

| | |
|-------------------|-----------------|
| 島根原子力発電所第2号機 審査資料 | |
| 資料番号 | NS2-補-027-10-69 |
| 提出年月日 | 2022年6月21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

2022年6月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

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（ α ）（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

添付書類VI-2-3-3-1-2「原子炉圧力容器の耐震性についての計算書」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 項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、上ぶたスプレイノズル (N7) の応力評価面 、計測及びベントノズル (N8) 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 原子炉圧力容器の耐震計算における形状係数適用部位 (1/3)

| 適用部位 | 応力評価面 | 形状係数 | 備考 |
|------------------|---|------|----|
| 円筒胴 | P01-P02, P03-P04, P05-P06, P07-P08, P09-P10 | | |
| 下鏡 | P01-P02, P03-P04, P05-P06, P07-P08, P09-P10, P11-P12, P13-P14 | | |
| | P15-P16 | | |
| 制御棒貫通孔 | P01-P02, P03-P04 | | |
| | P05-P06, P07-P08 | | |
| 原子炉中性子計装孔 | P01-P02, P03-P04 | | |
| 再循環水出口ノズル (N1) | P01-P02, P03-P04 | | |
| | P05-P06, P07-P08, P09-P10 | | |
| | P11-P12 | | |
| 再循環水入口ノズル (N2) | P01-P02, P03-P04 | | |
| | P05-P06, P07-P08, P09-P10, P11-P12 | | |
| | P13-P14 | | |
| | P15-P16 | | |
| | P17-P18 | | |
| 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, P15-P16 | | |
| | P09-P10 | | |
| | P11-P12, P13-P14 | | |
| | P17-P18, P19-P20, P21-P22 | | |
| 低圧炉心スプレイノズル (N5) | P01-P02 | | |
| | P03-P04 | | |
| | P05-P06 | | |
| | P07-P08 | | |
| | P09-P10, P11-P12 | | |
| | P13-P14, P15-P16, P17-P18 | | |

注記* : 応力評価面 P01-P02, P03-P04, P05-P06, P07-P08, P09-P10, P11-P12 の α は
保守的に P13-P14 の値を適用する。

表 3-1 原子炉圧力容器の耐震計算における形状係数適用部位 (2/3)

| 適用部位 | 応力評価面 | 形状係数 | 備考 |
|-------------------------|---|------|----|
| 低圧注水ノズル (N6) | P01-P02 | | |
| | P03-P04, P05-P06, P11-P12 | | |
| | P07-P08 | | |
| | P09-P10 | | |
| | P13-P14 | | |
| | P15-P16, P17-P18 | | |
| 上ぶたスプレイノズル (N7) | P01-P02, P03-P04 | | |
| | P05-P06 | | |
| 計測及びベントノズル (N8) | P01-P02, P03-P04 | | |
| | P05-P06 | | |
| ジェットポンプ計測ノズル (N9) | P01-P02, P03-P04 | | |
| | P05-P06, P07-P08, P09-P10 | | |
| ほう酸水注入及び炉心差圧計測ノズル (N11) | P01-P02, P03-P04, P05-P06, P07-P08, P09-P10 | | |
| | P11-P12, P13-P14, P15-P16 | | |
| | P17-P18 | | |
| 計測ノズル (N12 及び N13) | P01-P02, P03-P04, P05-P06, P07-P08, P09-P10, P11-P12, P13-P14 | | |
| 計測ノズル (N14) | P01-P02 | | |
| | P03-P04 | | |
| | P05-P06, P07-P08, P09-P10, P11-P12 | | |
| ドレンノズル (N15) | P01-P02 | | |
| | P03-P04 | | |
| | P05-P06 | | |
| | P07-P08 | | |
| 高圧炉心スプレイノズル (N16) | P01-P02 | | |
| | P03-P04 | | |
| | P05-P06 | | |
| | P07-P08 | | |
| | P09-P10, P11-P12 | | |
| | P13-P14, P15-P16, P17-P18 | | |

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 原子炉圧力容器の耐震計算における形状係数適用部位 (3/3)

| 適用部位 | 応力評価面 | 形状係数 | 備考 |
|---|---------|------|----|
| 原子炉圧力容器支持スカート | P01-P02 | | |
| ブラケット類 (スタビライザブラケット, 蒸気乾燥器支持ブラケット, 給水スパージャブラケット, 炉心スプレイブラケット) | — | | |

注記* : 中実矩形断面の 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 項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 項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相当し、この場合の形状係数は 1.5 を用いてよいとされている。このため、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 (1/2)

| 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-2-9-2-1 | ドライウエルの耐震性についての計算書 | ドライウエル | P1~P8 | 1.5 |
| VI-2-9-2-2 | サプレッションチェンバの耐震性についての計算書 | サプレッションチェンバ | P1~P10 | 1.5 |
| VI-2-9-2-3 | ベント管の耐震性についての計算書 | ベント管 | P1~P5 | 1.5 |
| VI-2-9-2-5 | シヤラグの耐震性についての計算書 | シヤラグ取付部 | P15 | 1.5 |
| VI-2-9-2-6 | 機器搬入口の耐震性についての計算書 | 機器搬入口円筒胴 | P8 | 1.5 |
| | | 機器搬入口本体と補強板との結合部 | P9 | 1.5 |
| VI-2-9-2-7 | 逃がし安全弁搬出ハッチの耐震性についての計算書 | 逃がし安全弁搬出ハッチ円筒胴 | P6 | 1.5 |
| | | 逃がし安全弁搬出ハッチ本体と補強板との結合部 | P7 | 1.5 |
| VI-2-9-2-8 | 制御棒駆動機構搬出ハッチの耐震性についての計算書 | 制御棒駆動機構搬出ハッチ円筒胴 | P6 | 1.5 |
| | | 制御棒駆動機構搬出ハッチ本体と補強板との結合部 | P7 | 1.5 |
| VI-2-9-2-9 | サプレッションチェンバアクセスハッチの耐震性についての計算書 | 追而 | | |
| VI-2-9-2-10 | 所員用エアロックの耐震性についての計算書 | 所員用エアロック円筒胴 | P11 | 1.5 |
| | | 所員用エアロック本体と補強板との結合部 | P12 | 1.5 |

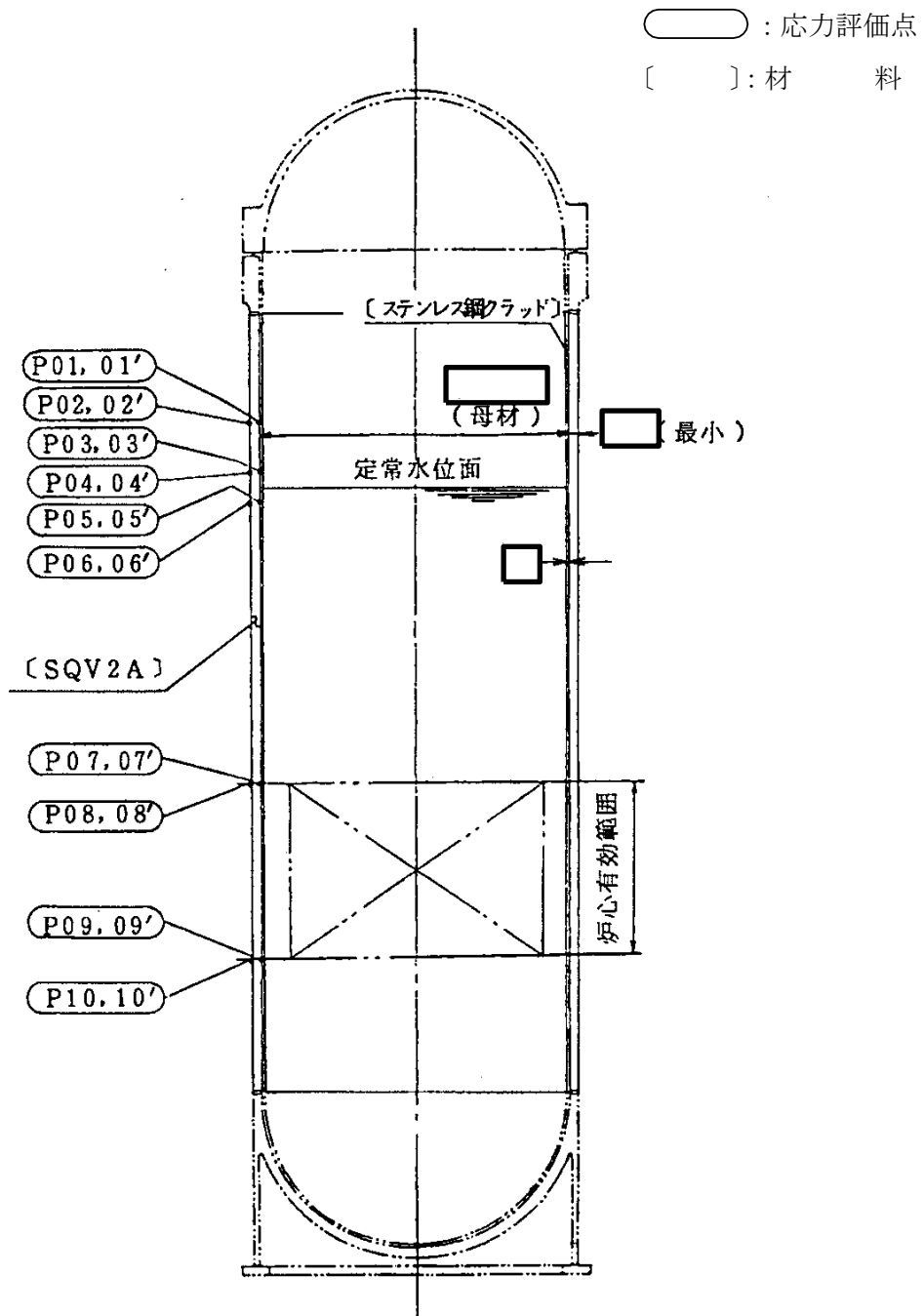
表 3-2 原子炉格納容器の耐震計算における形状係数適用部位 (2/2)

| 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-2-9-2-11 | 配管貫通部の耐震性についての計算書 | 追而 | | |
| VI-2-9-2-12 | 電気配線貫通部の耐震性についての計算書 | ドライウェルとスリーブとの結合部 | P1 | 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，上ぶたスプレイノズル（N7）の応力評価面 ，計測及びベントノズル（N8）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。

