

VI-2-3-3-1-3 原子炉圧力容器本体の応力計算書

目 次 (全体目次)

1. 概要	1-1
2. 胴板の応力計算	2-1
3. 下部鏡板の応力計算	3-1
4. 制御棒駆動機構ハウジング貫通孔の応力計算	4-1
5. 原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔 (N1) の応力計算	5-1
6. 主蒸気ノズル (N3) の応力計算	6-1
7. 給水ノズル (N4) の応力計算	7-1
8. 低圧注水ノズル (N6) の応力計算	8-1
9. 上蓋スプレイ・ベントノズル (N7) の応力計算	9-1
10. 原子炉停止時冷却材出口ノズル (N8) の応力計算	10-1
11. 原子炉停止時冷却材出口ノズル (N10) の応力計算	11-1
12. 原子炉冷却材再循環ポンプ差圧検出ノズル (N9) の応力計算	12-1
13. 炉心支持板差圧検出ノズル (N11) の応力計算	13-1
14. 計装ノズル (N12) の応力計算	14-1
15. 計装ノズル (N13) の応力計算	15-1
16. 計装ノズル (N14) の応力計算	16-1
17. ドレンノズル (N15) の応力計算	17-1
18. 高圧炉心注水ノズル (N16) の応力計算	18-1

目 次
(胴板)

2. 胴板の応力計算	2-1
2.1 一般事項	2-1
2.1.1 形状・寸法・材料	2-1
2.1.2 解析範囲	2-1
2.1.3 計算結果の概要	2-1
2.2 計算条件	2-4
2.2.1 設計条件	2-4
2.2.2 運転条件	2-4
2.2.3 材料	2-4
2.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態	2-4
2.2.5 荷重の組合せ及び応力評価	2-4
2.2.6 許容応力	2-4
2.3 応力計算	2-4
2.3.1 応力評価点	2-4
2.3.2 内圧による応力	2-4
2.3.3 外荷重による応力	2-5
2.3.4 応力の評価	2-5
2.4 応力強さの評価	2-5
2.4.1 一次一般膜応力強さの評価	2-5
2.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	2-5
2.4.3 一次＋二次応力強さの評価	2-5
2.5 繰返し荷重の評価	2-6
2.5.1 疲労解析	2-6

図 表 目 次
(胴板)

図2-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2-2
図2-2	応力計算のモデル	2-7
表2-1	計算結果の概要	2-3
表2-2	機器諸元	2-8
表2-3	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	2-9
表2-4	一次膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ	2-10
表2-5	一次+二次応力強さの評価のまとめ	2-11
表2-6	疲労累積係数の評価のまとめ	2-12

目 次
(下部鏡板)

3. 下部鏡板の応力計算	3-1
3.1 一般事項	3-1
3.1.1 形状・寸法・材料	3-1
3.1.2 解析範囲	3-1
3.1.3 計算結果の概要	3-1
3.2 計算条件	3-4
3.2.1 設計条件	3-4
3.2.2 運転条件	3-4
3.2.3 材料	3-4
3.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態	3-4
3.2.5 荷重の組合せ及び応力評価	3-4
3.2.6 許容応力	3-4
3.3 応力計算	3-4
3.3.1 応力評価点	3-4
3.3.2 内圧及び差圧による応力	3-4
3.3.3 外荷重による応力	3-5
3.3.4 応力の評価	3-5
3.4 応力強さの評価	3-5
3.4.1 一次一般膜応力強さの評価	3-5
3.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	3-5
3.4.3 一次＋二次応力強さの評価	3-6
3.5 繰返し荷重の評価	3-6
3.5.1 疲労解析	3-6

図 表 目 次
(下部鏡板)

図3-1	形状・寸法・材料・応力評価点	3-2
図3-2	応力計算のモデル	3-7
表3-1	計算結果の概要	3-3
表3-2	機器諸元	3-8
表3-3	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	3-9
表3-4	一次膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ	3-10
表3-5	一次+二次応力強さの評価のまとめ	3-11
表3-6	疲労累積係数の評価のまとめ	3-12

目 次
(制御棒駆動機構ハウジング貫通孔)

4. 制御棒駆動機構ハウジング貫通孔の応力計算	4-1
4.1 一般事項	4-1
4.1.1 記号の説明	4-1
4.1.2 形状・寸法・材料	4-1
4.1.3 解析範囲	4-1
4.1.4 計算結果の概要	4-1
4.2 計算条件	4-4
4.2.1 設計条件	4-4
4.2.2 運転条件	4-4
4.2.3 材料	4-4
4.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態	4-4
4.2.5 荷重の組合せ及び応力評価	4-4
4.2.6 許容応力	4-4
4.3 応力計算	4-4
4.3.1 応力評価点	4-4
4.3.2 内圧による応力	4-4
4.3.3 外荷重による応力	4-5
4.3.4 応力の評価	4-5
4.4 応力強さの評価	4-5
4.4.1 一次一般膜応力強さの評価	4-5
4.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	4-5
4.4.3 一次＋二次応力強さの評価	4-5
4.5 繰返し荷重の評価	4-6
4.5.1 疲労解析	4-6
4.6 特別な応力の評価	4-6
4.6.1 座屈に対する評価	4-6

図 表 目 次
(制御棒駆動機構ハウジング貫通孔)

図4-1	形状・寸法・材料・応力評価点	4-2
図4-2	応力計算のモデル	4-8
表4-1	計算結果の概要	4-3
表4-2	機器諸元	4-9
表4-3	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	4-10
表4-4	一次膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ	4-11
表4-5	一次+二次応力強さの評価のまとめ	4-12
表4-6	疲労累積係数の評価のまとめ	4-13
表4-7	座屈に対する評価に用いる荷重	4-14
表4-8	座屈に対する評価	4-14

目 次
(原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔 (N1))

5. 原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔 (N1) の応力計算	5-1
5.1 一般事項	5-1
5.1.1 記号の説明	5-1
5.1.2 形状・寸法・材料	5-1
5.1.3 解析範囲	5-1
5.1.4 計算結果の概要	5-1
5.2 計算条件	5-4
5.2.1 設計条件	5-4
5.2.2 運転条件	5-4
5.2.3 材料	5-4
5.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態	5-4
5.2.5 荷重の組合せ及び応力評価	5-4
5.2.6 許容応力	5-4
5.3 応力計算	5-4
5.3.1 応力評価点	5-4
5.3.2 内圧及び動圧による応力	5-4
5.3.3 外荷重による応力	5-5
5.3.4 応力の評価	5-5
5.4 応力強さの評価	5-5
5.4.1 一次一般膜応力強さの評価	5-5
5.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	5-5
5.4.3 一次＋二次応力強さの評価	5-5
5.5 繰返し荷重の評価	5-6
5.5.1 疲労解析	5-6
5.6 特別な応力の評価	5-6
5.6.1 座屈に対する評価	5-6

図 表 目 次

(原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔 (N1))

図5-1	形状・寸法・材料・応力評価点	5-2
図5-2	応力計算のモデル	5-8
表5-1	計算結果の概要	5-3
表5-2	機器諸元	5-10
表5-3	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	5-11
表5-4	一次膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ	5-12
表5-5	一次+二次応力強さの評価のまとめ	5-13
表5-6	疲労累積係数の評価のまとめ	5-14
表5-7	座屈に対する評価に用いる荷重	5-15
表5-8	座屈に対する評価	5-15

目 次
(主蒸気ノズル (N3))

6. 主蒸気ノズル (N3) の応力計算	6-1
6.1 一般事項	6-1
6.1.1 形状・寸法・材料	6-1
6.1.2 解析範囲	6-1
6.1.3 計算結果の概要	6-1
6.2 計算条件	6-4
6.2.1 設計条件	6-4
6.2.2 運転条件	6-4
6.2.3 材料	6-4
6.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態	6-4
6.2.5 荷重の組合せ及び応力評価	6-4
6.2.6 許容応力	6-4
6.3 応力計算	6-4
6.3.1 応力評価点	6-4
6.3.2 内圧による応力	6-4
6.3.3 外荷重による応力	6-5
6.3.4 応力の評価	6-5
6.4 応力強さの評価	6-5
6.4.1 一次一般膜応力強さの評価	6-5
6.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	6-5
6.4.3 一次＋二次応力強さの評価	6-5
6.5 繰返し荷重の評価	6-6
6.5.1 疲労解析	6-6

図 表 目 次
(主蒸気ノズル (N3))

図6-1	形状・寸法・材料・応力評価点	6-2
図6-2	応力計算のモデル	6-7
表6-1	計算結果の概要	6-3
表6-2	機器諸元	6-9
表6-3	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	6-10
表6-4	一次膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ	6-11
表6-5	一次+二次応力強さの評価のまとめ	6-12
表6-6	疲労累積係数の評価のまとめ	6-13

目 次
(給水ノズル (N4))

7. 給水ノズル (N4) の応力計算	7-1
7.1 一般事項	7-1
7.1.1 形状・寸法・材料	7-1
7.1.2 解析範囲	7-1
7.1.3 計算結果の概要	7-1
7.2 計算条件	7-4
7.2.1 設計条件	7-4
7.2.2 運転条件	7-4
7.2.3 材料	7-4
7.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態	7-4
7.2.5 荷重の組合せ及び応力評価	7-4
7.2.6 許容応力	7-4
7.3 応力計算	7-4
7.3.1 応力評価点	7-4
7.3.2 内圧及び差圧による応力	7-4
7.3.3 外荷重による応力	7-5
7.3.4 応力の評価	7-5
7.4 応力強さの評価	7-5
7.4.1 一次一般膜応力強さの評価	7-5
7.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	7-5
7.4.3 一次＋二次応力強さの評価	7-5
7.5 繰返し荷重の評価	7-6
7.5.1 疲労解析	7-6

図 表 目 次
(給水ノズル (N4))

図7-1	形状・寸法・材料・応力評価点	7-2
図7-2	応力計算のモデル	7-7
表7-1	計算結果の概要	7-3
表7-2	機器諸元	7-9
表7-3	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	7-10
表7-4	一次膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ	7-11
表7-5	一次+二次応力強さの評価のまとめ	7-12
表7-6	疲労累積係数の評価のまとめ	7-13

目 次
(低圧注水ノズル (N6))

8. 低圧注水ノズル (N6) の応力計算	8-1
8.1 一般事項	8-1
8.1.1 形状・寸法・材料	8-1
8.1.2 解析範囲	8-1
8.1.3 計算結果の概要	8-1
8.2 計算条件	8-4
8.2.1 設計条件	8-4
8.2.2 運転条件	8-4
8.2.3 材料	8-4
8.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態	8-4
8.2.5 荷重の組合せ及び応力評価	8-4
8.2.6 許容応力	8-4
8.3 応力計算	8-4
8.3.1 応力評価点	8-4
8.3.2 内圧及び差圧による応力	8-4
8.3.3 外荷重による応力	8-5
8.3.4 応力の評価	8-5
8.4 応力強さの評価	8-5
8.4.1 一次一般膜応力強さの評価	8-5
8.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	8-5
8.4.3 一次＋二次応力強さの評価	8-6
8.5 繰返し荷重の評価	8-6
8.5.1 疲労解析	8-6

図 表 目 次
(低圧注水ノズル (N6))

図8-1	形状・寸法・材料・応力評価点	8-2
図8-2	応力計算のモデル	8-7
表8-1	計算結果の概要	8-3
表8-2	機器諸元	8-9
表8-3	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	8-10
表8-4	一次膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ	8-11
表8-5	一次+二次応力強さの評価のまとめ	8-12
表8-6	疲労累積係数	8-13
表8-7	疲労累積係数の評価のまとめ	8-14

目 次
(上蓋スプレイ・ベントノズル (N7))

9. 上蓋スプレイ・ベントノズル (N7) の応力計算	9-1
9.1 一般事項	9-1
9.1.1 形状・寸法・材料	9-1
9.1.2 解析範囲	9-1
9.1.3 計算結果の概要	9-1
9.2 計算条件	9-4
9.2.1 設計条件	9-4
9.2.2 運転条件	9-4
9.2.3 材料	9-4
9.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態	9-4
9.2.5 荷重の組合せ及び応力評価	9-4
9.2.6 許容応力	9-4
9.3 応力計算	9-4
9.3.1 応力評価点	9-4
9.3.2 内圧による応力	9-4
9.3.3 外荷重による応力	9-5
9.3.4 ボルト荷重による応力	9-5
9.3.5 応力の評価	9-5
9.4 応力強さの評価	9-5
9.4.1 一次一般膜応力強さの評価	9-5
9.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	9-6
9.4.3 一次＋二次応力強さの評価	9-6
9.5 繰返し荷重の評価	9-6
9.5.1 疲労解析	9-6

図 表 目 次
(上蓋スプレイ・ベントノズル (N7))

