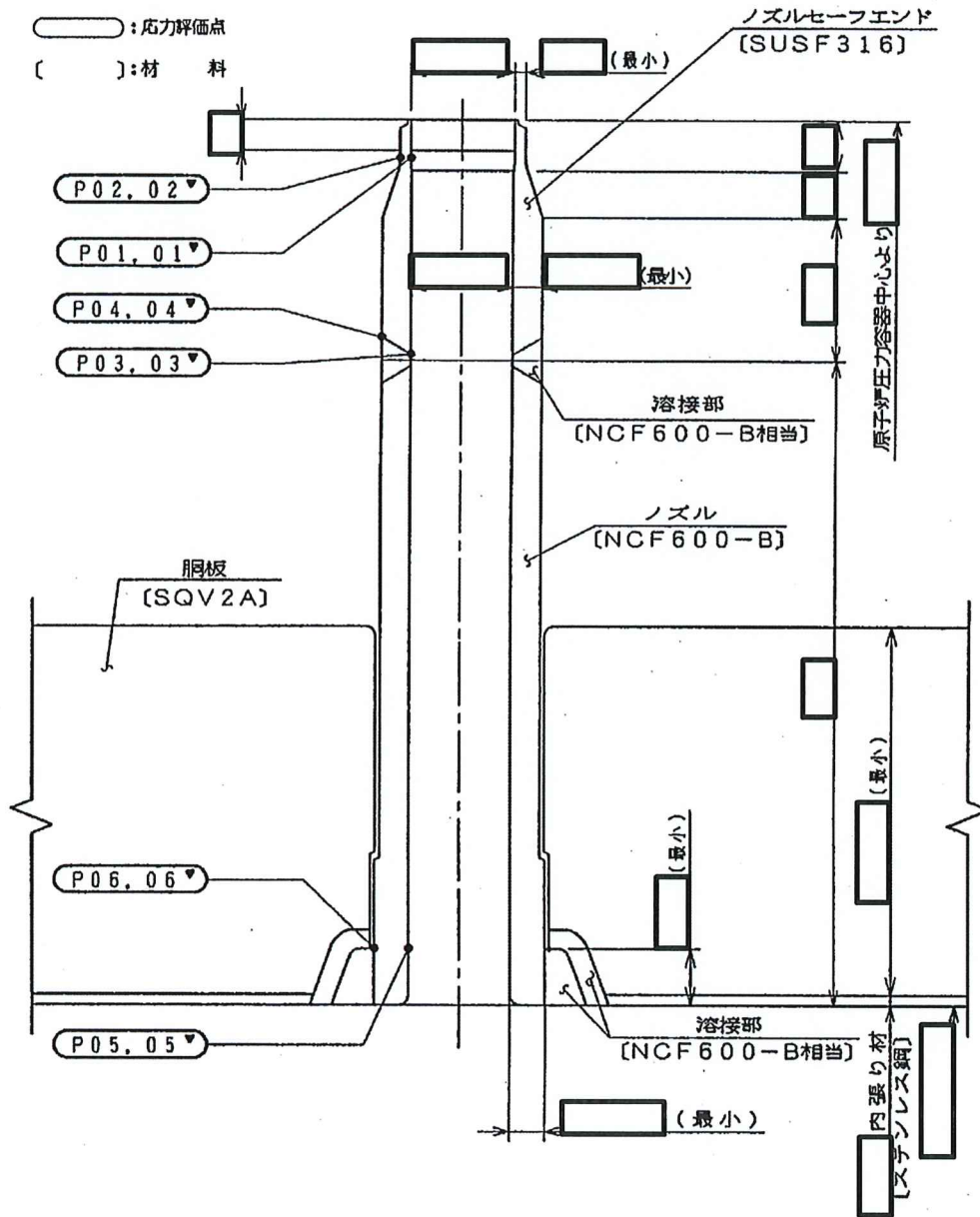
注記\*1 : 形状係数は小数点以下第3位を切り捨て、小数点以下第2位までの値とする。

\*2 : 全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比が1.5を上回るため1.5を用いる。

図3-14 計装ノズル (N13) の概要図及び諸元



計装ノズル (N14)