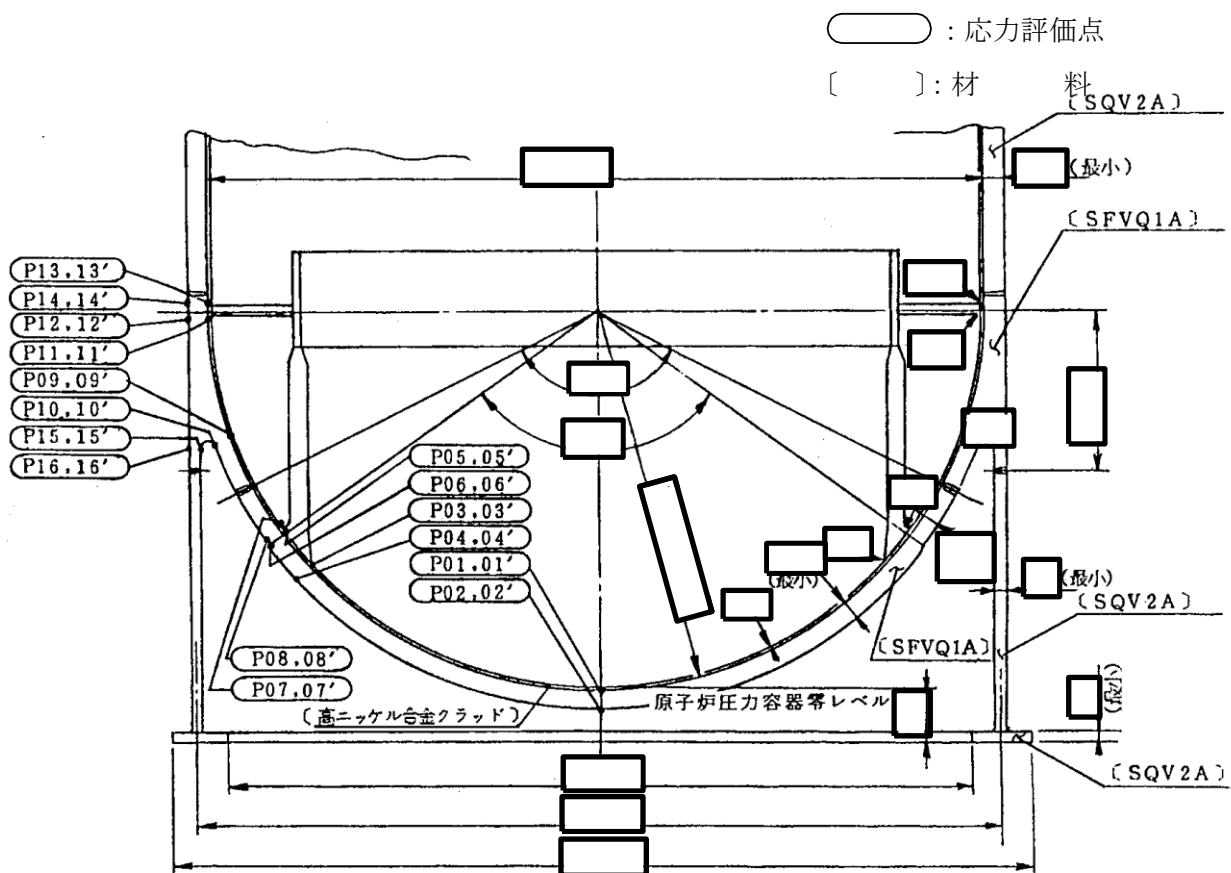
円筒胴



| 応力評価面 | 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 | | | | |

図 3-1 円筒胴の概要図及び諸元

下鏡

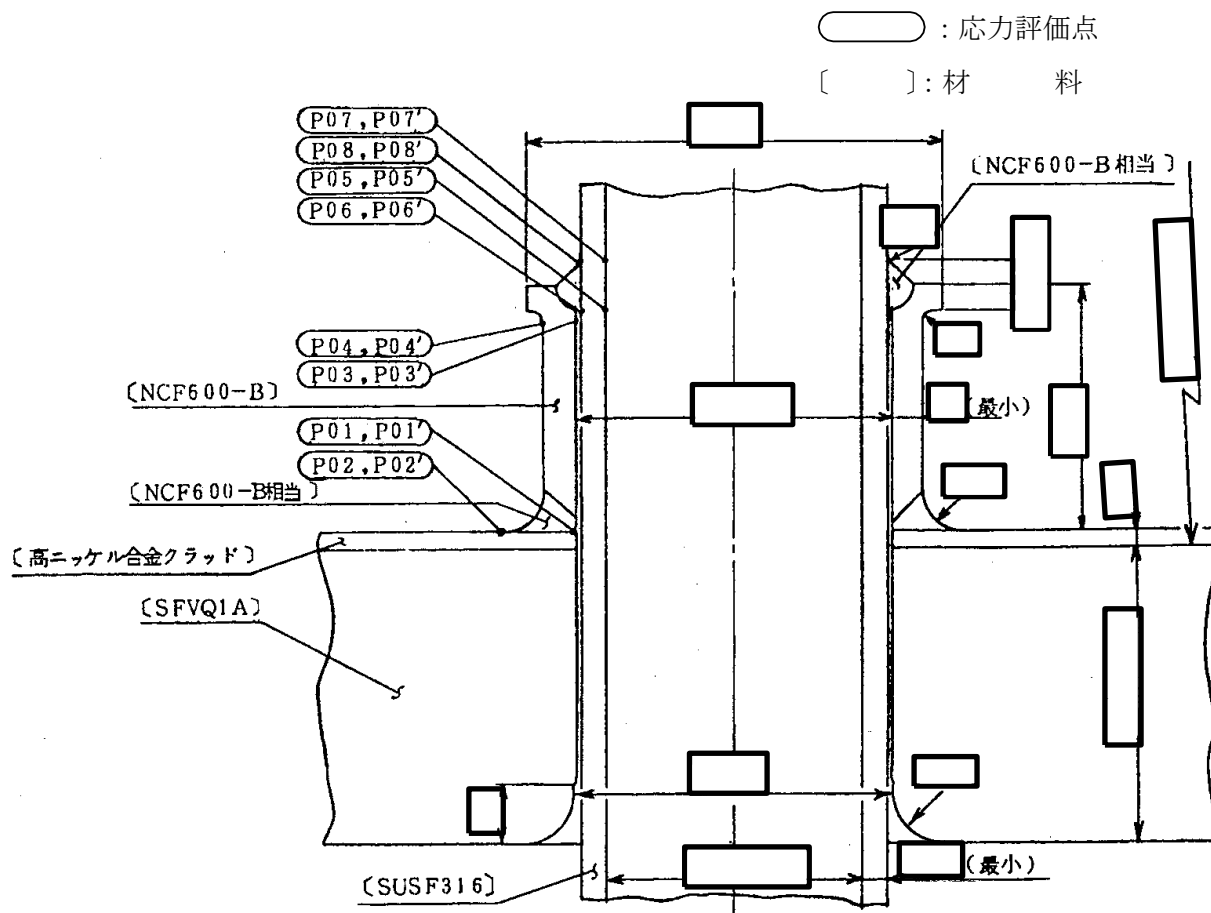


| 応力評価面 | 形状係数 | 内径 d_i (mm) | 外径 d_o (mm) | 備考 |
|---------|------|---------------|---------------|----|
| P01-P02 | | | | |
| P03-P04 | | | | |
| P05-P06 | | | | |
| P07-P08 | | | | |
| P09-P10 | | | | |
| P11-P12 | | | | |
| P13-P14 | | | | |
| P15-P16 | | | | |

注記* : 応力評価面 P01-P02, P03-P04, P05-P06, P07-P08, P09-P10, P11-P12 の α は保守的に P13-P14 の値を適用する。

図 3-2 下鏡の概要図及び諸元

制御棒貫通孔



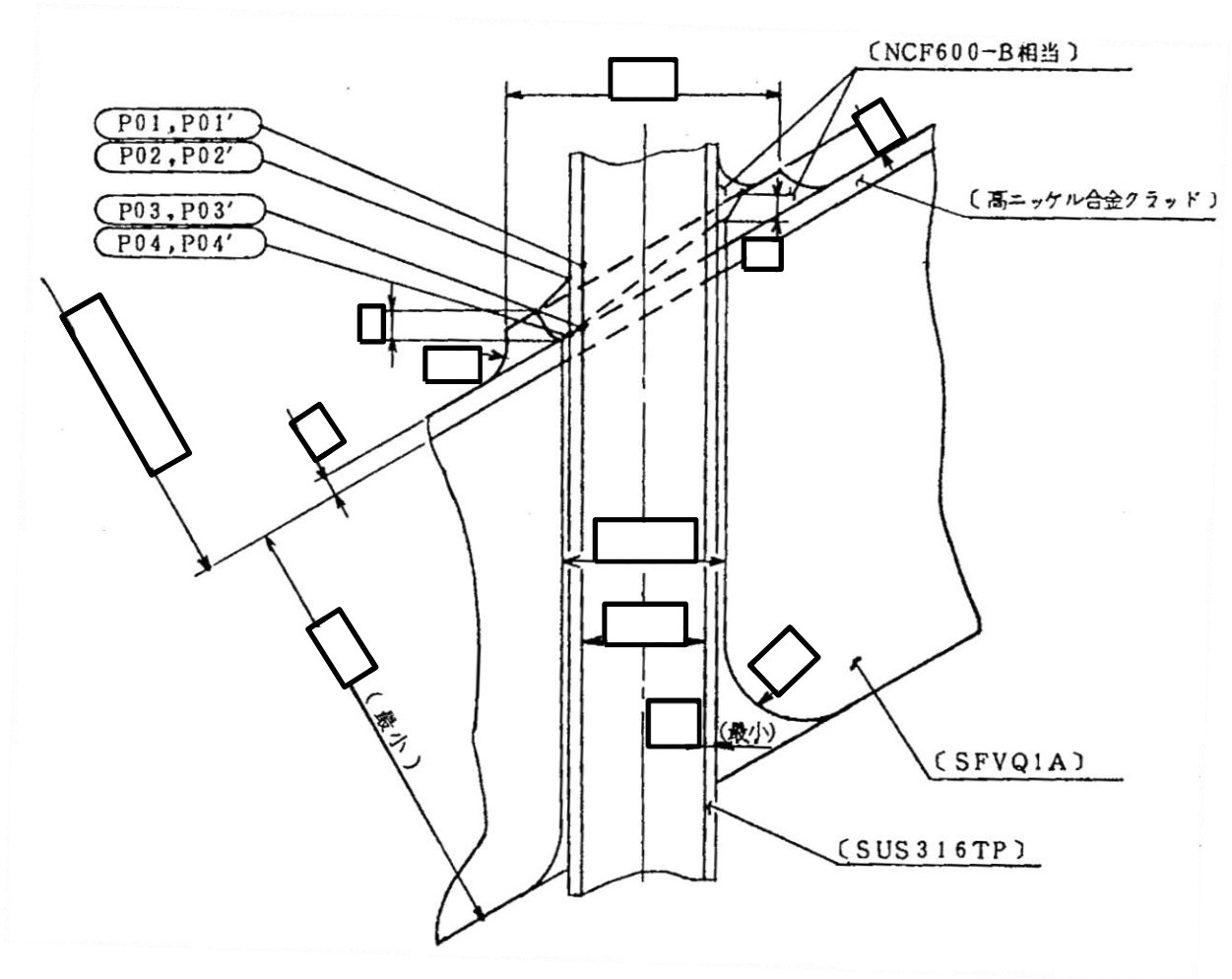
| 応力評価面 | 形状係数 | 内径 d_i (mm) | 外径 d_o (mm) | 備考 |
|---------|------|---------------|---------------|----|
| P01-P02 | | | | |
| P03-P04 | | | | |
| P05-P06 | | | | |
| P07-P08 | | | | |