図9-1	形状・寸法・材料・応力評価点	9-2
図9-2	応力計算のモデル	9-7
表9-1	計算結果の概要	9-3
表9-2	機器諸元	9-9
表9-3	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	9-10
表9-4	一次膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ	9-11
表9-5	一次+二次応力強さの評価のまとめ	9-12
表9-6	疲労累積係数の評価のまとめ	9-13

目 次
(原子炉停止時冷却材出口ノズル (N8))

10.	原子炉停止時冷却材出口ノズル (N8) の応力計算	10-1
10.1	一般事項	10-1
10.1.1	形状・寸法・材料	10-1
10.1.2	解析範囲	10-1
10.1.3	計算結果の概要	10-1
10.2	計算条件	10-4
10.2.1	設計条件	10-4
10.2.2	運転条件	10-4
10.2.3	材料	10-4
10.2.4	荷重の組合せ及び許容応力状態	10-4
10.2.5	荷重の組合せ及び応力評価	10-4
10.2.6	許容応力	10-4
10.3	応力計算	10-4
10.3.1	応力評価点	10-4
10.3.2	内圧による応力	10-4
10.3.3	外荷重による応力	10-5
10.3.4	応力の評価	10-5
10.4	応力強さの評価	10-5
10.4.1	一次一般膜応力強さの評価	10-5
10.4.2	一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	10-5
10.4.3	一次＋二次応力強さの評価	10-5
10.5	繰返し荷重の評価	10-6
10.5.1	疲労解析	10-6

図 表 目 次

(原子炉停止時冷却材出口ノズル (N8))

図10-1	形状・寸法・材料・応力評価点	10-2
図10-2	応力計算のモデル	10-7
表10-1	計算結果の概要	10-3
表10-2	機器諸元	10-9
表10-3	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	10-10
表10-4	一次膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ	10-11
表10-5	一次+二次応力強さの評価のまとめ	10-12
表10-6	疲労累積係数の評価のまとめ	10-13

目 次
(原子炉停止時冷却材出口ノズル (N10))

11. 原子炉停止時冷却材出口ノズル (N10) の応力計算	11-1
11.1 一般事項	11-1
11.1.1 形状・寸法・材料	11-1
11.1.2 解析範囲	11-1
11.1.3 計算結果の概要	11-1
11.2 計算条件	11-4
11.2.1 設計条件	11-4
11.2.2 運転条件	11-4
11.2.3 材料	11-4
11.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態	11-4
11.2.5 荷重の組合せ及び応力評価	11-4
11.2.6 許容応力	11-4
11.3 応力計算	11-4
11.3.1 応力評価点	11-4
11.3.2 内圧による応力	11-4
11.3.3 外荷重による応力	11-5
11.3.4 応力の評価	11-5
11.4 応力強さの評価	11-5
11.4.1 一次一般膜応力強さの評価	11-5
11.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	11-5
11.4.3 一次＋二次応力強さの評価	11-5
11.5 繰返し荷重の評価	11-6
11.5.1 疲労解析	11-6

図 表 目 次

(原子炉停止時冷却材出口ノズル (N10))

図11-1	形状・寸法・材料・応力評価点	11-2
図11-2	応力計算のモデル	11-7
表11-1	計算結果の概要	11-3
表11-2	機器諸元	11-9
表11-3	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	11-10
表11-4	一次膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	11-11
表11-5	一次＋二次応力強さの評価のまとめ	11-12
表11-6	疲労累積係数の評価のまとめ	11-13

目 次

(原子炉冷却材再循環ポンプ差圧検出ノズル (N9))

12.	原子炉冷却材再循環ポンプ差圧検出ノズル (N9) の応力計算	12-1
12.1	一般事項	12-1
12.1.1	記号の説明	12-1
12.1.2	形状・寸法・材料	12-1
12.1.3	解析範囲	12-1
12.1.4	計算結果の概要	12-1
12.2	計算条件	12-4
12.2.1	設計条件	12-4
12.2.2	運転条件	12-4
12.2.3	材料	12-4
12.2.4	荷重の組合せ及び許容応力状態	12-4
12.2.5	荷重の組合せ及び応力評価	12-4
12.2.6	許容応力	12-4
12.3	応力計算	12-4
12.3.1	応力評価点	12-4
12.3.2	内圧による応力	12-4
12.3.3	外荷重による応力	12-5
12.3.4	応力の評価	12-5
12.4	応力強さの評価	12-5
12.4.1	一次一般膜応力強さの評価	12-5
12.4.2	一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	12-5
12.4.3	一次＋二次応力強さの評価	12-5
12.5	繰返し荷重の評価	12-6
12.5.1	疲労解析	12-6
12.6	特別な応力の評価	12-6
12.6.1	座屈に対する評価	12-6

図 表 目 次

(原子炉冷却材再循環ポンプ差圧検出ノズル (N9))

図12-1	形状・寸法・材料・応力評価点	12-2
図12-2	応力計算のモデル	12-8
表12-1	計算結果の概要	12-3
表12-2	機器諸元	12-10
表12-3	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	12-11
表12-4	一次膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	12-12
表12-5	一次＋二次応力強さの評価のまとめ	12-13
表12-6	疲労累積係数の評価のまとめ	12-14
表12-7	座屈に対する評価に用いる荷重	12-15
表12-8	座屈に対する評価	12-15

目 次
(炉心支持板差圧検出ノズル (N11))

13. 炉心支持板差圧検出ノズル (N11) の応力計算	13-1
13.1 一般事項	13-1
13.1.1 記号の説明	13-1
13.1.2 形状・寸法・材料	13-1
13.1.3 解析範囲	13-1
13.1.4 計算結果の概要	13-1
13.2 計算条件	13-4
13.2.1 設計条件	13-4
13.2.2 運転条件	13-4
13.2.3 材料	13-4
13.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態	13-4
13.2.5 荷重の組合せ及び応力評価	13-4
13.2.6 許容応力	13-4
13.3 応力計算	13-4
13.3.1 応力評価点	13-4
13.3.2 内圧による応力	13-4
13.3.3 外荷重による応力	13-5
13.3.4 応力の評価	13-5
13.4 応力強さの評価	13-5
13.4.1 一次一般膜応力強さの評価	13-5
13.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	13-5
13.4.3 一次＋二次応力強さの評価	13-5
13.5 繰返し荷重の評価	13-6
13.5.1 疲労解析	13-6
13.6 特別な応力の評価	13-6
13.6.1 座屈に対する評価	13-6

図 表 目 次
(炉心支持板差圧検出ノズル (N11))

図13-1	形状・寸法・材料・応力評価点	13-2
図13-2	応力計算のモデル	13-8
表13-1	計算結果の概要	13-3
表13-2	機器諸元	13-10
表13-3	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	13-11
表13-4	一次膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ	13-12
表13-5	一次+二次応力強さの評価のまとめ	13-13
表13-6	疲労累積係数の評価のまとめ	13-14
表13-7	座屈に対する評価に用いる荷重	13-15
表13-8	座屈に対する評価	13-15

目 次
(計装ノズル (N12))

14. 計装ノズル (N12) の応力計算	14-1
14.1 一般事項	14-1
14.1.1 形状・寸法・材料	14-1
14.1.2 解析範囲	14-1
14.1.3 計算結果の概要	14-1
14.2 計算条件	14-4
14.2.1 設計条件	14-4
14.2.2 運転条件	14-4
14.2.3 材料	14-4
14.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態	14-4
14.2.5 荷重の組合せ及び応力評価	14-4
14.2.6 許容応力	14-4
14.3 応力計算	14-4
14.3.1 応力評価点	14-4
14.3.2 内圧による応力	14-4
14.3.3 外荷重による応力	14-5
14.3.4 応力の評価	14-5
14.4 応力強さの評価	14-5
14.4.1 一次一般膜応力強さの評価	14-5
14.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	14-5
14.4.3 一次＋二次応力強さの評価	14-6
14.5 繰返し荷重の評価	14-6
14.5.1 疲労解析	14-6

図 表 目 次
(計装ノズル (N12))

図14-1	形状・寸法・材料・応力評価点	14-2
図14-2	応力計算のモデル	14-7
表14-1	計算結果の概要	14-3
表14-2	機器諸元	14-9
表14-3	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	14-10
表14-4	一次膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ	14-11
表14-5	一次+二次応力強さの評価のまとめ	14-12
表14-6	疲労累積係数	14-13
表14-7	疲労累積係数の評価のまとめ	14-14

目 次
(計装ノズル (N13))

15. 計装ノズル (N13) の応力計算	15-1
15.1 一般事項	15-1
15.1.1 形状・寸法・材料	15-1
15.1.2 解析範囲	15-1
15.1.3 計算結果の概要	15-1
15.2 計算条件	15-4
15.2.1 設計条件	15-4
15.2.2 運転条件	15-4
15.2.3 材料	15-4
15.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態	15-4
15.2.5 荷重の組合せ及び応力評価	15-4
15.2.6 許容応力	15-4
15.3 応力計算	15-4
15.3.1 応力評価点	15-4
15.3.2 内圧による応力	15-4
15.3.3 外荷重による応力	15-5
15.3.4 応力の評価	15-5
15.4 応力強さの評価	15-5
15.4.1 一次一般膜応力強さの評価	15-5
15.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	15-5
15.4.3 一次＋二次応力強さの評価	15-6
15.5 繰返し荷重の評価	15-6
15.5.1 疲労解析	15-6

図 表 目 次
(計装ノズル (N13))

図15-1	形状・寸法・材料・応力評価点	15-2
図15-2	応力計算のモデル	15-7
表15-1	計算結果の概要	15-3
表15-2	機器諸元	15-9
表15-3	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	15-10
表15-4	一次膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ	15-11
表15-5	一次+二次応力強さの評価のまとめ	15-12
表15-6	疲労累積係数	15-13
表15-7	疲労累積係数の評価のまとめ	15-14

目 次
(計装ノズル (N14))

16.	計装ノズル (N14) の応力計算	16-1
16.1	一般事項	16-1
16.1.1	形状・寸法・材料	16-1
16.1.2	解析範囲	16-1
16.1.3	計算結果の概要	16-1
16.2	計算条件	16-4
16.2.1	設計条件	16-4
16.2.2	運転条件	16-4
16.2.3	材料	16-4
16.2.4	荷重の組合せ及び許容応力状態	16-4
16.2.5	荷重の組合せ及び応力評価	16-4
16.2.6	許容応力	16-4
16.3	応力計算	16-4
16.3.1	応力評価点	16-4
16.3.2	内圧による応力	16-4
16.3.3	外荷重による応力	16-5
16.3.4	応力の評価	16-5
16.4	応力強さの評価	16-5
16.4.1	一次一般膜応力強さの評価	16-5
16.4.2	一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	16-5
16.4.3	一次＋二次応力強さの評価	16-5
16.5	繰返し荷重の評価	16-6
16.5.1	疲労解析	16-6

図 表 目 次
(計装ノズル (N14))

図16-1	形状・寸法・材料・応力評価点	16-2
図16-2	応力計算のモデル	16-7
表16-1	計算結果の概要	16-3
表16-2	機器諸元	16-9
表16-3	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	16-10
表16-4	一次膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ	16-11
表16-5	一次+二次応力強さの評価のまとめ	16-12
表16-6	疲労累積係数の評価のまとめ	16-13

目 次
(ドレンノズル (N15))

17.	ドレンノズル (N15) の応力計算	17-1
17.1	一般事項	17-1
17.1.1	形状・寸法・材料	17-1
17.1.2	解析範囲	17-1
17.1.3	計算結果の概要	17-1
17.2	計算条件	17-4
17.2.1	設計条件	17-4
17.2.2	運転条件	17-4
17.2.3	材料	17-4
17.2.4	荷重の組合せ及び許容応力状態	17-4
17.2.5	荷重の組合せ及び応力評価	17-4
17.2.6	許容応力	17-4
17.3	応力計算	17-4
17.3.1	応力評価点	17-4
17.3.2	内圧による応力	17-4
17.3.3	外荷重による応力	17-5
17.3.4	応力の評価	17-5
17.4	応力強さの評価	17-5
17.4.1	一次一般膜応力強さの評価	17-5
17.4.2	一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	17-5
17.4.3	一次＋二次応力強さの評価	17-5
17.5	繰返し荷重の評価	17-6
17.5.1	疲労解析	17-6

図 表 目 次
(ドレンノズル (N15))

図17-1	形状・寸法・材料・応力評価点	17-2
図17-2	応力計算のモデル	17-7
表17-1	計算結果の概要	17-3
表17-2	機器諸元	17-8
表17-3	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	17-9
表17-4	一次膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ	17-10
表17-5	一次+二次応力強さの評価のまとめ	17-11
表17-6	疲労累積係数の評価のまとめ	17-12

目 次
(高圧炉心注水ノズル (N16))