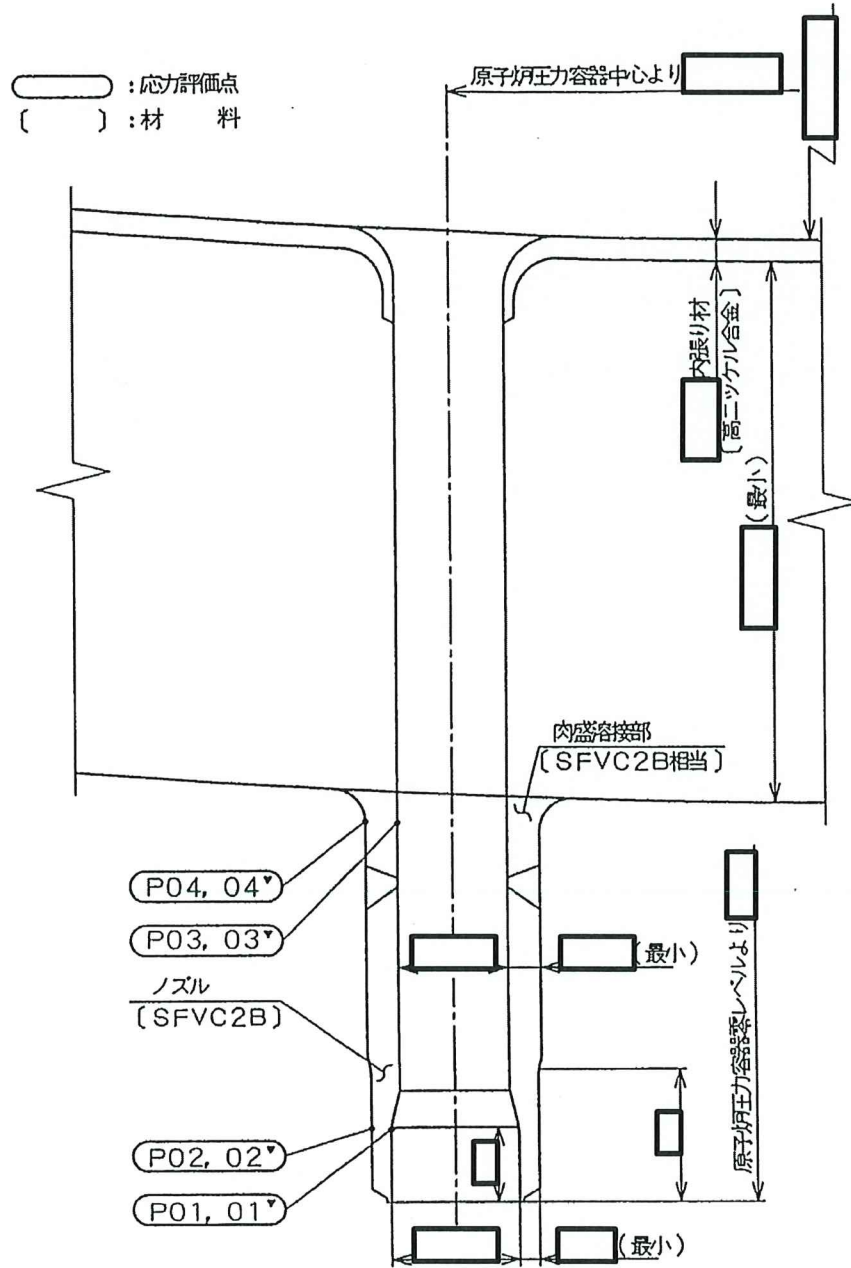
応力評価点	形状係数*1	内径 $d_i$ (mm)	外径 $d_o$ (mm)	備考
P01-P02				
P03-P04				
P05-P06				

注記\*1 : 形状係数は小数点以下第3位を切り捨て、小数点以下第2位までの値とする。

\*2 : 全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比が1.5を上回るため1.5を用いる。

図3-15 計装ノズル (N14) の概要図及び諸元

ドレンノズル (N15)