図 3-3 制御棒貫通孔の概要図及び諸元

原子炉中性子計装孔

○ : 応力評価点

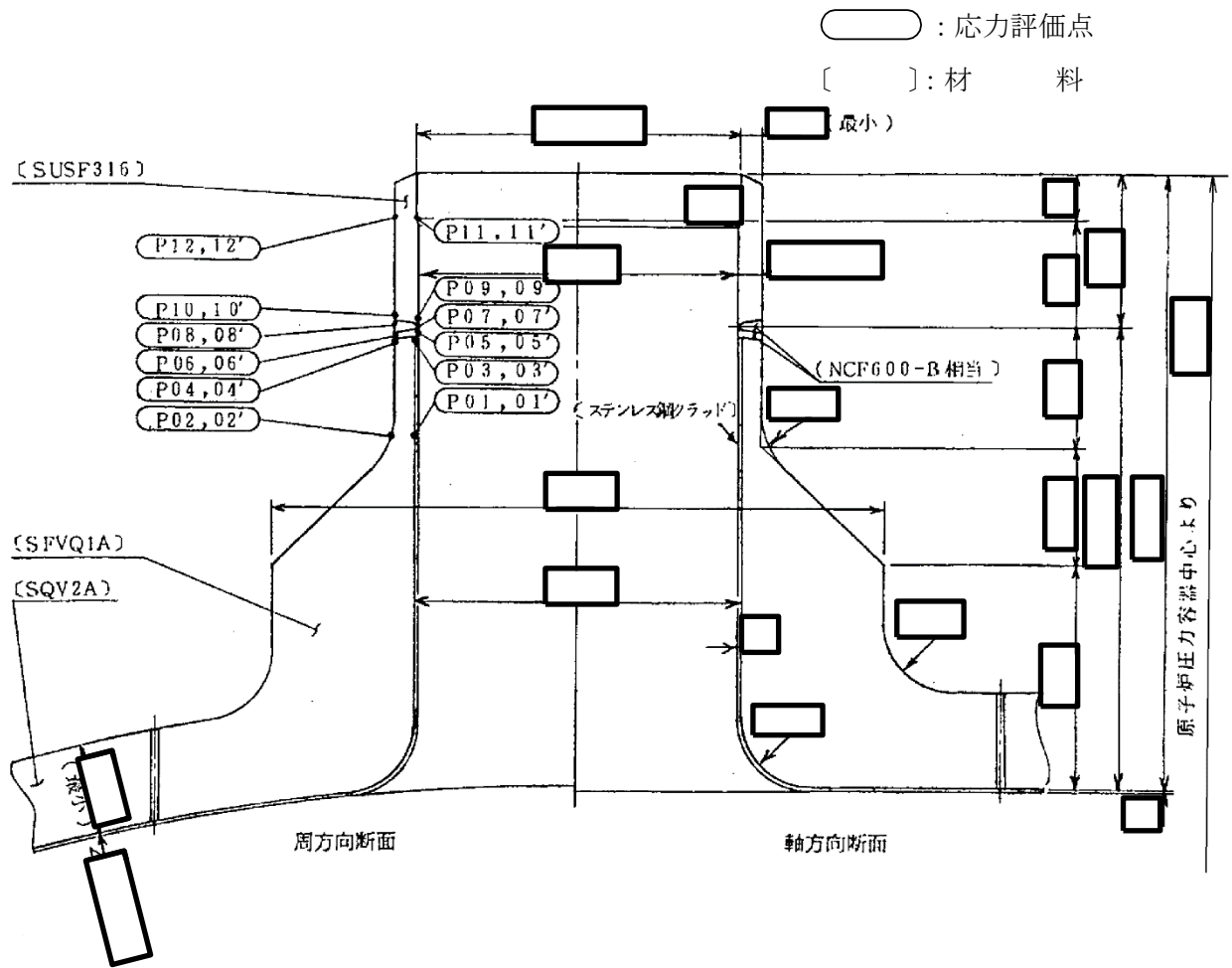
[] : 材 料



| 応力評価面 | 形状係数 | 内径 d_i (mm) | 外径 d_o (mm) | 備考 |
|---------|------|---------------|---------------|----|
| P01-P02 | | | | |
| P03-P04 | | | | |

図 3-4 原子炉中性子計装孔の概要図及び諸元

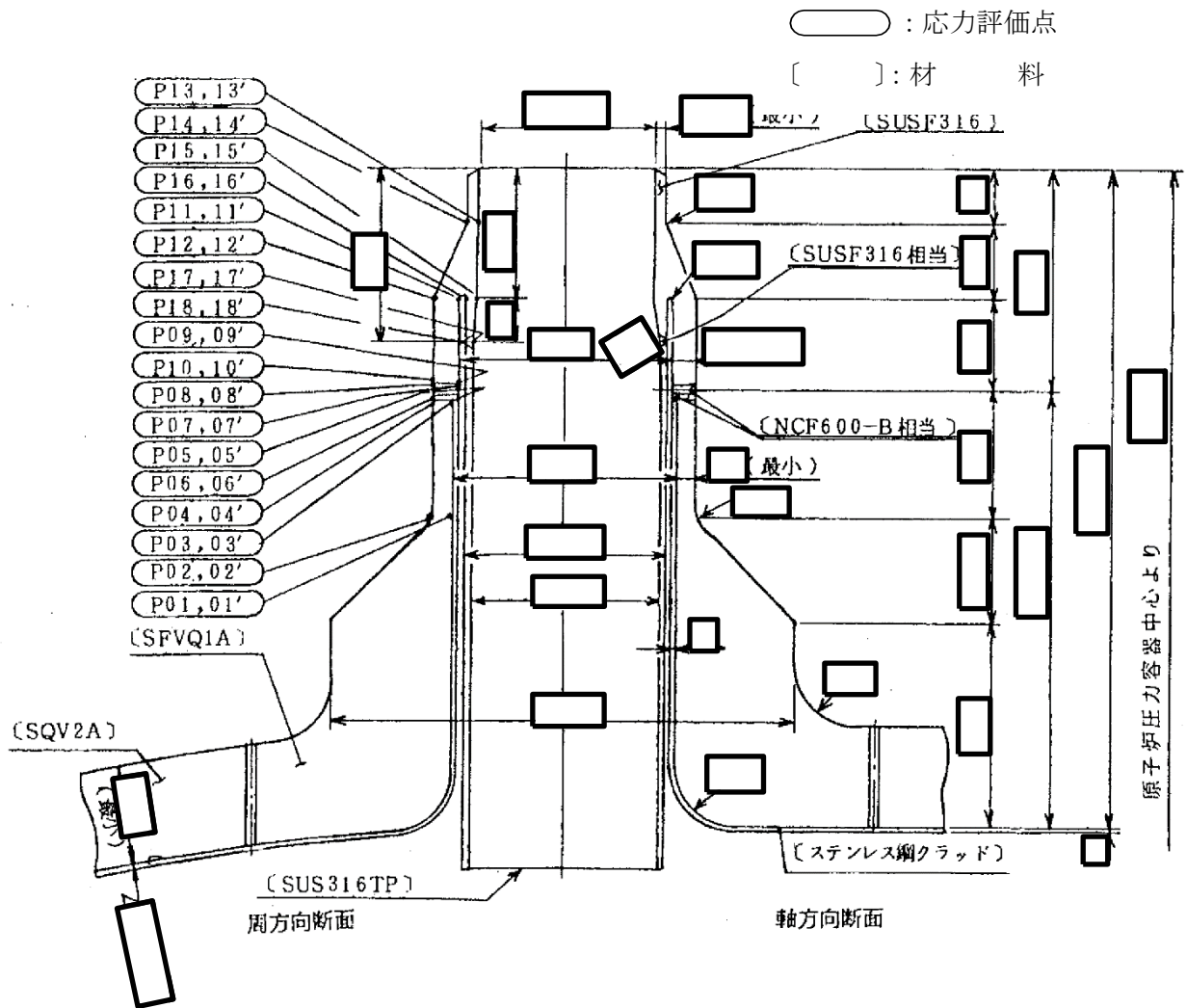
再循環水出口ノズル (N1)