18. 高圧炉心注水ノズル (N16) の応力計算	18-1
18.1 一般事項	18-1
18.1.1 形状・寸法・材料	18-1
18.1.2 解析範囲	18-1
18.1.3 計算結果の概要	18-1
18.2 計算条件	18-4
18.2.1 設計条件	18-4
18.2.2 運転条件	18-4
18.2.3 材料	18-4
18.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態	18-4
18.2.5 荷重の組合せ及び応力評価	18-4
18.2.6 許容応力	18-4
18.3 応力計算	18-4
18.3.1 応力評価点	18-4
18.3.2 内圧及び差圧による応力	18-4
18.3.3 外荷重による応力	18-5
18.3.4 応力の評価	18-5
18.4 応力強さの評価	18-5
18.4.1 一次一般膜応力強さの評価	18-5
18.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	18-5
18.4.3 一次＋二次応力強さの評価	18-6
18.5 繰返し荷重の評価	18-6
18.5.1 疲労解析	18-6

図 表 目 次
(高圧炉心注水ノズル (N16))

図18-1	形状・寸法・材料・応力評価点	18-2
図18-2	応力計算のモデル	18-7
表18-1	計算結果の概要	18-3
表18-2	機器諸元	18-9
表18-3	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	18-10
表18-4	一次膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ	18-11
表18-5	一次+二次応力強さの評価のまとめ	18-12
表18-6	疲労累積係数	18-13
表18-7	疲労累積係数の評価のまとめ	18-14

1. 概要

本計算書は、原子炉压力容器本体の応力計算書である。

本計算書の各機器は、VI-2-3-3-1-1「原子炉压力容器の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

本計算書は、原子炉压力容器本体であって、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備に分類される下記の機器について、構造強度評価の結果を示すものである。

- ・ 胴板
- ・ 下部鏡板
- ・ 制御棒駆動機構ハウジング貫通孔
- ・ 原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔 (N1)
- ・ 主蒸気ノズル (N3)
- ・ 給水ノズル (N4)
- ・ 低圧注水ノズル (N6)
- ・ 上蓋スプレイ・ベントノズル (N7)
- ・ 原子炉停止時冷却材出口ノズル (N8)
- ・ 原子炉停止時冷却材出口ノズル (N10)
- ・ 原子炉冷却材再循環ポンプ差圧検出ノズル (N9)
- ・ 炉心支持板差圧検出ノズル (N11)
- ・ 計装ノズル (N12)
- ・ 計装ノズル (N13)
- ・ 計装ノズル (N14)
- ・ ドレンノズル (N15)
- ・ 高圧炉心注水ノズル (N16)

なお、原子炉压力容器であって、設計基準対象施設に分類される下記の機器については、VI-2-3-3-1-2(1)「原子炉压力容器の耐震計算結果」に構造強度評価の結果を示す。

- ・ ブラケット類
- ・ 原子炉压力容器スカート
- ・ 原子炉压力容器基礎ボルト

注：本計算書においては、平成5年6月17日付け4資庁第14561号にて認可された工事計画の添付書類（「応力解析の方針」の参照図書(1)）を「既工認」という。

2. 胴板の応力計算

2.1 一般事項

本章は、胴板の応力計算について示すものである。

胴板は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所の形状・寸法・材料を図2-1に示す。

2.1.2 解析範囲

解析範囲を図2-1に示す。

2.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表2-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、各部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、疲労累積係数が厳しくなる評価点を記載する。

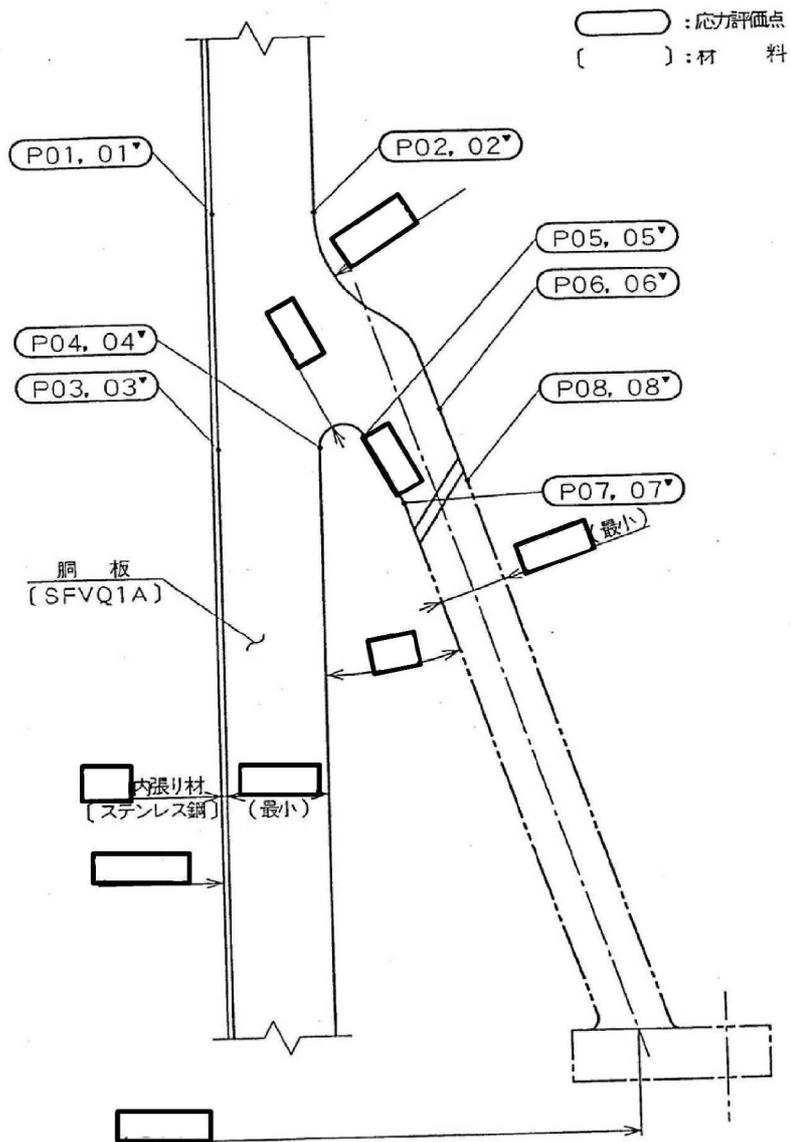


図2-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 2-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次膜+一次曲げ応力強さ (MPa)			一次+二次応力強さ (MPa)			疲労解析		
		応力 強さ	許容 応力	応力評価面	応力 強さ	許容 応力	応力評価面	応力 強さ	許容 応力	応力 評価点	疲労* 累積係数	許容値	応力 評価点
胴板 SFVQ1A	Ⅲ _A S	177	303	P01 - P02	151	394	P01 - P02	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	177	320	P01 - P02	157	416	P01 - P02	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	—	—	—	—	68	552	P02	0.009	1.0	P03
	Ⅳ _A S	—	—	—	—	—	—	106	552	P02			
スカート 付根部 SFVQ1A	Ⅲ _A S	39	303	P07' - P08'	109	390	P05 - P06	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	55	320	P07' - P08'	115	413	P05 - P06	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	—	—	—	—	92	552	P07	0.551	1.0	P05
	Ⅳ _A S	—	—	—	—	—	—	154	552	P07			

注記* : 疲労累積係数は、運転状態Ⅰ及びⅡに地震荷重 S_d^* 又は地震荷重 S_s のいずれか大きい方を加えた値である。

2.2 計算条件

2.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1節に示す。

2.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2節に示す。

2.2.3 材料

各部の材料を図2-1に示す。

2.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」の3.4節に示す。

2.2.5 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の4.3節に示す。

2.2.6 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5節に示す。

2.3 応力計算

2.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図2-1に示す。

なお、応力集中を生じる箇所の応力集中係数は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)c.に定めるとおりである。

2.3.2 内圧による応力

(1) 荷重条件 (L01)

各運転状態による内圧は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)c.に定めるとおりである。

(2) 計算方法

内圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)c.に定めるとおりである。

2.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L12, L13, L18, L19, L14及びL16)

外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(2)に示す。

(2) 計算方法

外荷重による形状不連続の効果を含まない応力の計算は、「応力解析の方針」の5.1節に示す解析コード「PIPE」により行う。

外荷重による形状不連続の効果を含まない応力の計算は、二次元軸対称の有限要素でモデル化し、「応力解析の方針」の5.1節に示す解析コード「STAX」及び「ASHSD」により行う。

解析においては、原子炉压力容器スカートとの取り合い部で溶接されるため、原子炉压力容器スカートを含めてモデル化している。拘束条件は、原子炉压力容器スカートの下面を拘束している。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件を図2-2に示す。また、地震による評価に用いる機器の諸元について表2-2に示す。

2.3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の5.2.2項に定めるとおりである。

2.4 応力強さの評価

2.4.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表2-3に示す。

表2-3より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

2.4.2 一次膜+一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表2-4に示す。

表2-4より、各許容応力状態の一次膜+一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

2.4.3 一次+二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表2-5に示す。

表2-5より、すべての評価点において $S_n^{\#1}$ 及び $S_n^{\#2}$ は、 $3 \cdot S_m$ 以下であり、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

2.5 繰返し荷重の評価

2.5.1 疲労解析

胴板の応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

各応力評価点における疲労累積係数を表2-6に示す。

表2-6より、各応力評価点において疲労累積係数は1.0以下であり、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容値を満足する。

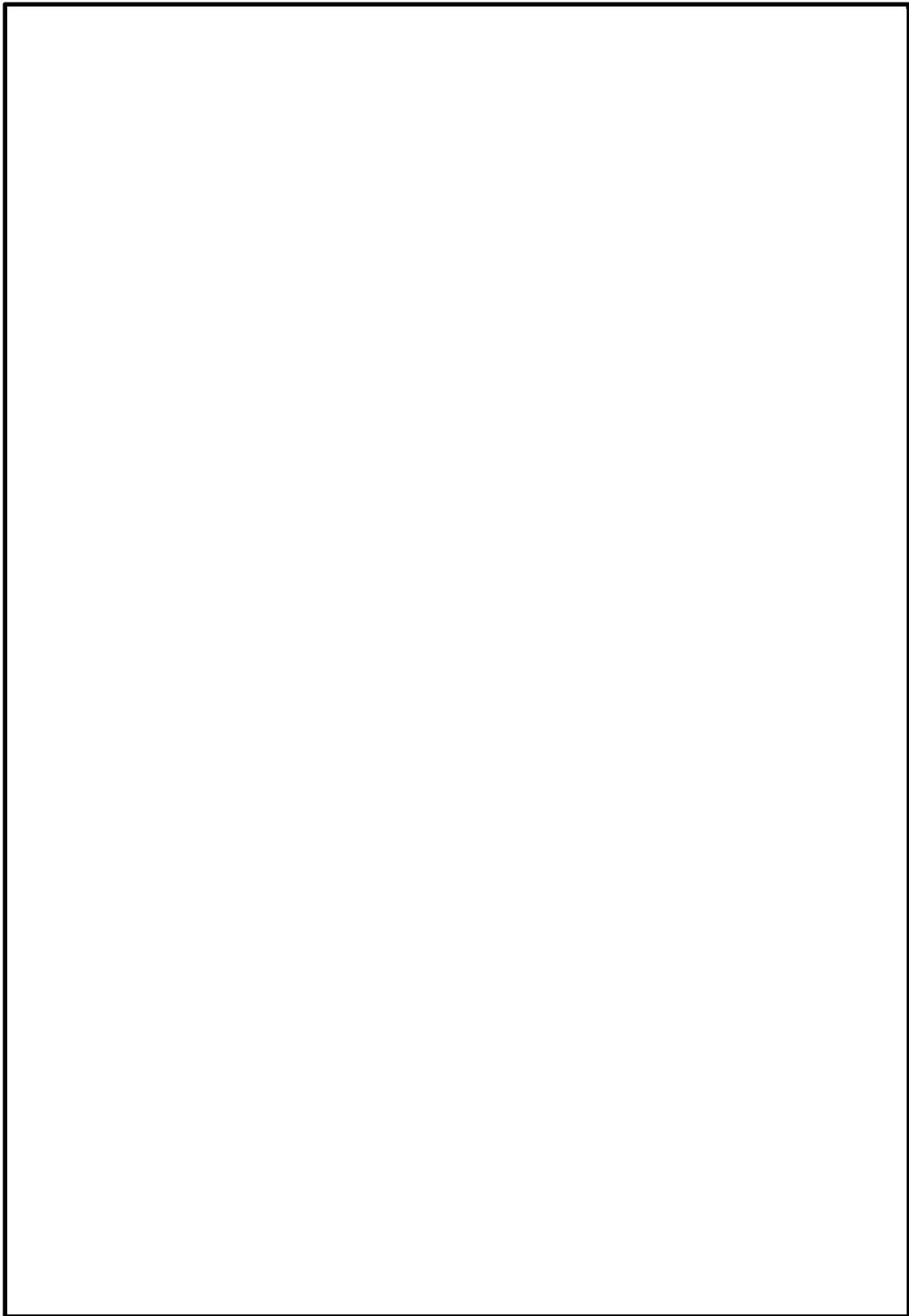


図 2-2 応力計算のモデル

表 2-2 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SFVQ1A
温度条件	T	℃	
縦弾性係数	SFVQ1A	E	MPa
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	—	
節点数	—	—	