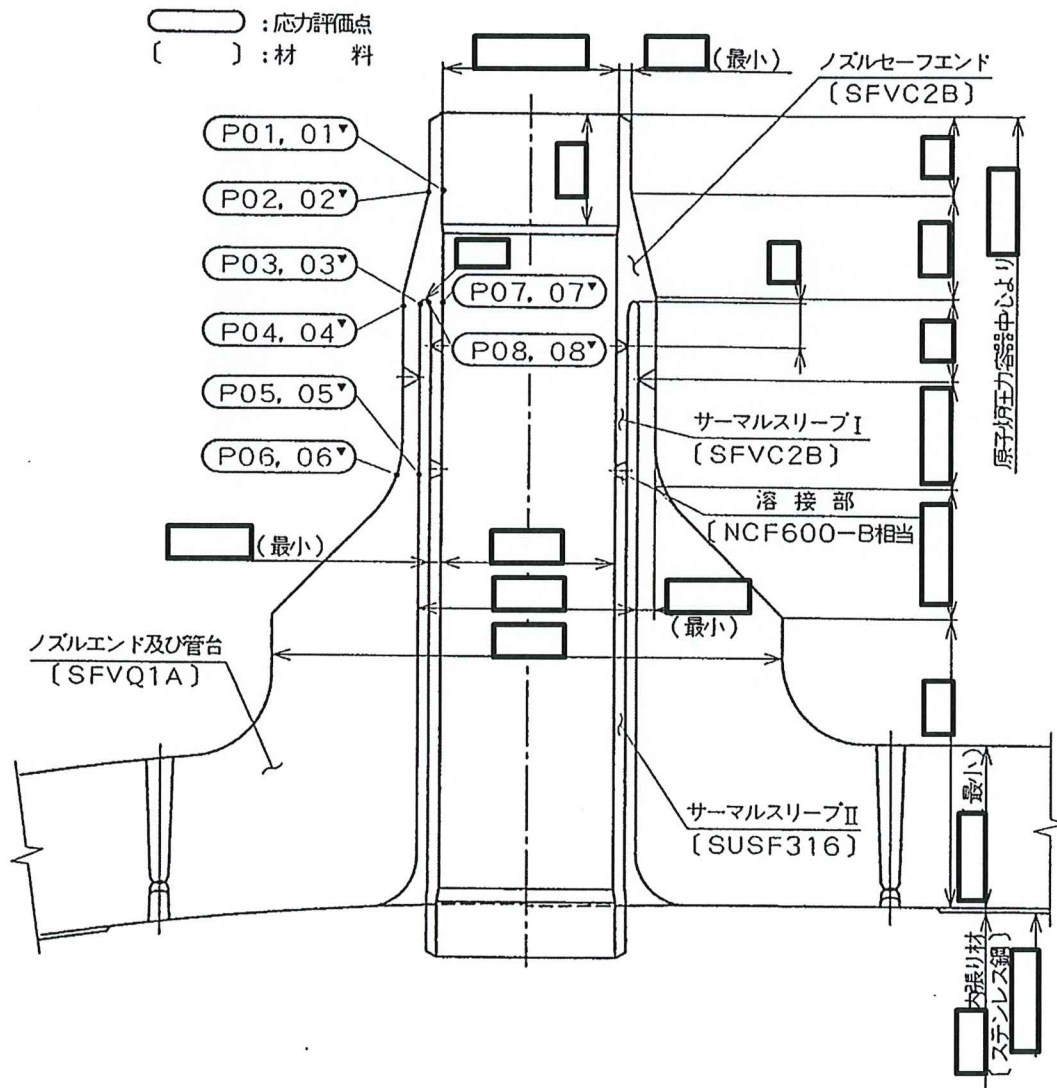


応力評価点	形状係数*	内径 $d_i$ (mm)	外径 $d_o$ (mm)	備考
P01-P02				
P03-P04				

注記\*：形状係数は小数点以下第3位を切り捨て、小数点以下第2位までの値とする。

図3-16 ドレンノズル (N15) の概要図及び諸元

高圧炉心注水ノズル (N16)