| 応力評価面 | 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 | | | | |

図 3-5 再循環水出口ノズル (N1) の概要図及び諸元

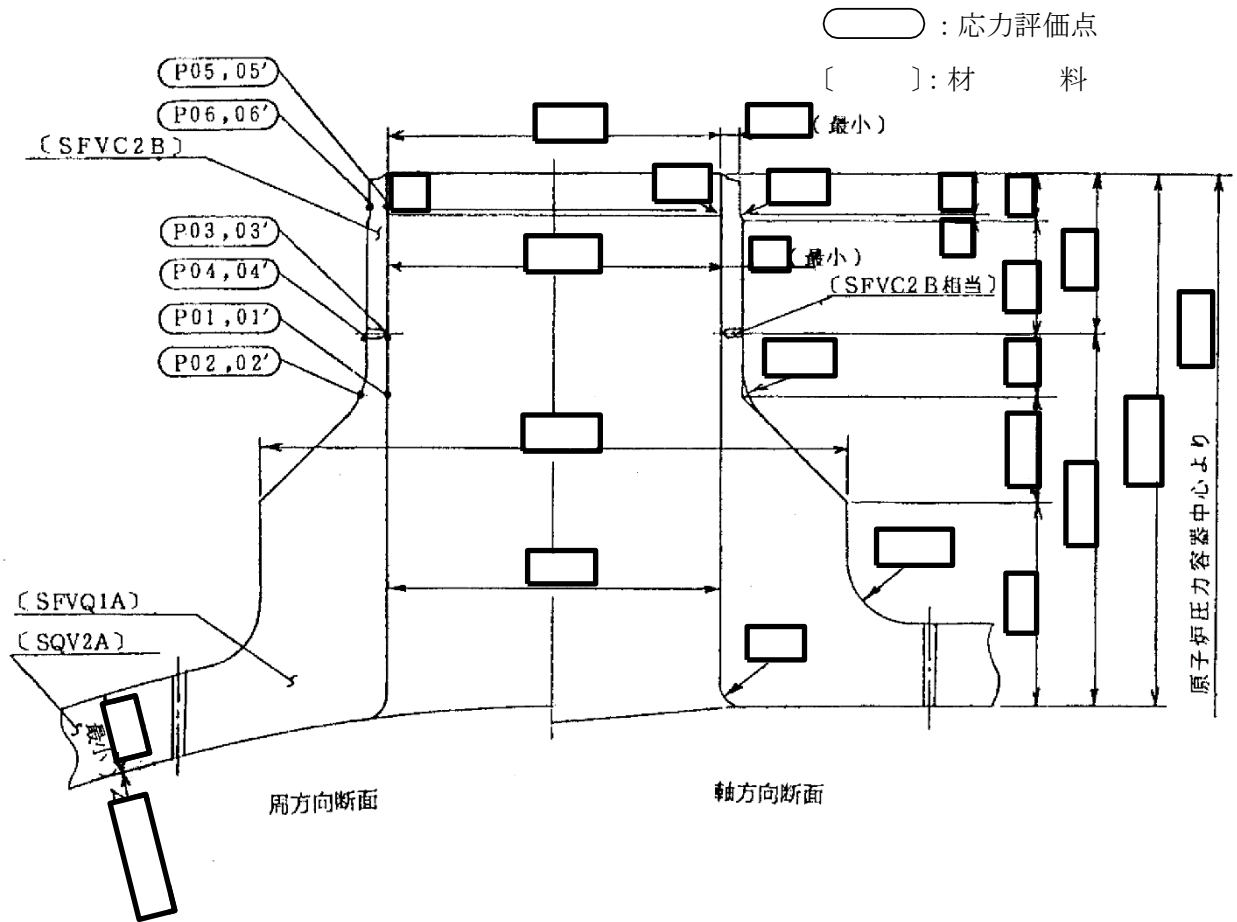
再循環水入口ノズル (N2)



| 応力評価面 | 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 | | | | |
| P13-P14 | | | | |
| P15-P16 | | | | |
| P17-P18 | | | | |

図 3-6 再循環水入口ノズル (N2) の概要図及び諸元

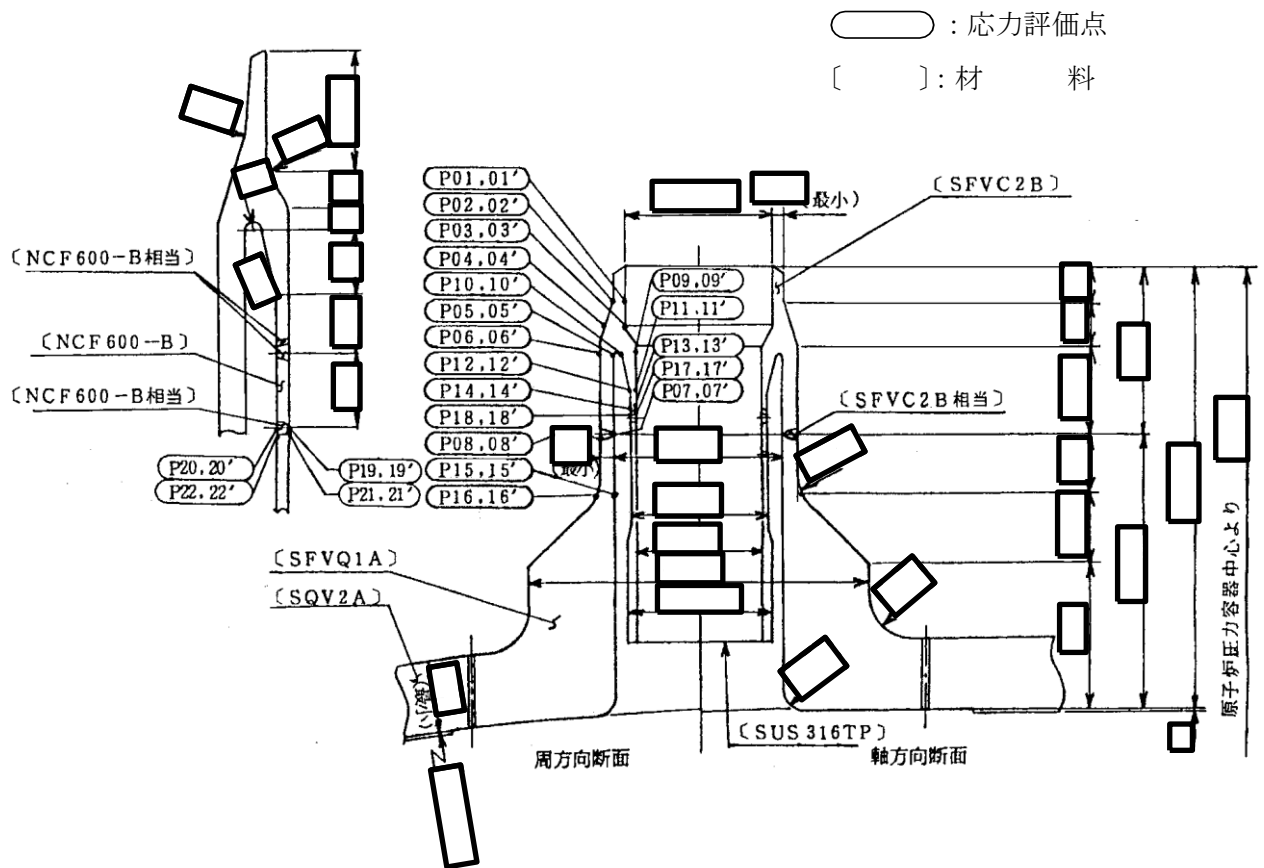
主蒸気ノズル (N3)



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

図 3-7 主蒸気ノズル (N3) の概要図及び諸元

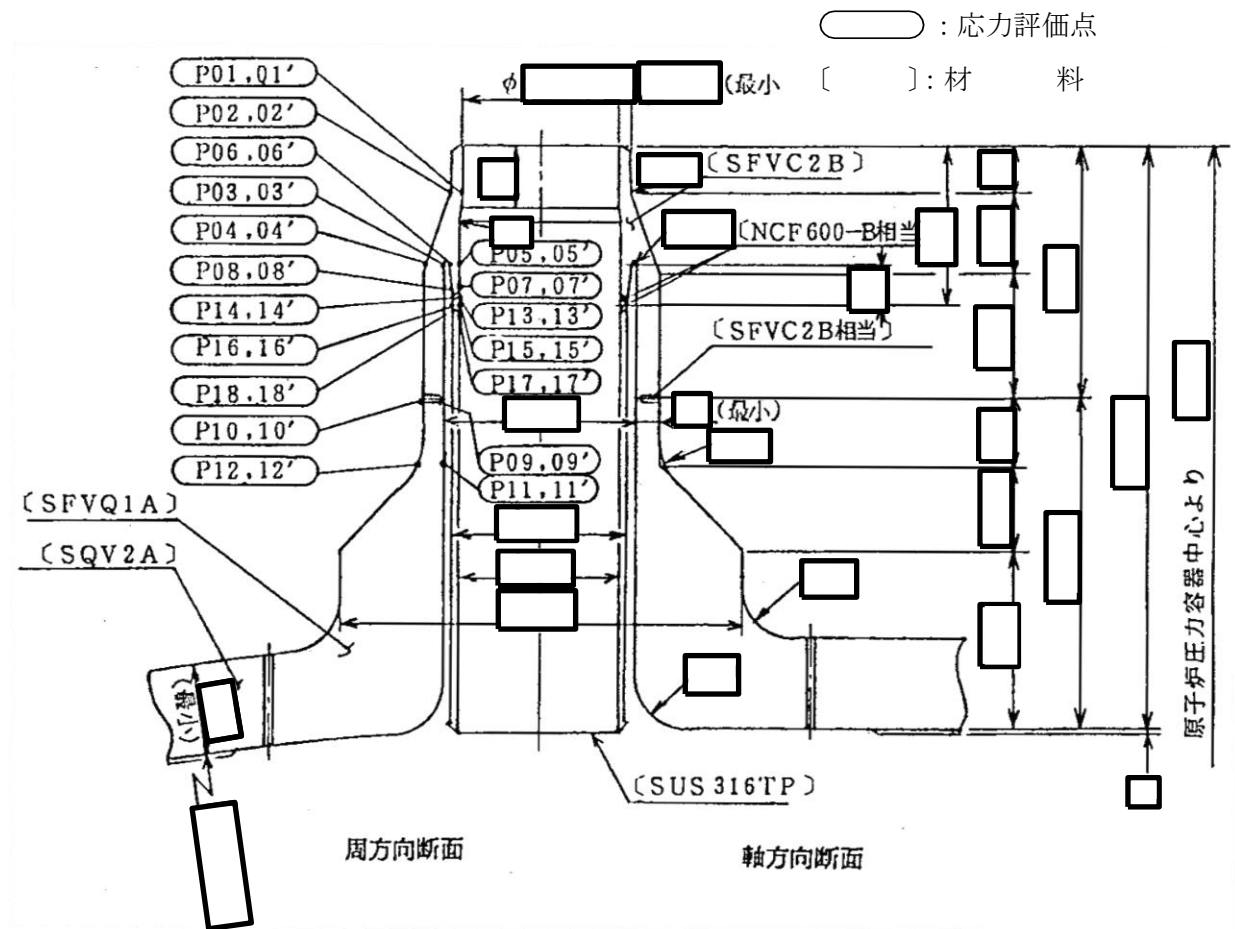
給水ノズル (N4)



| 応力評価面 | 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 | | | | |
| P13-P14 | | | | |
| P15-P16 | | | | |
| P17-P18 | | | | |
| P19-P20 | | | | |
| P21-P22 | | | | |