表2-3 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態ⅢA S		許容応力状態ⅣA S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	177	303	177	320
P01' P02'	177	303	177	320
P03 P04	177	303	177	320
P03' P04'	177	303	177	320
P07 P08	14	303	29	320
P07' P08'	39	303	55	320

表 2-4 一次膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	151	394	157	416
P01' P02'	129	394	124	416
P03 P04	131	394	130	416
P03' P04'	131	394	134	416
P05 P06	109	390	115	413
P05' P06'	107	390	112	413
P07 P08	90	390	97	413
P07' P08'	103	390	110	413

表 2-5 一次+二次応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価点	一次+二次応力差最大範囲 ($P_L + P_b + Q$)		
	$S_n \# 1$	$S_n \# 2$	許容応力 $3 \cdot S_m$
P01	44	70	552
P01'	44	70	552
P02	68	106	552
P02'	68	106	552
P03	22	34	552
P03'	22	34	552
P04	58	92	552
P04'	58	92	552
P05	60	100	552
P05'	60	100	552
P06	36	56	552
P06'	36	56	552
P07	92	154	552
P07'	92	154	552
P08	26	40	552
P08'	26	40	552

表 2-6 疲労累積係数の評価のまとめ

応力評価点	疲労累積係数				許容値
	U_n	U_{S_d}	U_{S_s}	U_f^*	
P01	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P01'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P02	0.007	0.000	0.000	0.007	1.0
P02'	0.007	0.000	0.000	0.007	1.0
P03	0.009	0.000	0.000	0.009	1.0
P03'	0.009	0.000	0.000	0.009	1.0
P04	0.005	0.000	0.002	0.007	1.0
P04'	0.005	0.000	0.002	0.007	1.0
P05	0.550	0.000	0.001	0.551	1.0
P05'	0.550	0.000	0.001	0.551	1.0
P06	0.021	0.000	0.000	0.021	1.0
P06'	0.021	0.000	0.000	0.021	1.0
P07	0.178	0.000	0.001	0.179	1.0
P07'	0.178	0.000	0.001	0.179	1.0
P08	0.021	0.000	0.000	0.021	1.0
P08'	0.021	0.000	0.000	0.021	1.0

注記* : 疲労累積係数 U_f は、運転状態 I 及び II に地震荷重 S_d^* 又は地震荷重 S_s のいずれか大きい方を加えた値である。

3. 下部鏡板の応力計算

3.1 一般事項

本章は，下部鏡板の応力計算について示すものである。

下部鏡板は，設計基準対象施設においてはSクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

3.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所形状・寸法・材料を図3-1に示す。

3.1.2 解析範囲

解析範囲を図3-1に示す。

3.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表3-1に示す。

なお，応力評価点の選定に当たっては，形状不連続部，溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し，各部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い，疲労累積係数が厳しくなる評価点を記載する。

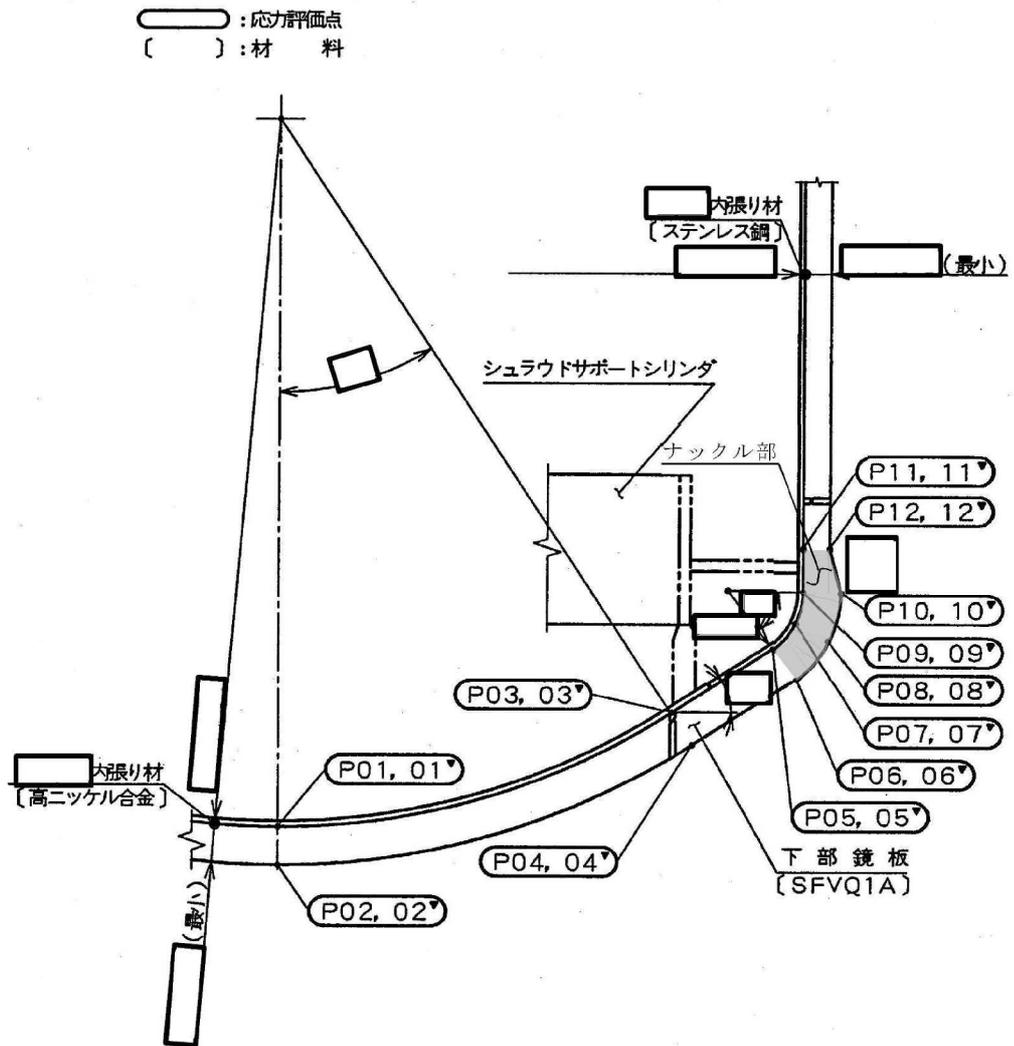


図3-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 3-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次膜+一次曲げ応力強さ (MPa)			一次+二次応力強さ (MPa)			疲労解析		
		応力 強さ	許容 応力	応力評価面	応力 強さ	許容 応力	応力評価面	応力 強さ	許容 応力	応力 評価点	疲労* 累積係数	許容値	応力 評価点
球殻部 SFVQ1A	Ⅲ _A S	188	303	P01 - P02	209	394	P01 - P02	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	195	320	P01 - P02	216	416	P01 - P02	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	—	—	—	—	16	552	P01	0.007	1.0	P02
	Ⅳ _A S	—	—	—	—	—	—	30	552	P01			
球殻部と 円錐部の 接続部 SFVQ1A	Ⅲ _A S	—	—	—	94	394	P03 - P04	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	—	—	—	98	416	P03 - P04	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	—	—	—	—	74	552	P04	0.001	1.0	P03
	Ⅳ _A S	—	—	—	—	—	—	88	552	P04			
ナックル部 SFVQ1A	Ⅲ _A S	—	—	—	113	394	P07 - P08	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	—	—	—	118	416	P07 - P08	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	—	—	—	—	66	552	P07	0.011	1.0	P07
	Ⅳ _A S	—	—	—	—	—	—	90	552	P07			
ナックル部と 円筒胴部の 接続部 SFVQ1A	Ⅲ _A S	—	—	—	112	394	P11 - P12	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	—	—	—	116	416	P11 - P12	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	—	—	—	—	44	552	P11	0.025	1.0	P12
	Ⅳ _A S	—	—	—	—	—	—	58	552	P11			

注記* : 疲労累積係数は、運転状態Ⅰ及びⅡに地震荷重 S_d^* 又は地震荷重 S_s のいずれか大きい方を加えた値である。

3.2 計算条件

3.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1節に示す。

3.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2節に示す。

3.2.3 材料

各部の材料を図3-1に示す。

3.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」の3.4節に示す。

3.2.5 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の4.3節に示す。

3.2.6 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5節に示す。

3.3 応力計算

3.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図3-1に示す。

なお、応力集中を生じる箇所の応力集中係数は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)e.に定めるとおりである。

3.3.2 内圧及び差圧による応力

(1) 荷重条件 (L01及びL02)

各運転状態による内圧及び差圧は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)e.に定めるとおりである。

(2) 計算方法

内圧及び差圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)e.に定めるとおりである。

3.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L12, L13, L18, L19, L14及びL16)

外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(1)に示す。

(2) 計算方法

外荷重による形状不連続の効果を含まない応力の計算は、「応力解析の方針」の5.1節に示す解析コード「PIPE」により行う。

外荷重による形状不連続の効果を含まない応力の計算は、二次元軸対称の有限要素でモデル化し、「応力解析の方針」の5.1節に示す解析コード「STAX」及び「ASHSD」により行う。

解析においては、胴板及びシュラウドサポートとの取り合い部で溶接されるため、胴板、シュラウドサポート及びシュラウドの一部を含めてモデル化している。拘束条件は、下部鏡板及び胴板の端部の変位を拘束している。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件を図3-2に示す。また、地震による評価に用いる機器の諸元について表3-2に示す。

3.3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の5.2.2項に定めるとおりである。

3.4 応力強さの評価

3.4.1 一次一般膜応力強さの評価

応力評価面P01-P02及びP01'-P02'について各許容応力状態における評価を表3-3に示す。なお、その他の応力評価面は、構造不連続部であるため、一次一般膜応力に分類される応力は存在しない。

表3-3より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

3.4.2 一次膜+一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表3-4に示す。

表3-4より、各許容応力状態の一次膜+一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

3.4.3 一次＋二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表3-5に示す。

表3-5より、すべての評価点において $S_n^{\#1}$ 及び $S_n^{\#2}$ は、 $3 \cdot S_m$ 以下であり、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

3.5 繰返し荷重の評価

3.5.1 疲労解析

下部鏡板の応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

各応力評価点における疲労累積係数を表3-6に示す。

表3-6より、各応力評価点において疲労累積係数は1.0以下であり、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容値を満足する。

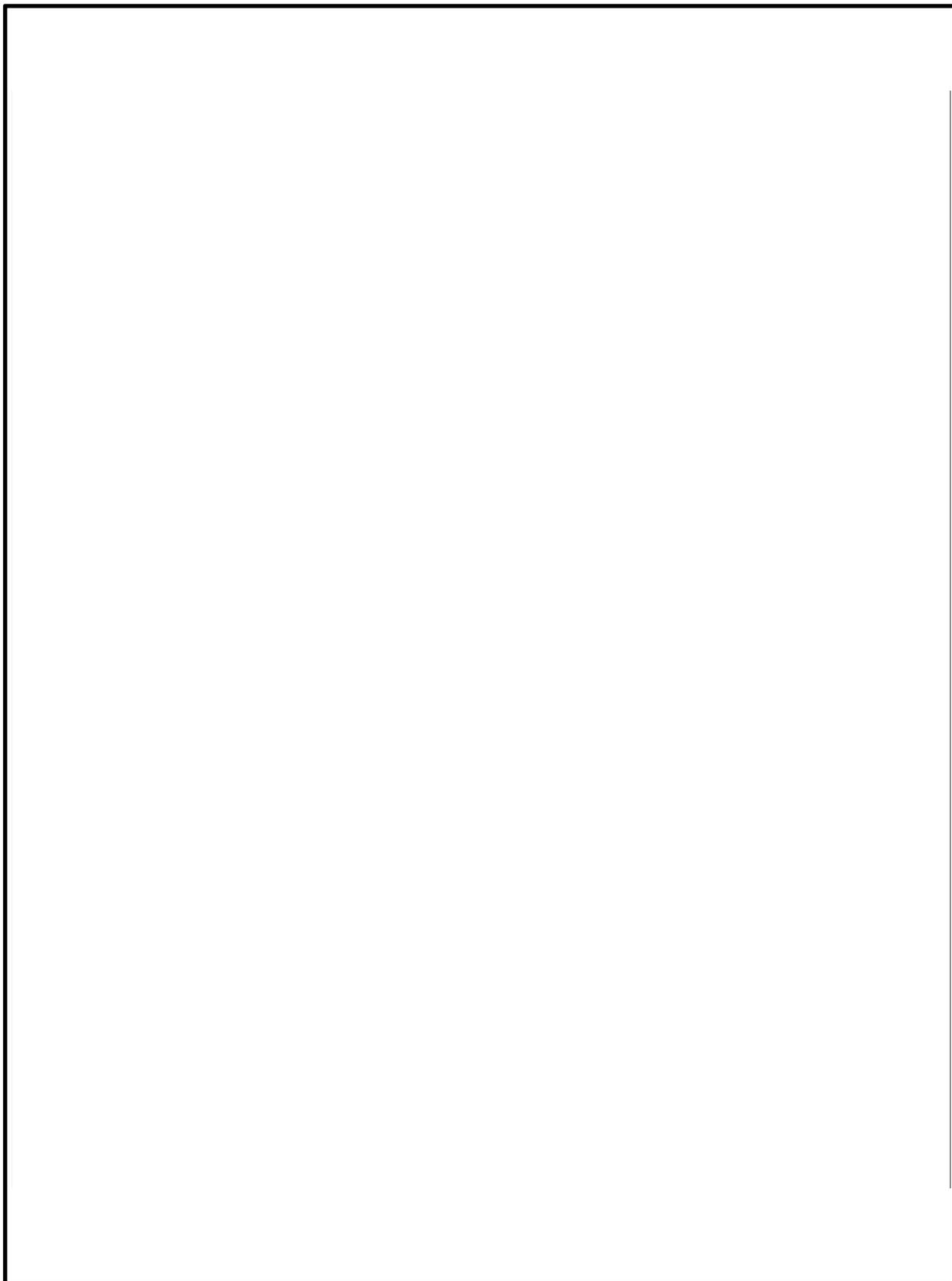


図 3-2 応力計算のモデル

表 3-2 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SFVQ1A
温度条件	T	°C	
縦弾性係数	SFVQ1A	E	MPa
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	—	
節点数	—	—	