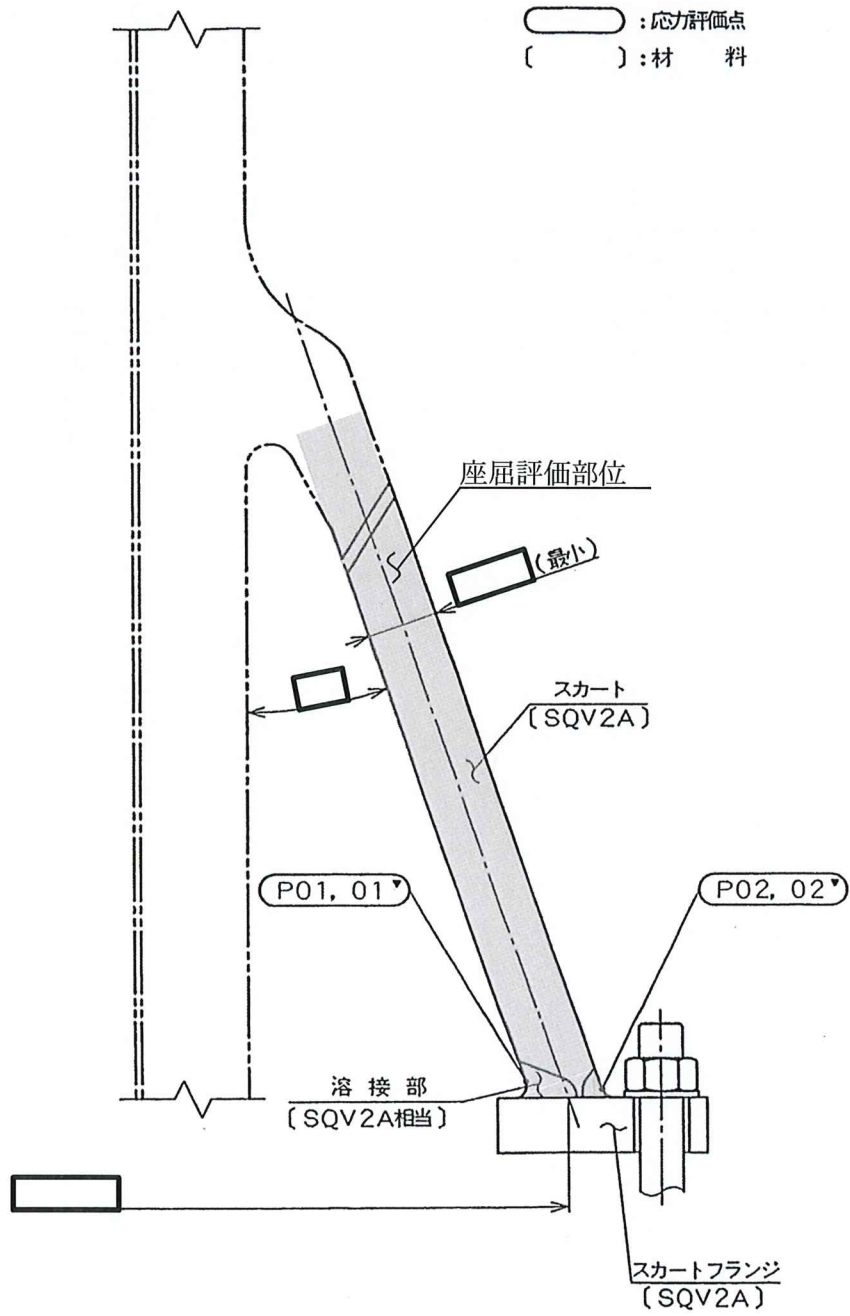


応力評価点	形状係数*	内径 $d_i$ (mm)	外径 $d_o$ (mm)	備考
P01-P02				
P03-P04				
P05-P06				
P07-P08				