図 3-8 給水ノズル (N4) の概要図及び諸元

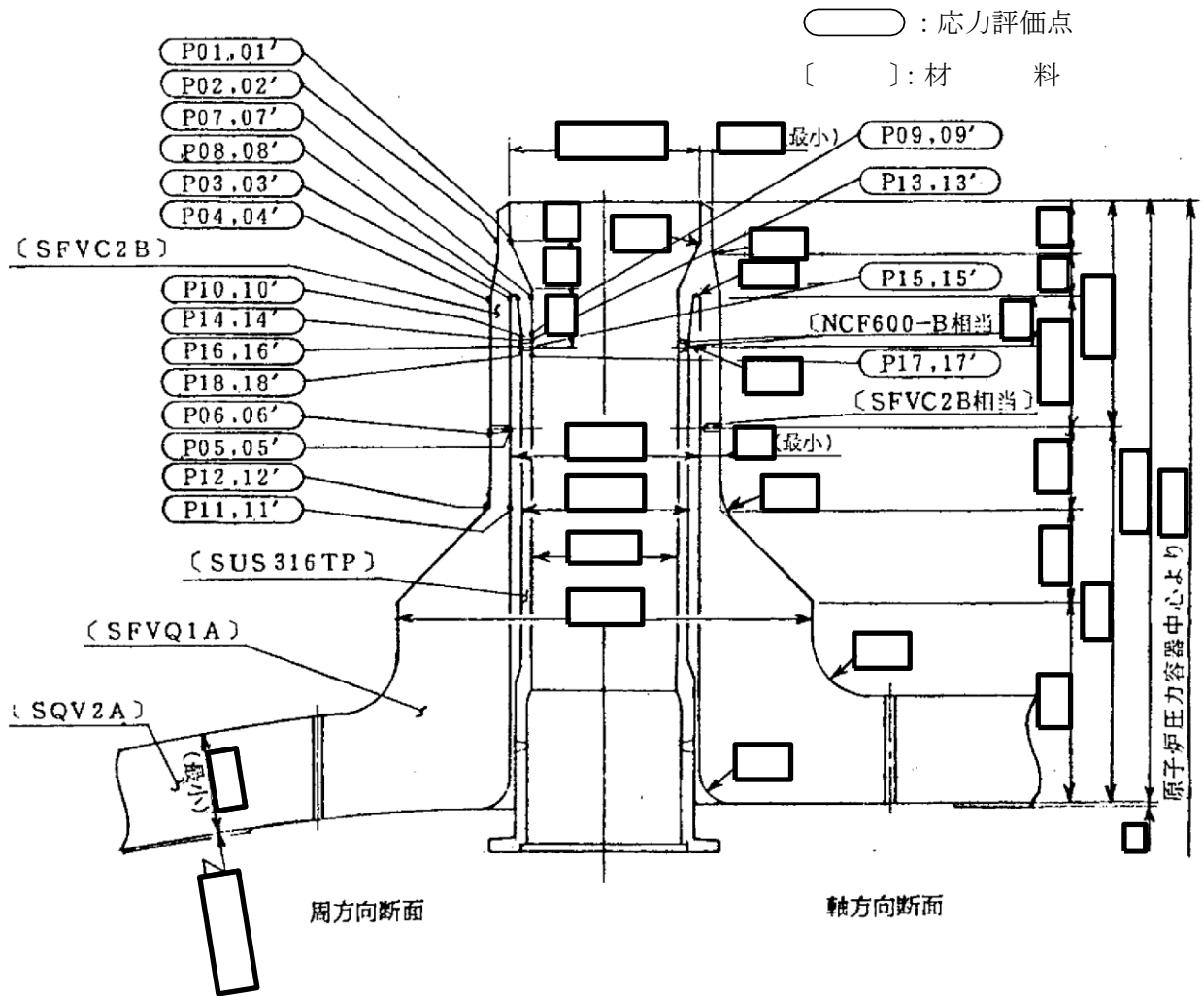
低圧炉心スプレイノズル (N5)



| 応力評価面 | 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 | | | | |
| P13-P14 | | | | |
| P15-P16 | | | | |
| P17-P18 | | | | |

図 3-9 低圧炉心スプレイノズル (N5) の概要図及び諸元

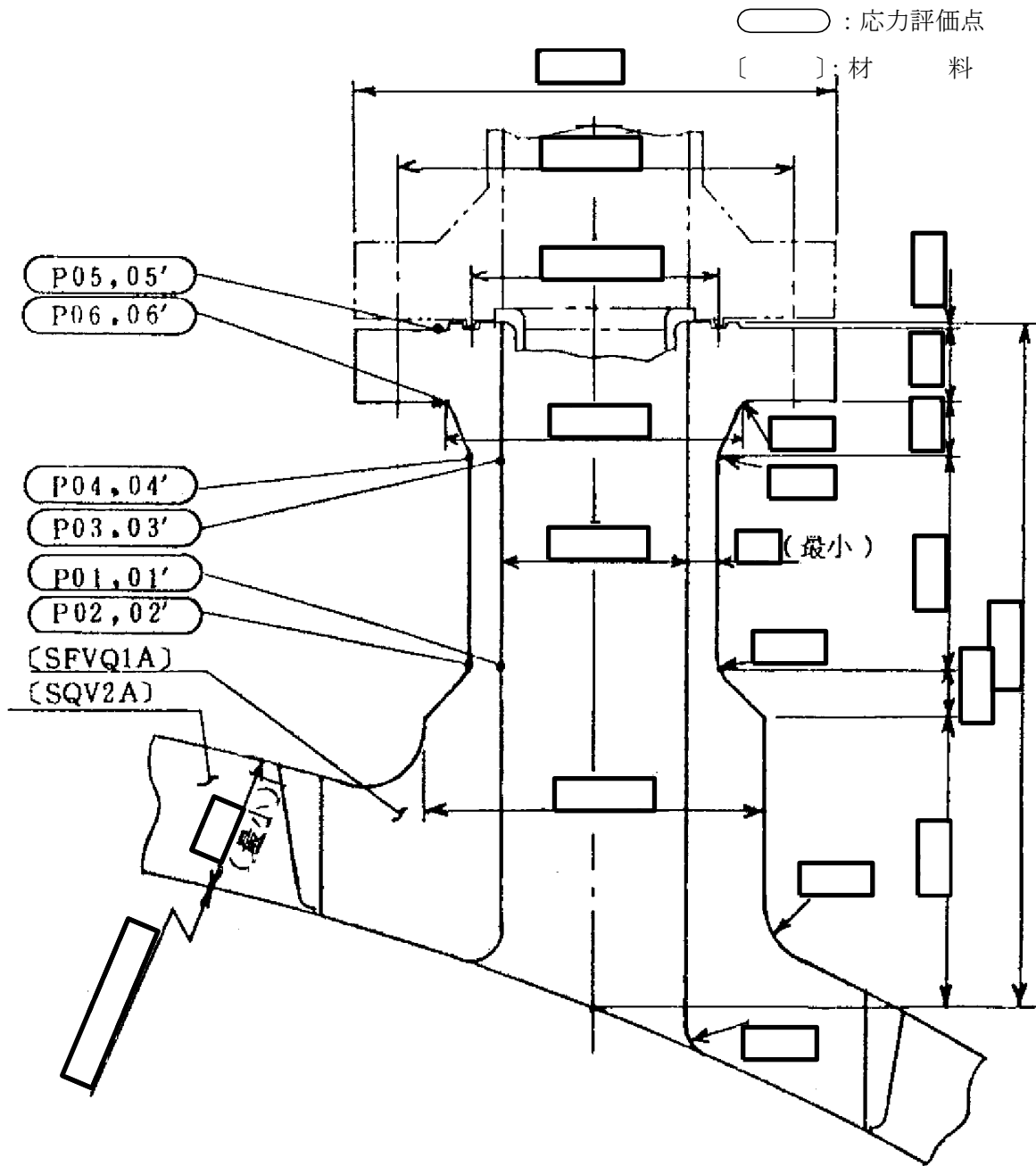
低圧注水ノズル (N6)



| 応力評価面 | 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 | | | | |
| P13-P14 | | | | |
| P15-P16 | | | | |
| P17-P18 | | | | |

図 3-10 低圧注水ノズル (N6) の概要図及び諸元

上ぶたスプレインズル (N7)