表 3-3 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	188	303	195	320
P01' P02'	176	303	169	320

表 3-4 一次膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	209	394	216	416
P01' P02'	195	394	188	416
P03 P04	94	394	98	416
P03' P04'	77	394	73	416
P05 P06	111	394	117	416
P05' P06'	88	394	83	416
P07 P08	113	394	118	416
P07' P08'	87	394	82	416
P09 P10	101	394	107	416
P09' P10'	70	394	64	416
P11 P12	112	394	116	416
P11' P12'	95	394	91	416

表 3-5 一次+二次応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価点	一次+二次応力差最大範囲 ($P_L + P_b + Q$)		
	$S_n \# 1$	$S_n \# 2$	許容応力 $3 \cdot S_m$
P01	16	30	552
P01'	16	30	552
P02	14	30	552
P02'	14	30	552
P03	52	54	552
P03'	52	54	552
P04	74	88	552
P04'	74	88	552
P05	62	82	552
P05'	62	82	552
P06	34	40	552
P06'	34	40	552
P07	66	90	552
P07'	66	90	552
P08	40	52	552
P08'	40	52	552
P09	54	72	552
P09'	54	72	552
P10	28	38	552
P10'	28	38	552
P11	44	58	552
P11'	44	58	552
P12	22	32	552
P12'	22	32	552

表 3-6 疲労累積係数の評価のまとめ

応力評価点	疲労累積係数				許容値
	U_n	U_{S_d}	U_{S_s}	U_f^*	
P01	0.006	0.000	0.000	0.006	1.0
P01'	0.006	0.000	0.000	0.006	1.0
P02	0.007	0.000	0.000	0.007	1.0
P02'	0.007	0.000	0.000	0.007	1.0
P03	0.001	0.000	0.000	0.001	1.0
P03'	0.001	0.000	0.000	0.001	1.0
P04	0.001	0.000	0.000	0.001	1.0
P04'	0.001	0.000	0.000	0.001	1.0
P05	0.006	0.000	0.000	0.006	1.0
P05'	0.006	0.000	0.000	0.006	1.0
P06	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P06'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P07	0.011	0.000	0.000	0.011	1.0
P07'	0.011	0.000	0.000	0.011	1.0
P08	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P08'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P09	0.005	0.000	0.000	0.005	1.0
P09'	0.005	0.000	0.000	0.005	1.0
P10	0.001	0.000	0.000	0.001	1.0
P10'	0.001	0.000	0.000	0.001	1.0
P11	0.008	0.000	0.000	0.008	1.0
P11'	0.008	0.000	0.000	0.008	1.0
P12	0.025	0.000	0.000	0.025	1.0
P12'	0.025	0.000	0.000	0.025	1.0

注記* : 疲労累積係数 U_f は、運転状態 I 及び II に地震荷重 S_d^* 又は地震荷重 S_s のいずれか大きい方を加えた値である。

4. 制御棒駆動機構ハウジング貫通孔の応力計算

4.1 一般事項

本章は、制御棒駆動機構ハウジング貫通孔の応力計算について示すものである。

制御棒駆動機構ハウジング貫通孔は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

注：以下、制御棒駆動機構ハウジングを「ハウジング」、制御棒駆動機構ハウジング貫通孔スタブチューブを「スタブチューブ」という。

4.1.1 記号の説明

記号の説明を「応力解析の方針」の2.4節に示す。

更に、本章において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
R_i	スタブチューブの内半径	mm
t	スタブチューブの最小厚さ	mm
A	スタブチューブの断面積	mm ²
Z	スタブチューブの断面係数	mm ³
σ_{ca}	許容応力	MPa
L	スタブチューブの最大長さ	m

4.1.2 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所の形状・寸法・材料を図4-1に示す。

4.1.3 解析範囲

解析範囲を図4-1に示す。

4.1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表4-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、各部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、疲労累積係数が厳しくなる評価点を記載する。

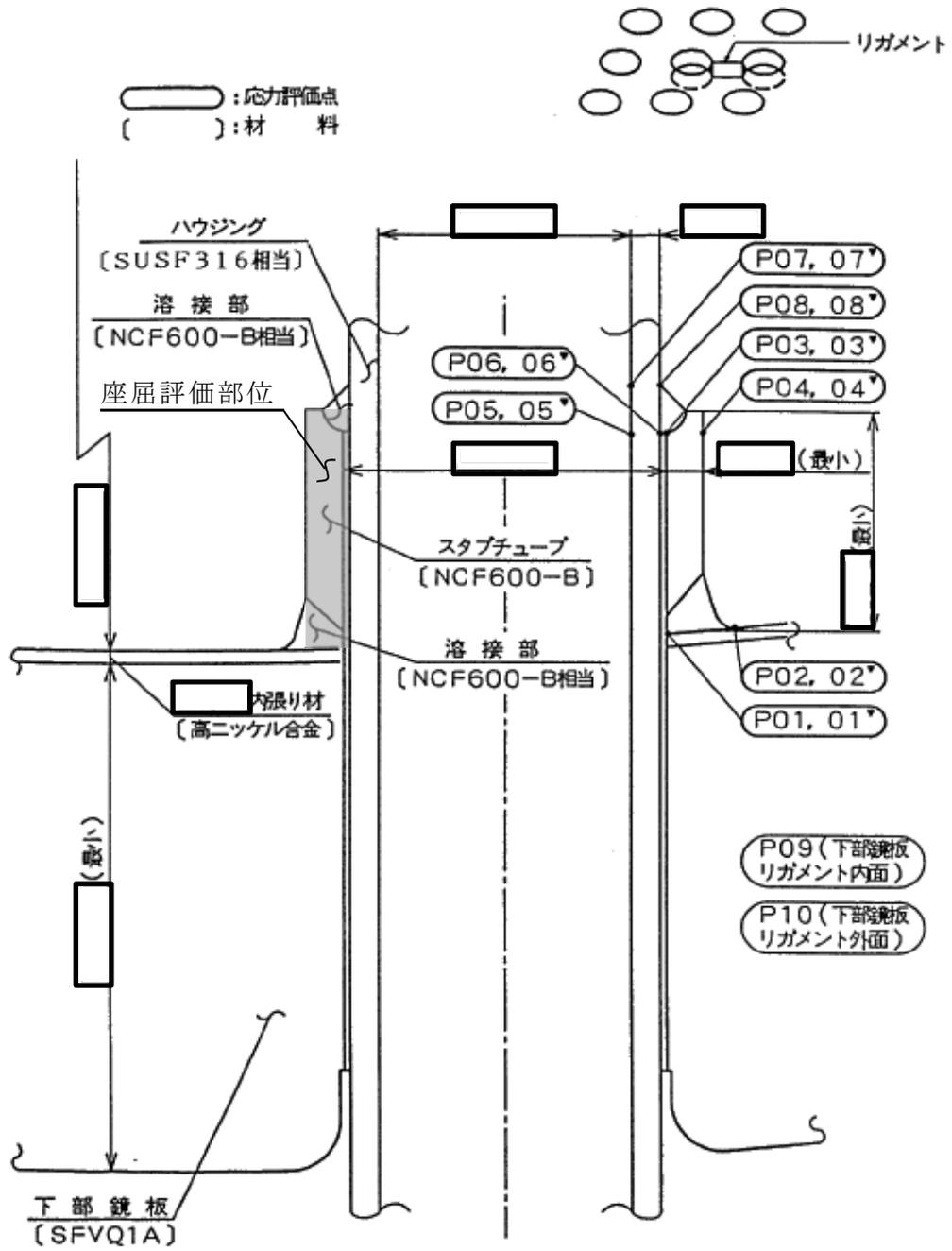


図4-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 4-1(1) 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次膜+一次曲げ応力強さ (MPa)			一次+二次応力強さ (MPa)			疲労解析		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価点	疲労* 累積係数	許容値	応力 評価点
スタブ チューブ NCF600-B NCF600-B 相当	Ⅲ _A S	53	196	P01' - P02'	193	269	P01' - P02'	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	55	334	P01' - P02'	192	457	P01' - P02'	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	—	—	—	—	102	492	P03	0.059	1.0	P01
	Ⅳ _A S	—	—	—	—	—	—	100	492	P03			
ハウジング SUSF316 相当	Ⅲ _A S	54	142	P05 - P06	76	198	P05 - P06	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	55	280	P05 - P06	77	389	P05 - P06	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	—	—	—	—	68	360	P08	0.008	1.0	P06
	Ⅳ _A S	—	—	—	—	—	—	66	360	P06			
下部鏡板 リガメント SFVQ1A	Ⅲ _A S	165	303	P09' - P10'	171	454	P09 - P10	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	165	320	P09' - P10'	171	481	P09 - P10	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	—	—	—	—	10	552	P09	0.030	1.0	P09
	Ⅳ _A S	—	—	—	—	—	—	10	552	P09			

注記* : 疲労累積係数は、運転状態Ⅰ及びⅡに地震荷重 S_d*又は地震荷重 S_s のいずれか大きい方を加えた値である。

表4-1(2) 計算結果の概要

(単位: MPa)

部分及び材料	許容応力状態	座屈に対する評価	
		圧縮応力	許容応力
スタブチューブ NCF600-B	Ⅲ _A S	85	99
	Ⅳ _A S	83	124

4.2 計算条件

4.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1節に示す。

4.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2節に示す。

4.2.3 材料

各部の材料を図4-1に示す。

4.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」の3.4節に示す。

4.2.5 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の4.3節に示す。

4.2.6 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5節に示す。

4.3 応力計算

4.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図4-1に示す。

なお、応力集中を生じる箇所の応力集中係数は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)f.に定めるとおりである。

4.3.2 内圧による応力

(1) 荷重条件 (L01)

各運転状態による内圧は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)f.に定めるとおりである。

(2) 計算方法

内圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)f.に定めるとおりである。

4.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L12, L13, L18, L19, L14及びL16)

外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(3)に示す。

(2) 計算方法

外荷重による形状不連続の効果を含まない応力の計算は、「応力解析の方針」の5.1節に示す解析コード「PIPE」により行う。

外荷重による形状不連続の効果を含まない応力の計算は、二次元軸対称の有限要素でモデル化し、「応力解析の方針」の5.1節に示す解析コード「STAX」及び「ASHSD」により行う。

解析においては、下部鏡板との取り合い部で溶接されるため、下部鏡板の一部を含めてモデル化している。拘束条件は、下部鏡板の端部を拘束している。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件を図4-2に示す。また、地震による評価に用いる機器の諸元について表4-2に示す。

4.3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の5.2.2項に定めるとおりである。

4.4 応力強さの評価

4.4.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表4-3に示す。

表4-3より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

4.4.2 一次膜+一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表4-4に示す。

表4-4より、各許容応力状態の一次膜+一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

4.4.3 一次+二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表4-5に示す。

表4-5より、すべての評価点において $S_n^{\#1}$ 及び $S_n^{\#2}$ は、 $3 \cdot S_m$ 以下であり、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

4.5 繰返し荷重の評価

4.5.1 疲労解析

スタブチューブ、ハウジング及び下部鏡板リガメント部の応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

各応力評価点における疲労累積係数を表4-6に示す。

表4-6より、各応力評価点において疲労累積係数は1.0以下であり、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容値を満足する。