注記\* : 形状係数は小数点以下第3位を切り捨て、小数点以下第2位までの値とする。

図3-17 高圧炉心注水ノズル (N16) の概要図及び諸元

原子炉压力容器スカート



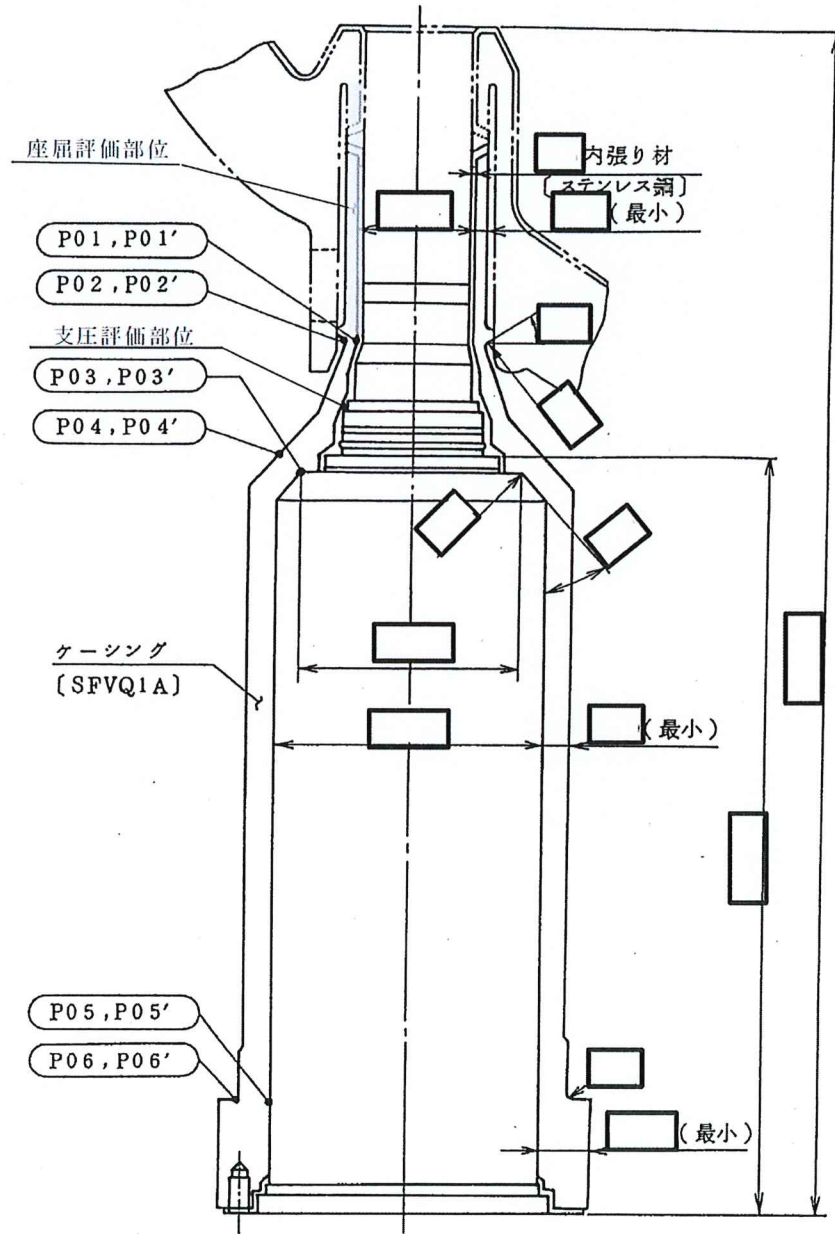
応力評価点	形状係数*	内径 $d_i$ (mm)	外径 $d_o$ (mm)	備考
P01-P02				

注記\*：形状係数は小数点以下第3位を切り捨て、小数点以下第2位までの値とする。

図3-18 原子炉压力容器スカートの概要図及び諸元

原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシング

○ : 応力評価点  
 [ ] : 材 料



応力評価点	形状係数*	内径 $d_i$ (mm)	外径 $d_o$ (mm)	備考
P01-P02				
P03-P04				
P05-P06				

注記\* : 形状係数は小数点以下第3位を切り捨て、小数点以下第2位までの値とする。

図 3-19 原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシングの概要図及び諸元