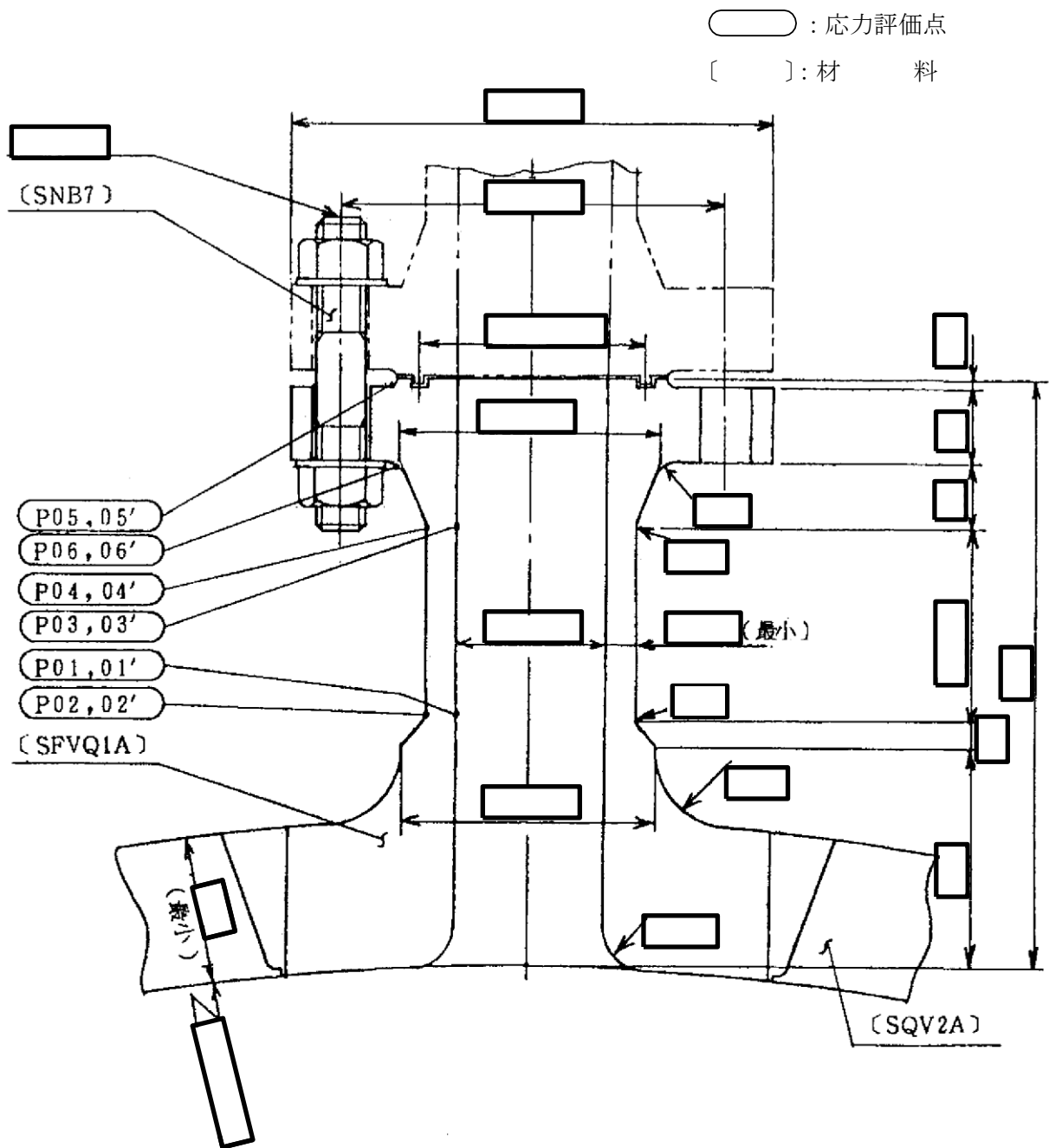


| 応力評価面 | 形状係数 | 内径 d_i (mm) | 外径 d_o (mm) | 備考 |
|---------|------|---------------|---------------|----|
| P01-P02 | | | | |
| P03-P04 | | | | |
| P05-P06 | | | | |

注記* : 中実矩形断面の 1.5 を用いる。

図 3-11 上ぶたスプレインズル (N7) の概要図及び諸元

計測及びベントノズル (N8)



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

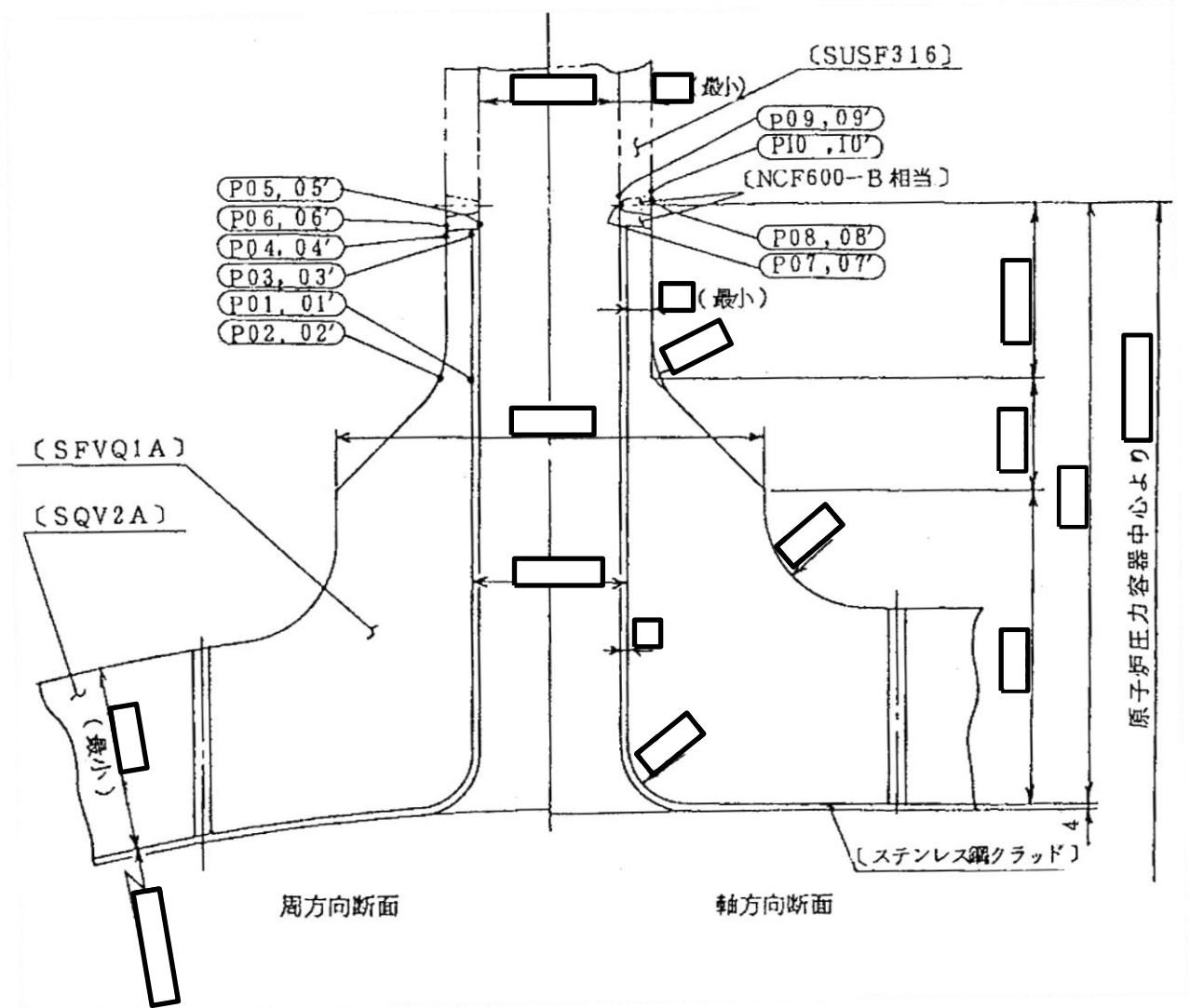
注記* : 中実矩形断面の 1.5 を用いる。

図 3-12 計測及びベントノズル (N8) の概要図及び諸元

ジェットポンプ計測ノズル (N9)