4.6 特別な応力の評価

4.6.1 座屈に対する評価

スタブチューブには、制御棒駆動機構ハウジング貫通孔に作用する鉛直力及びモーメントにより、圧縮応力が生じる。したがって、これらの荷重の組合せにより発生する圧縮応力の評価を行う。

(1) 計算データ

スタブチューブの内半径 $R_i = \boxed{} \text{ mm}$

スタブチューブの最小厚さ $t = \boxed{} \text{ mm}$

スタブチューブの断面積

$$A = \pi \cdot \{(R_i + t)^2 - R_i^2\} = \pi \times \boxed{} = \boxed{} \text{ mm}^2$$

スタブチューブの断面係数

$$Z = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{(R_i + t)^4 - R_i^4}{R_i + t} = \frac{\pi}{4} \times \boxed{} \\ = \boxed{} \text{ mm}^3$$

(2) 荷重

スタブチューブに作用する鉛直力及びモーメントを「応力解析の方針」の表4-1(3)に示す。

(3) 圧縮応力

計算データ（断面性能）を基に、表4-7に示す各許容応力状態の荷重によってスタブチューブに発生する圧縮応力を表4-8に示す。

(4) 許容応力

各許容応力状態における許容応力の計算は、設計・建設規格 PVB-3117を準用して計算する。

a. 許容応力状態ⅢAS

許容応力状態ⅢASにおける許容応力 σ_{ca} は、次のように得られる。

$$\sigma_{ca} = 1.2 \text{MIN}[S_m, B]$$

ここで、

$$S_m = \boxed{} \text{MPa}$$

$$B = 83 \text{ MPa}$$

$$\boxed{} \text{°Cにおける値}$$

このうちB値は、設計・建設規格 PVB-3117より、次のようにして求める。
設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1より

$$A = \frac{0.125}{R_i / t} = \frac{0.125}{\boxed{}} = \boxed{}$$

を用いて、設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図7より

$$B = 83 \text{ MPa}$$

よって、許容応力 σ_{ca} は、

$$\sigma_{ca} = 1.2 \cdot B = 1.2 \times 83 = 99 \text{ MPa}$$

b. 許容応力状態ⅣAS

許容応力状態ⅣASにおける許容応力 σ_{ca} は、次のように得られる。

$$\sigma_{ca} = 1.5 \text{MIN}[S_m, B]$$

よって、許容応力 σ_{ca} は、

$$\sigma_{ca} = 1.5 \cdot B = 1.5 \times 83 = 124 \text{ MPa}$$

(5) 座屈に対する評価

各許容応力状態における座屈に対する評価を表4-8に示す。

表4-8より、各許容応力状態における圧縮応力は、許容応力を満足するため、座屈は発生しない。

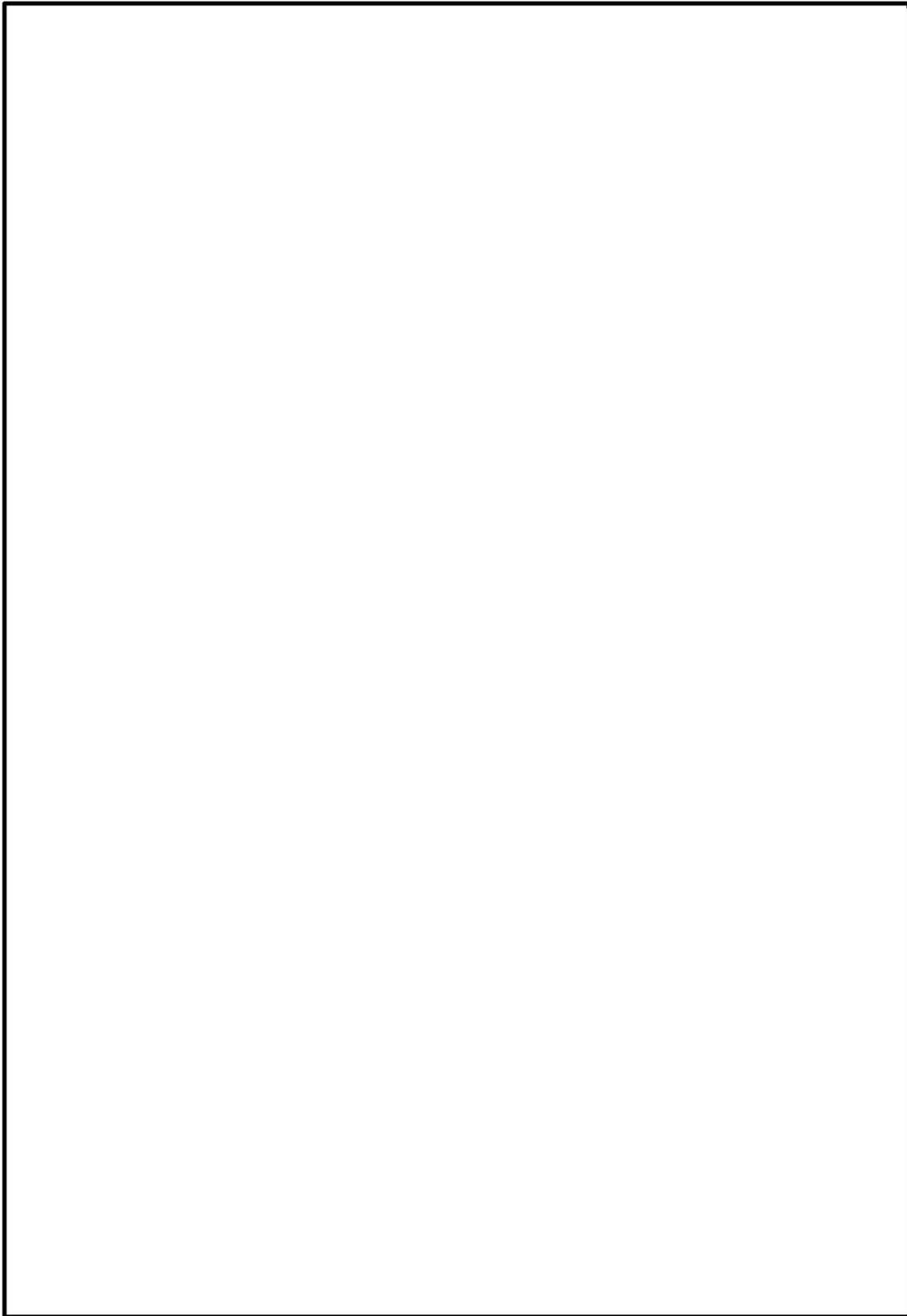


図 4-2 応力計算のモデル

表 4-2 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SFVQ1A
	—	—	SUSF316
	—	—	NCF600-B
温度条件	T	℃	
縦弾性係数	SFVQ1A	E	MPa
	SUSF316	E	MPa
	NCF600-B	E	MPa
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	—	
節点数	—	—	

表 4-3 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	49	196	49	334
P01' P02'	53	196	55	334
P03 P04	49	196	49	334
P03' P04'	53	196	55	334
P05 P06	54	142	55	280
P05' P06'	50	142	49	280
P07 P08	2	142	1	280
P07' P08'	5	142	5	280
P09 P10	161	303	161	320
P09' P10'	165	303	165	320

表 4-4 一次膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	142	269	143	457
P01' P02'	193	269	192	457
P03 P04	13	269	13	457
P03' P04'	58	269	57	457
P05 P06	76	198	77	389
P05' P06'	43	198	42	389
P07 P08	32	198	29	389
P07' P08'	24	198	21	389
P09 P10	171	454	171	481
P09' P10'	154	454	154	481

表 4-5 一次+二次応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価点	一次+二次応力差最大範囲 ($P_L + P_b + Q$)		
	$S_n \# 1$	$S_n \# 2$	許容応力 $3 \cdot S_m$
P01	36	36	492
P01'	36	36	492
P02	72	66	492
P02'	72	66	492
P03	102	100	492
P03'	102	100	492
P04	20	18	492
P04'	20	18	492
P05	8	10	360
P05'	8	10	360
P06	58	66	360
P06'	58	66	360
P07	10	6	360
P07'	10	6	360
P08	68	60	360
P08'	68	60	360
P09	10	10	552
P09'	10	10	552
P10	2	2	552
P10'	2	2	552

表 4-6 疲労累積係数の評価のまとめ

応力評価点	疲労累積係数				許容値
	U_n	U_{S_d}	U_{S_s}	U_f^*	
P01	0.059	0.000	0.000	0.059	1.0
P01'	0.059	0.000	0.000	0.059	1.0
P02	0.004	0.000	0.000	0.004	1.0
P02'	0.004	0.000	0.000	0.004	1.0
P03	0.015	0.002	0.002	0.017	1.0
P03'	0.015	0.002	0.002	0.017	1.0
P04	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P04'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P05	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P05'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P06	0.007	0.001	0.001	0.008	1.0
P06'	0.007	0.001	0.001	0.008	1.0
P07	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P07'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P08	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P08'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P09	0.030	0.000	0.000	0.030	1.0
P09'	0.030	0.000	0.000	0.030	1.0
P10	0.012	0.000	0.000	0.012	1.0
P10'	0.012	0.000	0.000	0.012	1.0

注記* : 疲労累積係数 U_f は、運転状態Ⅰ及びⅡに地震荷重 S_d^* 又は地震荷重 S_s のいずれか大きい方を加えた値である。

表4-7 座屈に対する評価に用いる荷重

許容応力状態	鉛直力*1 V (kN)	モーメント*2 M (kN・m)
ⅢAS		
ⅣAS		

注記*1 : 「応力解析の方針」の4.2節に示す $V_1 + V_2$ の値

*2 : 「応力解析の方針」の4.2節に示す $M_1 + M_2 + (H_1 + H_2) \cdot L$ の値

Lは、スタブチューブの最大長さ=mである。

表4-8 座屈に対する評価

(単位 : MPa)

許容応力状態	圧縮応力	許容応力
ⅢAS	85	99
ⅣAS	83	124

5. 原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔（N1）の応力計算

5.1 一般事項

本章は、原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔（N1）の応力計算について示すものである。

原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔（N1）は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

注：以下、原子炉冷却材再循環ポンプを「R I P」、原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔を「貫通孔」、原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシングを「ケーシング」という。
また、原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔のうち、下部鏡板との接続部を「スタブ」という。

5.1.1 記号の説明

記号の説明を「応力解析の方針」の2.4節に示す。

更に、本章において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
R_i	貫通孔スタブの内半径	mm
t	貫通孔スタブの厚さ	mm
A	貫通孔スタブの断面積	mm ²
Z	貫通孔スタブの断面係数	mm ³
σ_{ca}	許容応力	MPa

5.1.2 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所形状・寸法・材料を図5-1に示す。

5.1.3 解析範囲

解析範囲を図5-1に示す。

5.1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表5-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、各部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、疲労累積係数が厳しくなる評価点を記載する。

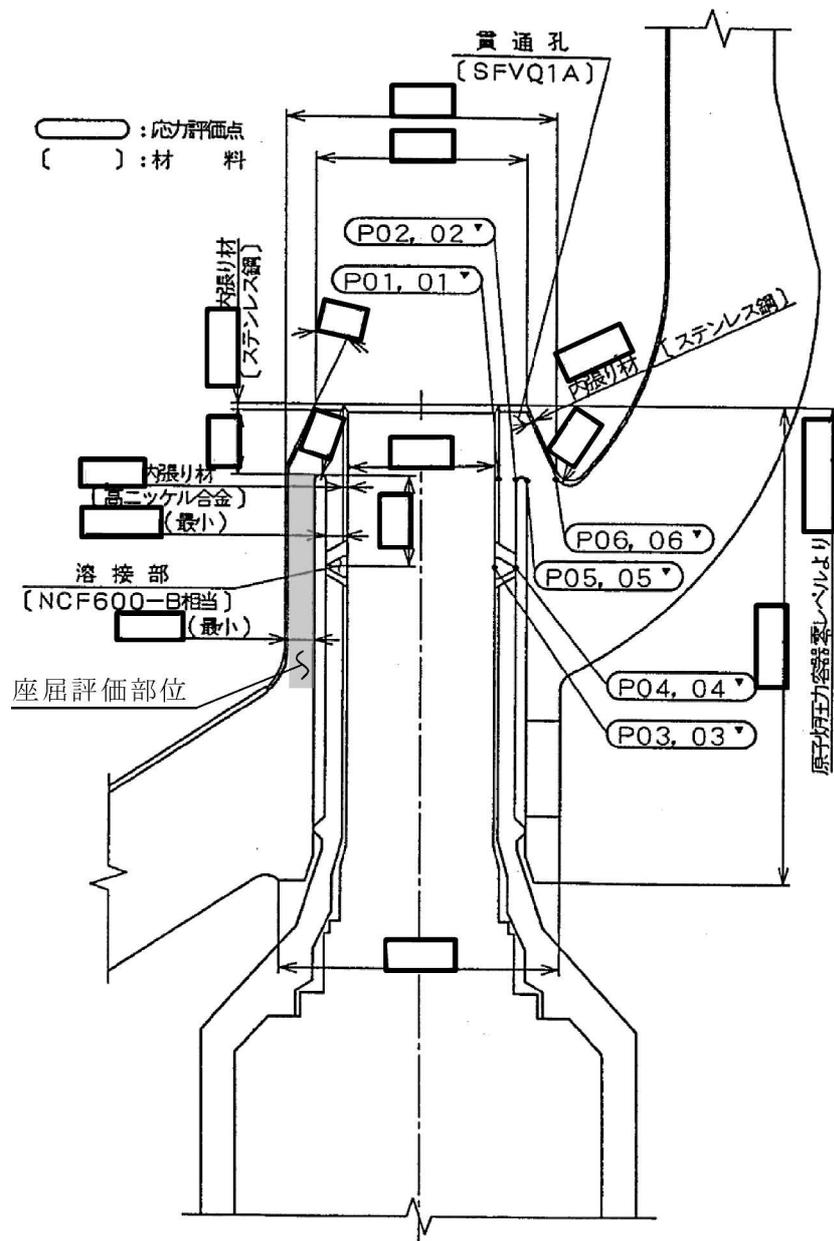


図5-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 5-1(1) 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次膜+一次曲げ応力強さ (MPa)			一次+二次応力強さ (MPa)			疲労解析		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価点	疲労* 累積係数	許容値	応力 評価点
ケーシング側 付け根R部 SFVQ1A	Ⅲ _A S	51	303	P01 - P02	224	418	P01' - P02'	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	53	320	P01 - P02	281	442	P01' - P02'	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	—	—	—	—	310	552	P02	0.241	1.0	P02
	Ⅳ _A S	—	—	—	—	—	—	520	552	P02			
R I Pノズル 溶接部 NCF600-B 相当	Ⅲ _A S	38	196	P03 - P04	110	277	P03 - P04	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	39	334	P03 - P04	160	470	P03 - P04	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	—	—	—	—	190	492	P04	0.001	1.0	P04
	Ⅳ _A S	—	—	—	—	—	—	322	492	P04			
スタブと下部 鏡板の接続部 SFVQ1A	Ⅲ _A S	45	303	P05 - P06	196	421	P05' - P06'	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	45	320	P05 - P06	214	445	P05' - P06'	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	—	—	—	—	98	552	P05	0.084	1.0	P05
	Ⅳ _A S	—	—	—	—	—	—	164	552	P05			

注記* : 疲労累積係数は、運転状態Ⅰ及びⅡに地震荷重 S_d*又は地震荷重 S_s のいずれか大きい方を加えた値である。

表5-1(2) 計算結果の概要

(単位 : MPa)

部分及び材料	許容応力状態	座屈に対する評価	
		圧縮応力	許容応力
貫通孔スタブ SFVQ1A	Ⅲ _A S	37	165
	Ⅳ _A S	57	207

5.2 計算条件

5.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1節に示す。

5.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2節に示す。

5.2.3 材料

各部の材料を図5-1に示す。

5.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」の3.4節に示す。

5.2.5 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の4.3節に示す。

5.2.6 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5節に示す。

5.3 応力計算

5.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図5-1に示す。

なお、応力集中を生じる箇所の応力集中係数は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)h.に定めるとおりである。

5.3.2 内圧及び動圧による応力

(1) 荷重条件 (L01及びL02)

各運転状態による内圧及び動圧は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)h.に定めるとおりである。

(2) 計算方法

内圧及び動圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)h.に定めるとおりである。

5.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L07, L12, L14及びL16)

外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(4)に示す。

(2) 計算方法

外荷重による形状不連続の効果を含まない応力の計算は、「応力解析の方針」の5.1節に示す解析コード「PIPE」により行う。

外荷重による形状不連続の効果を含まない応力の計算は、二次元軸対称の有限要素でモデル化し、「応力解析の方針」の5.1節に示す解析コード「STAX」及び「ASHSD」により行う。

解析においては、ケーシング及び下部鏡板との取り合い部で溶接されるため、ケーシング及び下部鏡板の一部を含めてモデル化している。拘束条件は、下部鏡板の端部を拘束している。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件を図5-2に示す。また、地震による評価に用いる機器の諸元について表5-2に示す。

5.3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の5.2.2項に定めるとおりである。

5.4 応力強さの評価

5.4.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表5-3に示す。

表5-3より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

5.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表5-4に示す。

表5-4より、各許容応力状態の一次膜＋一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

5.4.3 一次＋二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表5-5に示す。

表5-5より、すべての評価点において $S_n^{\#1}$ 及び $S_n^{\#2}$ は、 $3 \cdot S_m$ 以下であり、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

5.5 繰返し荷重の評価

5.5.1 疲労解析

貫通孔及びR I Pノズル溶接部の応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

各応力評価点における疲労累積係数を表5-6に示す。

表5-6より、各応力評価点において疲労累積係数は1.0以下であり、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容値を満足する。

5.6 特別な応力の評価

5.6.1 座屈に対する評価

貫通孔スタブには、原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔(N1)に作用する鉛直力及びモーメントにより、圧縮応力が生じる。したがって、これらの荷重の組合せにより発生する圧縮応力の評価を行う。

(1) 計算データ

貫通孔スタブの内半径 $R_i = \text{[] mm}$ (くされ代を除いた値)

貫通孔スタブの厚さ $t = \text{[] mm}$ (くされ代を除いた値)

貫通孔スタブの断面積

$$A = \pi \cdot \{(R_i + t)^2 - R_i^2\} = \pi \times \text{[]} = \text{[]} \text{ mm}^2$$

貫通孔スタブの断面係数

$$Z = \frac{\pi \cdot (R_i + t)^4 - R_i^4}{4(R_i + t)} = \frac{\pi}{4} \times \text{[]}$$
$$= \text{[]} \text{ mm}^3$$

(2) 荷重

貫通孔スタブに作用する鉛直力及びモーメントを「応力解析の方針」の表4-1(4)に示す。

(3) 圧縮応力

計算データ(断面性能)を基に、表5-7に示す各許容応力状態の荷重によって貫通孔スタブに発生する圧縮応力を表5-8に示す。

(4) 許容応力

各許容応力状態における許容応力の計算は、設計・建設規格 PVB-3117を準用して計算する。

a. 許容応力状態ⅢAS

許容応力状態ⅢASにおける許容応力 σ_{ca} は、次のように得られる。

$$\sigma_{ca} = 1.2 \text{MIN}[S_m, B]$$

ここで、

$$S_m = \boxed{} \text{ MPa}$$

$$B = 138 \text{ MPa}$$

$$\boxed{} \text{ }^\circ\text{C} \text{ における値}$$

このうちB値は、設計・建設規格 PVB-3117より、次のようにして求める。
設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1より