○ : 応力評価点

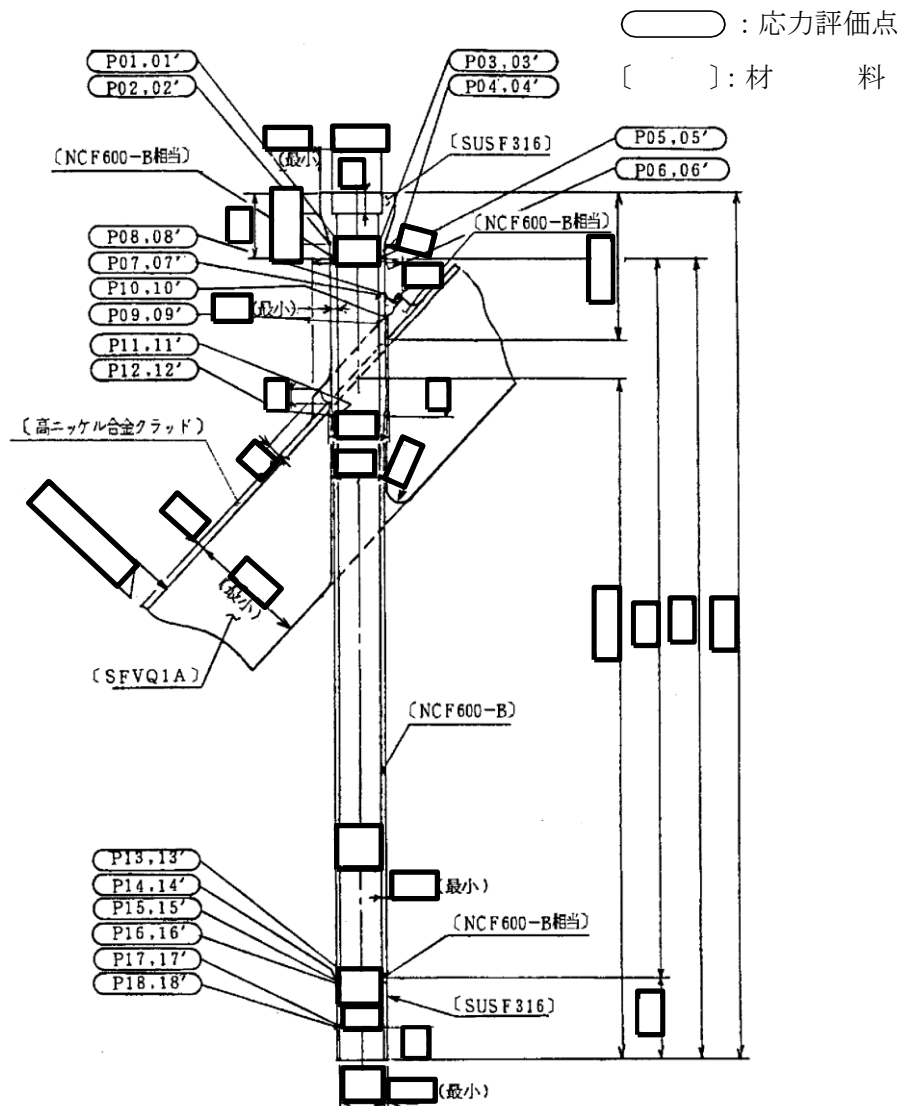
[] : 材 料



| 応力評価面 | 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 | | | | |

図 3-13 ジェットポンプ計測ノズル (N9) の概要図及び諸元

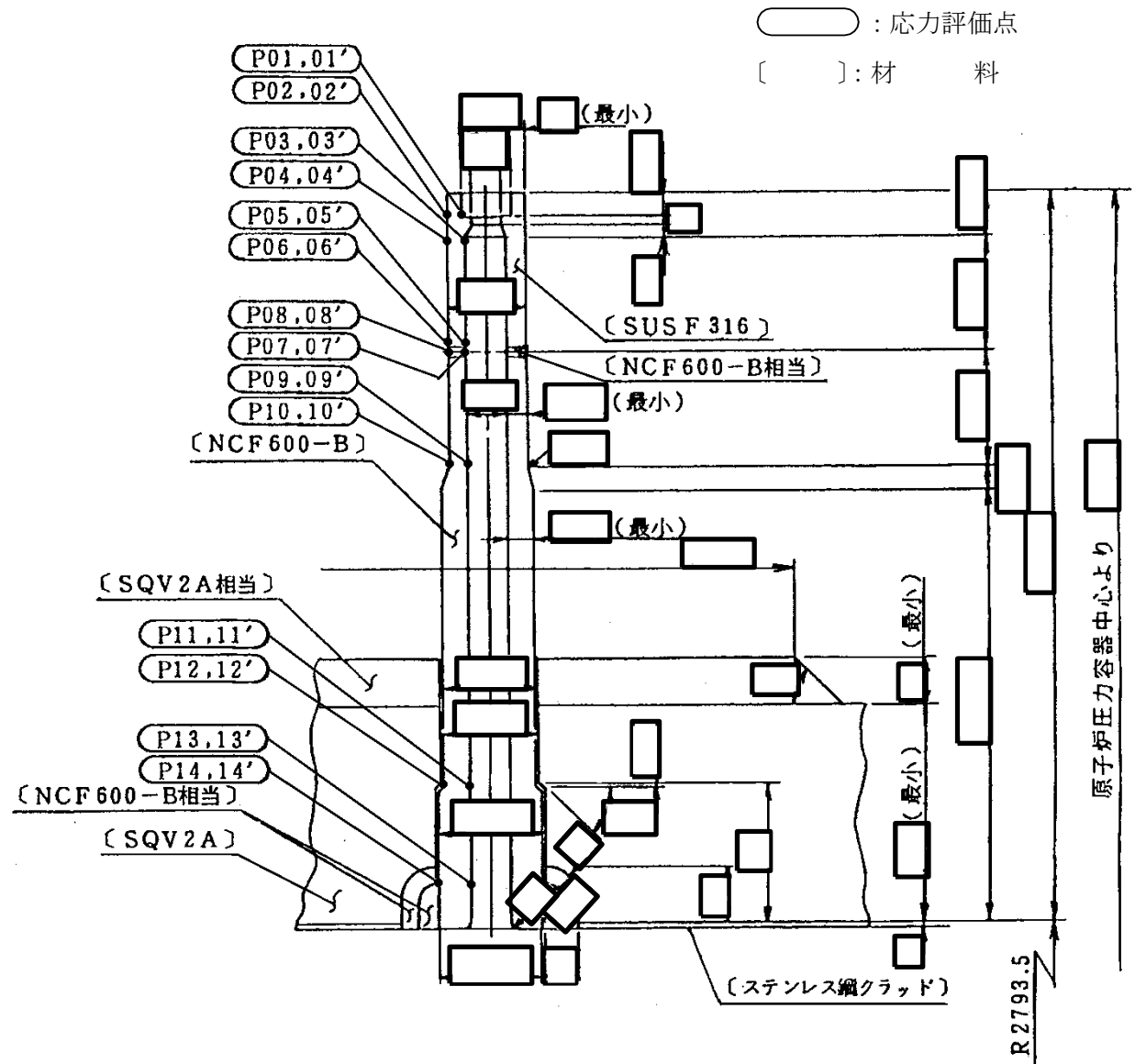
ほう酸水注入及び炉心差圧計測ノズル (N11)



| 応力評価面 | 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 | | | | |
| P13-P14 | | | | |
| P15-P16 | | | | |
| P17-P18 | | | | |

図 3-14 ほう酸水注入及び炉心差圧計測ノズル (N11) の概要図及び諸元

計測ノズル (N12 及び N13)

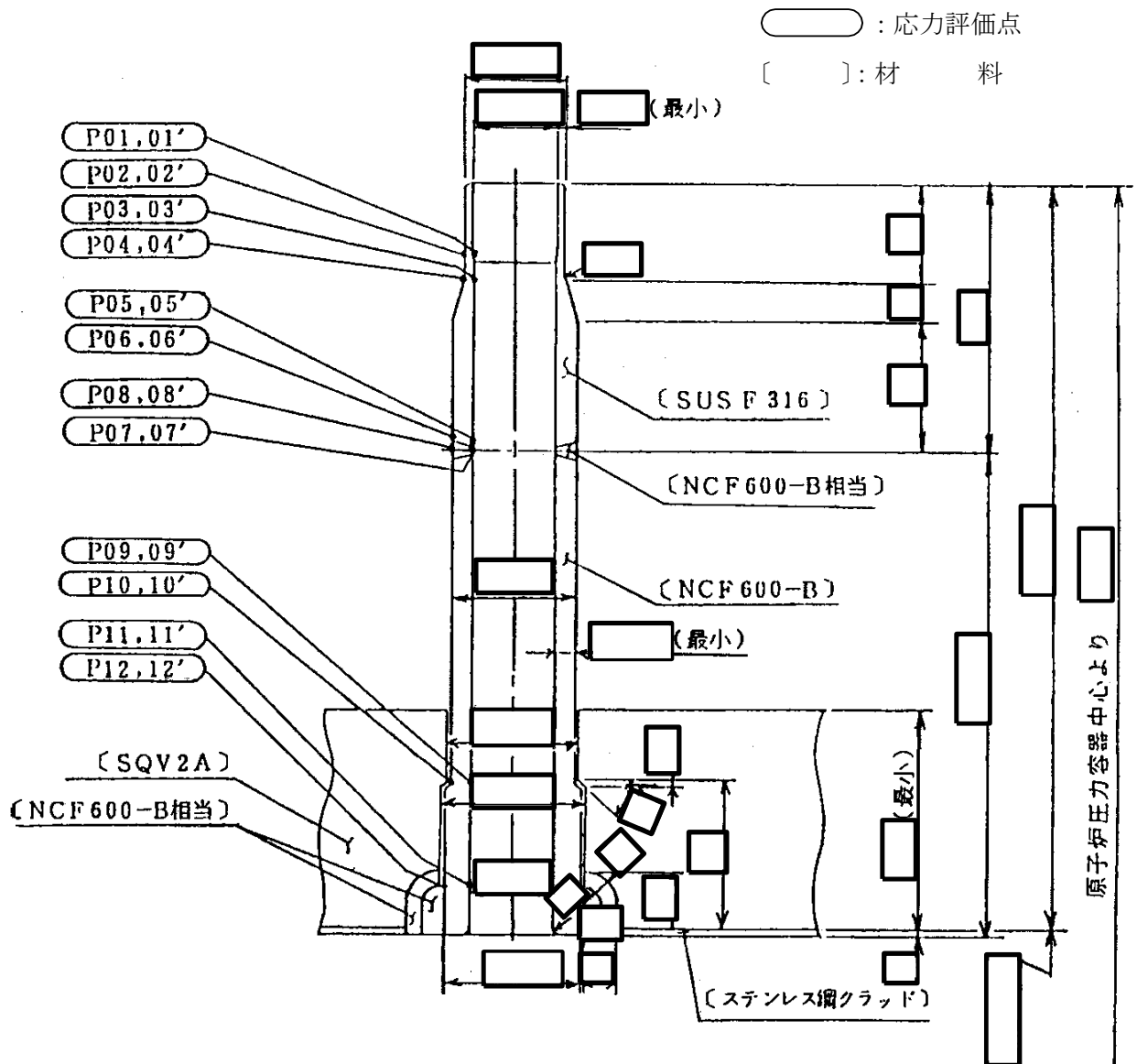


| 応力評価面 | 形状係数 | 内径 d_i (mm) | 外径 d_o (mm) | 備考 |
|---------|------|---------------|---------------|----|
| P01-P02 | | | | |
| P03-P04 | | | | |
| P05-P06 | | | | |
| P07-P08 | | | | |
| P09-P10 | | | | |
| P11-P12 | | | | |
| P13-P14 | | | | |

注記* : 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 計測ノズル (N12 及び N13) の概要図及び諸元

計測ノズル (N14)

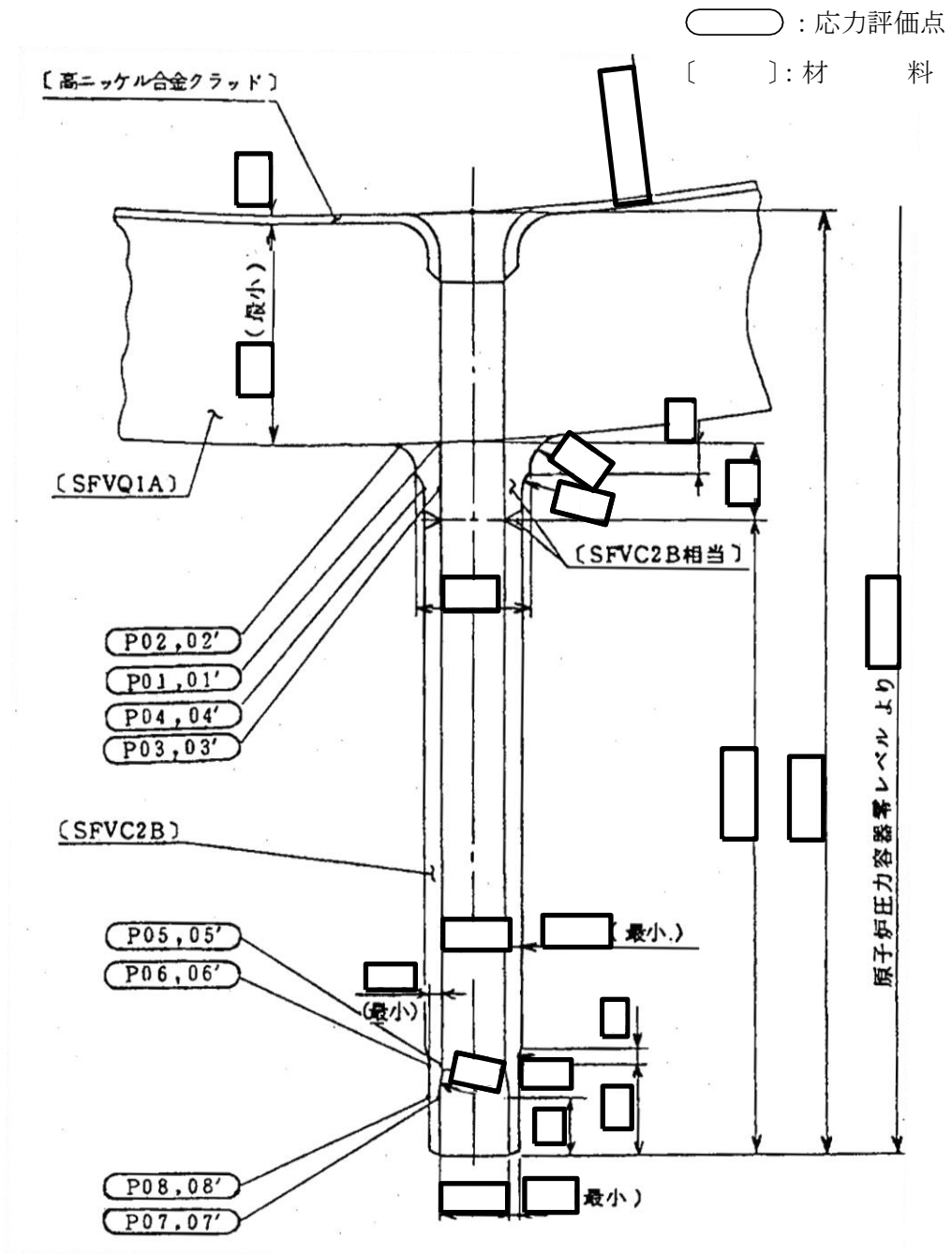


| 応力評価面 | 形状係数 | 内径 d_i (mm) | 外径 d_o (mm) | 備考 |
|---------|------|---------------|---------------|----|
| P01-P02 | | | | |
| P03-P04 | | | | |
| P05-P06 | | | | |
| P07-P08 | | | | |
| P09-P10 | | | | |
| P11-P12 | | | | |

注記* : 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 3-16 計測ノズル (N14) の概要図及び諸元

ドレンノズル (N15)

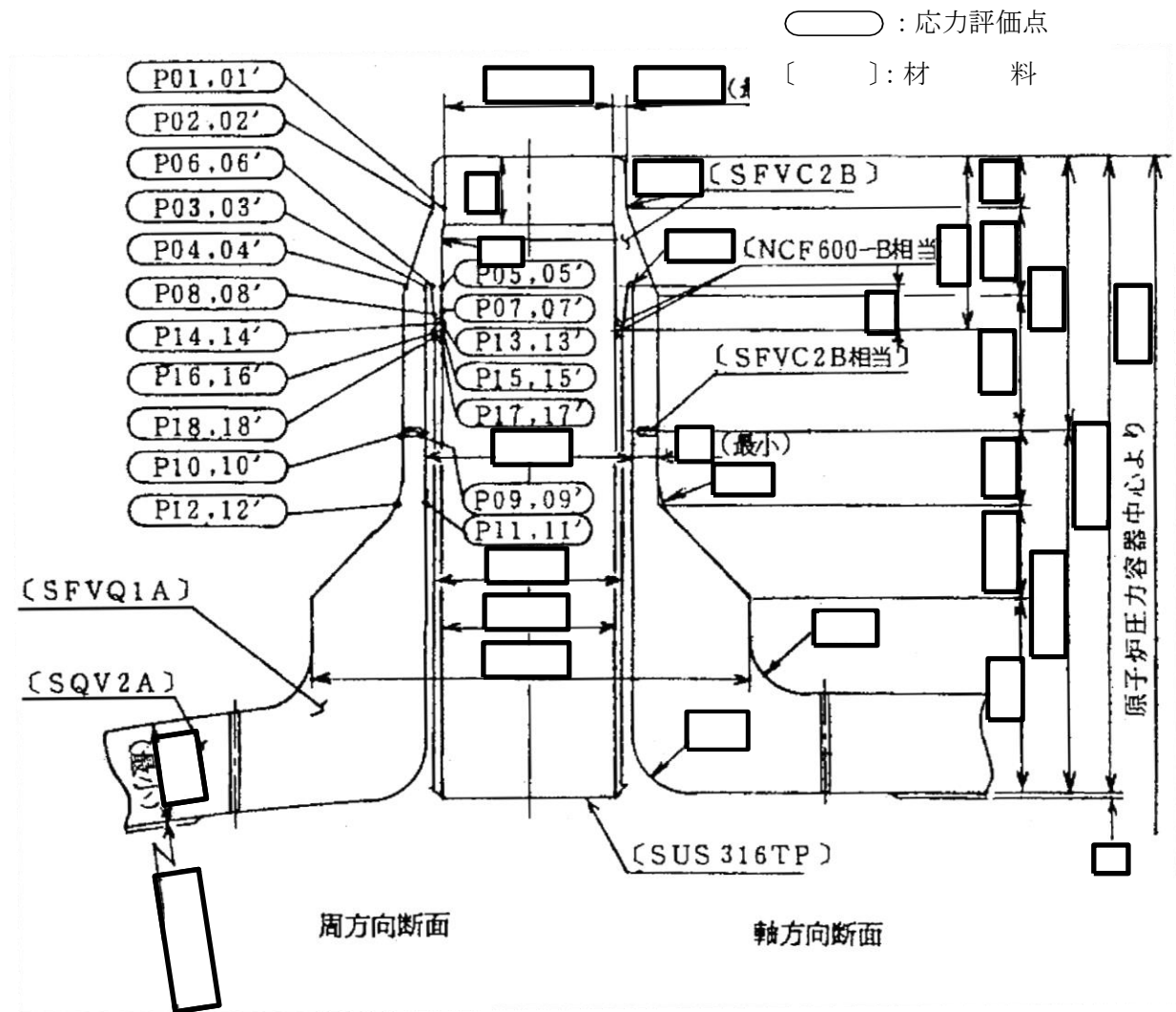


| 応力評価面 | 形状係数 | 内径 d_i (mm) | 外径 d_o (mm) | 備考 |
|---------|------|---------------|---------------|----|
| P01-P02 | | | | |
| P03-P04 | | | | |
| P05-P06 | | | | |
| P07-P08 | | | | |

注記* : 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 3-17 ドレンノズル (N15) の概要図及び諸元

高压炉心スプレインズル (N16)

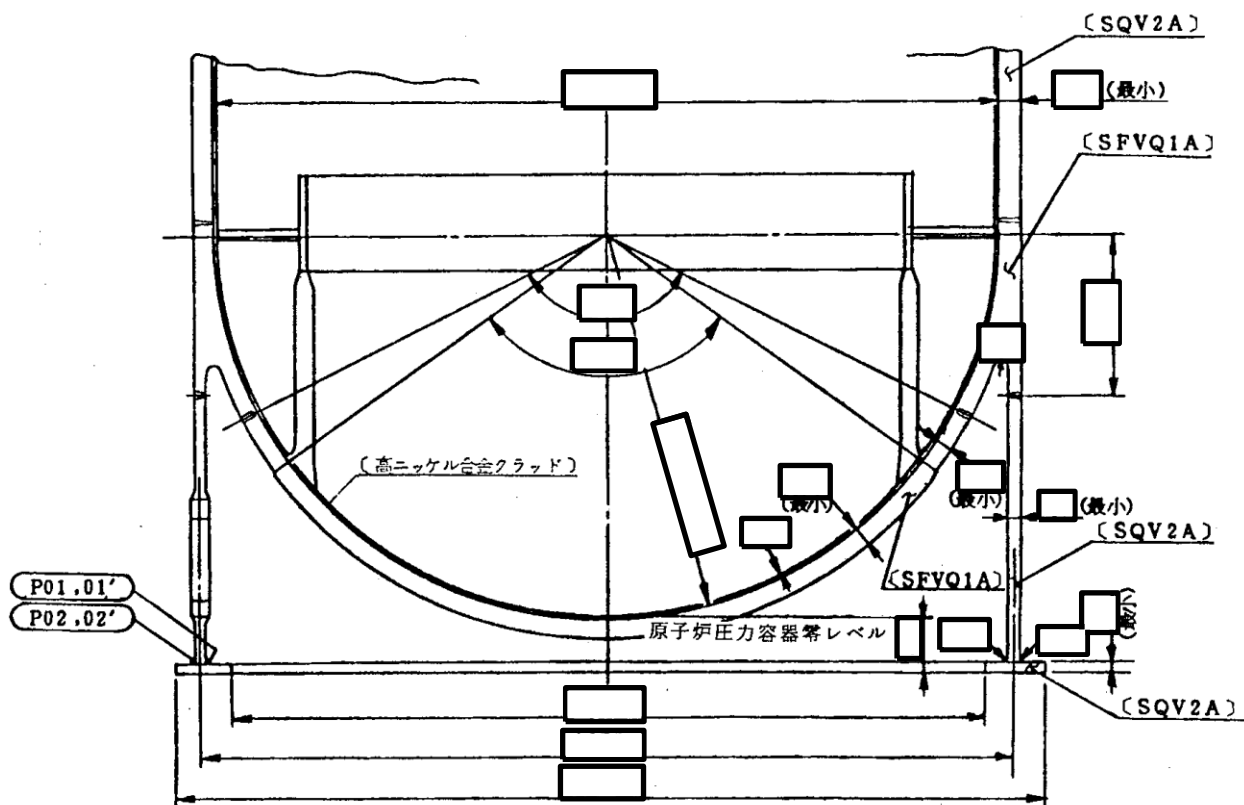


| 応力評価面 | 形状係数 | 内径 d_i (mm) | 外径 d_o (mm) | 備考 |
|---------|------|---------------|---------------|----|
| P01-P02 | | | | |
| P03-P04 | | | | |
| P05-P06 | | | | |
| P07-P08 | | | | |
| P09-P10 | | | | |
| P11-P12 | | | | |
| P13-P14 | | | | |
| P15-P16 | | | | |
| P17-P18 | | | | |

図 3-18 高压炉心スプレインズル (N16) の概要図及び諸元

原子炉压力容器支持スカート

○ : 応力評価点
 [] : 材 料



| 応力評価面 | 形状係数 | 内径 d_i (mm) | 外径 d_o (mm) | 備考 |
|---------|------|---------------|---------------|----|
| P01-P02 | | | | |

図 3-19 原子炉压力容器支持スカートの概要図及び諸元