$$A = \frac{0.125}{R_i / t} = \frac{0.125}{\boxed{}} = \boxed{}$$

を用いて、設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図6より

$$B = 138 \text{ MPa}$$

よって、許容応力 σ_{ca} は、

$$\sigma_{ca} = 1.2 \cdot B = 1.2 \times 138 = 165 \text{ MPa}$$

b. 許容応力状態ⅣAS

許容応力状態ⅣASにおける許容応力 σ_{ca} は、次のように得られる。

$$\sigma_{ca} = 1.5 \text{MIN}[S_m, B]$$

よって、許容応力 σ_{ca} は、

$$\sigma_{ca} = 1.5 \cdot B = 1.5 \times 138 = 207 \text{ MPa}$$

(5) 座屈に対する評価

各許容応力状態における座屈に対する評価を表5-8に示す。

表5-8より、各許容応力状態における圧縮応力は、許容応力を満足するため、座屈は発生しない。

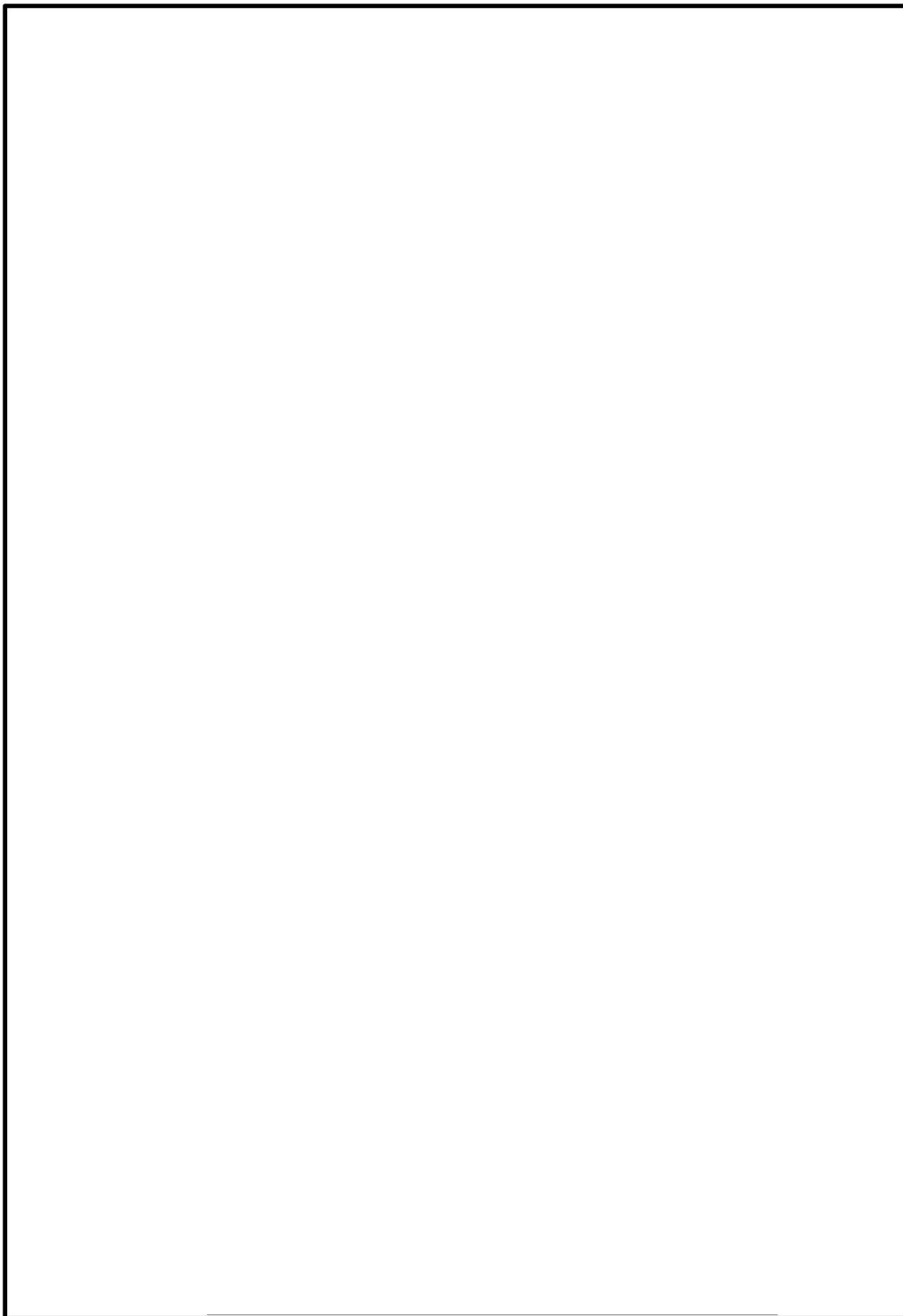


図 5-2(1) 応力計算のモデル

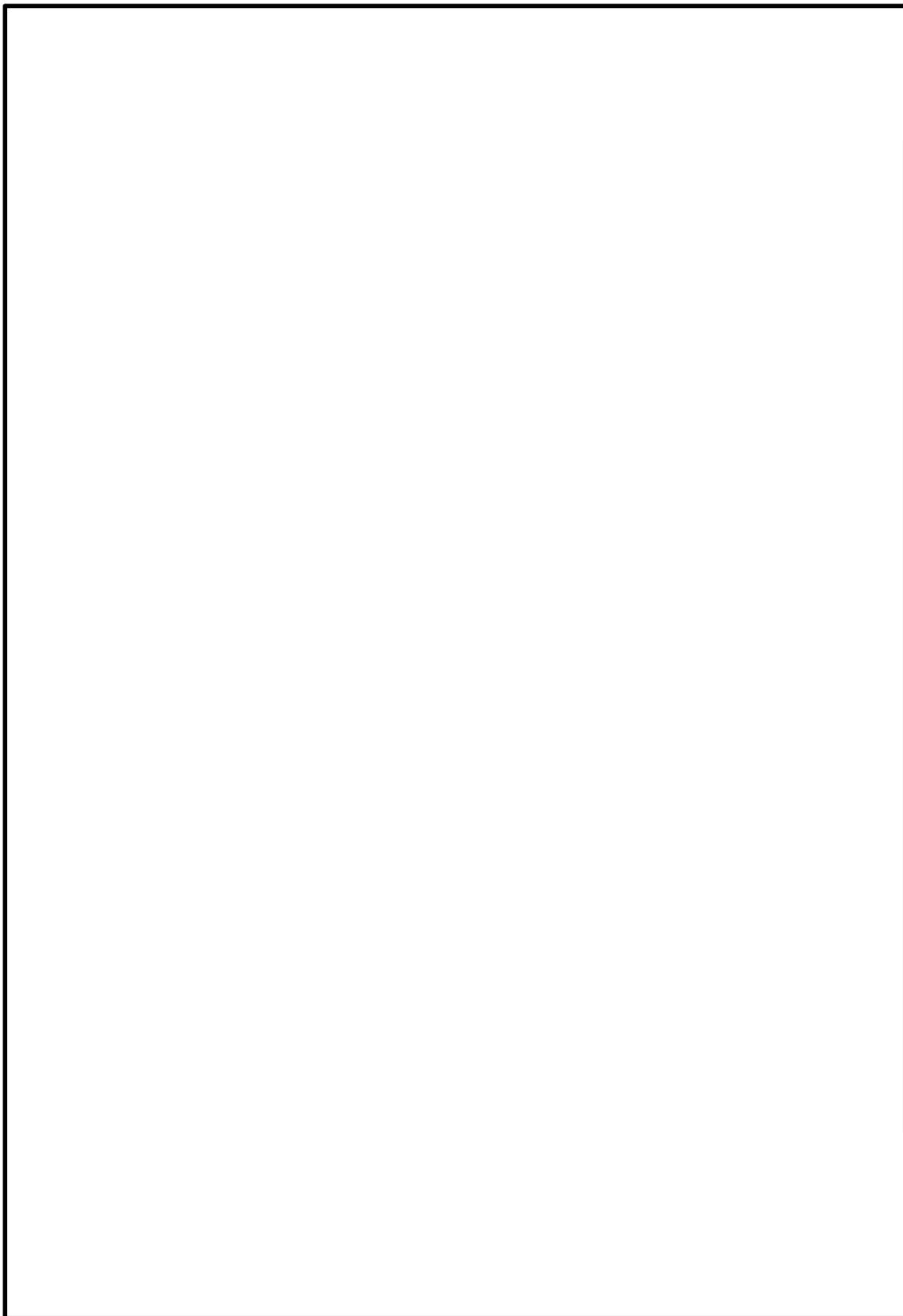


図 5-2(2) 応力計算のモデル

表 5-2 機器諸元

項目		記号	単位	入力値
材質		—	—	SFVQ1A
		—	—	NCF600-B
温度条件		T	℃	
縦弾性係数	SFVQ1A	E	MPa	
	NCF600-B	E	MPa	
ポアソン比		ν	—	
要素数		—	—	
節点数		—	—	

表 5-3 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	51	303	53	320
P01' P02'	51	303	52	320
P03 P04	38	196	39	334
P03' P04'	37	196	38	334
P05 P06	45	303	45	320
P05' P06'	45	303	45	320

表 5-4 一次膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	122	418	177	442
P01' P02'	224	418	281	442
P03 P04	110	277	160	470
P03' P04'	103	277	153	470
P05 P06	141	421	129	445
P05' P06'	196	421	214	445

表 5-5 一次+二次応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価点	一次+二次応力差最大範囲 ($P_L + P_b + Q$)		
	$S_n \# 1$	$S_n \# 2$	許容応力 $3 \cdot S_m$
P01	34	54	552
P01'	34	54	552
P02	310	520	552
P02'	310	520	552
P03	80	130	492
P03'	80	130	492
P04	190	322	492
P04'	190	322	492
P05	98	164	552
P05'	98	164	552
P06	20	30	552
P06'	20	30	552

表 5-6 疲労累積係数の評価のまとめ

応力評価点	疲労累積係数				許容値
	U_n	U_{S_d}	U_{S_s}	U_f^*	
P01	0.026	0.000	0.000	0.026	1.0
P01'	0.026	0.000	0.000	0.026	1.0
P02	0.040	0.045	0.201	0.241	1.0
P02'	0.025	0.045	0.201	0.226	1.0
P03	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P03'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P04	0.000	0.000	0.001	0.001	1.0
P04'	0.000	0.000	0.001	0.001	1.0
P05	0.075	0.002	0.009	0.084	1.0
P05'	0.068	0.002	0.009	0.077	1.0
P06	0.050	0.000	0.000	0.050	1.0
P06'	0.047	0.000	0.000	0.047	1.0

注記* : 疲労累積係数 U_f は、運転状態Ⅰ及びⅡに地震荷重 S_d^* 又は地震荷重 S_s のいずれか大きい方を加えた値である。

表5-7 座屈に対する評価に用いる荷重

許容応力状態	鉛直力* ¹ V (kN)	モーメント* ² M (kN・m)
ⅢAS		
ⅣAS		

注記*1 : 「応力解析の方針」の4.2節に示す $V_1 + V_2$ の値

*2 : 「応力解析の方針」の4.2節に示す $M_1 + M_2$ の値

表5-8 座屈に対する評価

(単位 : MPa)

許容応力状態	圧縮応力	許容応力
ⅢAS	37	165
ⅣAS	57	207

6. 主蒸気ノズル (N3) の応力計算

6.1 一般事項

本章は、主蒸気ノズル (N3) の応力計算について示すものである。

主蒸気ノズル (N3) は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

6.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所の形状・寸法・材料を図6-1に示す。

6.1.2 解析範囲

解析範囲を図6-1に示す。

6.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表6-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、各部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、疲労累積係数が厳しくなる評価点を記載する。

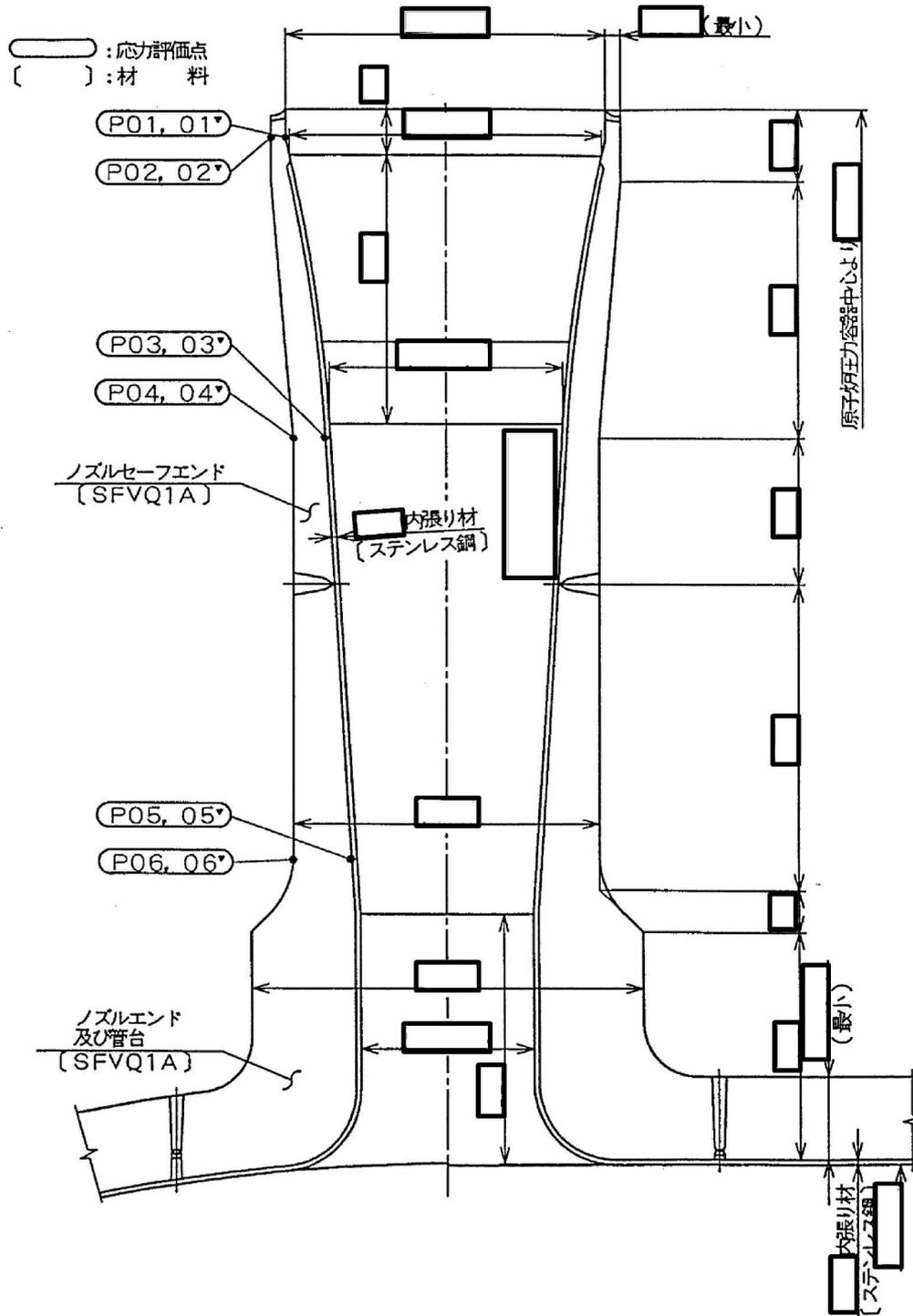


図6-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 6-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次膜+一次曲げ応力強さ (MPa)			一次+二次応力強さ (MPa)			疲労解析		
		応力 強さ	許容 応力	応力評価面	応力 強さ	許容 応力	応力評価面	応力 強さ	許容 応力	応力 評価点	疲労* 累積係数	許容値	応力 評価点
ノズル セーフエンド SFVQ1A	Ⅲ _A S	95	303	P01 - P02	96	400	P01 - P02	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	95	320	P01 - P02	98	423	P01 - P02	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	—	—	—	—	80	552	P01	0.004	1.0	P01
	Ⅳ _A S	—	—	—	—	—	—	136	552	P01			
ノズルエンド SFVQ1A	Ⅲ _A S	17	303	P05 - P06	36	454	P05 - P06	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	17	320	P05 - P06	40	481	P05 - P06	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	—	—	—	—	52	552	P06	0.002	1.0	P06
	Ⅳ _A S	—	—	—	—	—	—	90	552	P06			

注：管台（穴の周辺部）については設計・建設規格 PVB-3510(1)により、応力評価は不要である。

注記*：疲労累積係数は、運転状態Ⅰ及びⅡに地震荷重 S_d^* 又は地震荷重 S_s のいずれか大きい方を加えた値である。

6.2 計算条件

6.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1節に示す。

6.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2節に示す。

6.2.3 材料

各部の材料を図6-1に示す。

6.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」の3.4節に示す。

6.2.5 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の4.3節に示す。

6.2.6 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5節に示す。

6.3 応力計算

6.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図6-1に示す。

なお、応力集中を生じる箇所の応力集中係数は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1) i. に定めるとおりである。

6.3.2 内圧による応力

(1) 荷重条件 (L01)

各運転状態による内圧は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1) i. に定めるとおりである。

(2) 計算方法

内圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1) i. に定めるとおりである。

6.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L07, L14, L15, L16及びL17)

外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(5)に示す。

(2) 計算方法

外荷重による形状不連続の効果を含まない応力の計算は、「応力解析の方針」の5.1節に示す解析コード「PIPE」により行う。

外荷重による形状不連続の効果を含まない応力の計算は、二次元軸対称の有限要素でモデル化し、「応力解析の方針」の5.1節に示す解析コード「STAX」及び「ASHSD」により行う。

解析においては、胴板との取り合い部で溶接されるため、胴板の一部を含めてモデル化している。拘束条件は、胴板の端部を拘束している。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件を図6-2に示す。また、地震による評価に用いる機器の諸元について表6-2に示す。

6.3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の5.2.2項に定めるとおりである。

6.4 応力強さの評価

6.4.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表6-3に示す。

表6-3より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

6.4.2 一次膜+一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表6-4に示す。

表6-4より、各許容応力状態の一次膜+一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

6.4.3 一次+二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表6-5に示す。

表6-5より、すべての評価点において $S_n^{\#1}$ 及び $S_n^{\#2}$ は、 $3 \cdot S_m$ 以下であり、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

6.5 繰返し荷重の評価

6.5.1 疲労解析

ノズルセーフエンド及びノズルエンドの応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

各応力評価点における疲労累積係数を表6-6に示す。

表6-6より、各応力評価点において疲労累積係数は1.0以下であり、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容値を満足する。

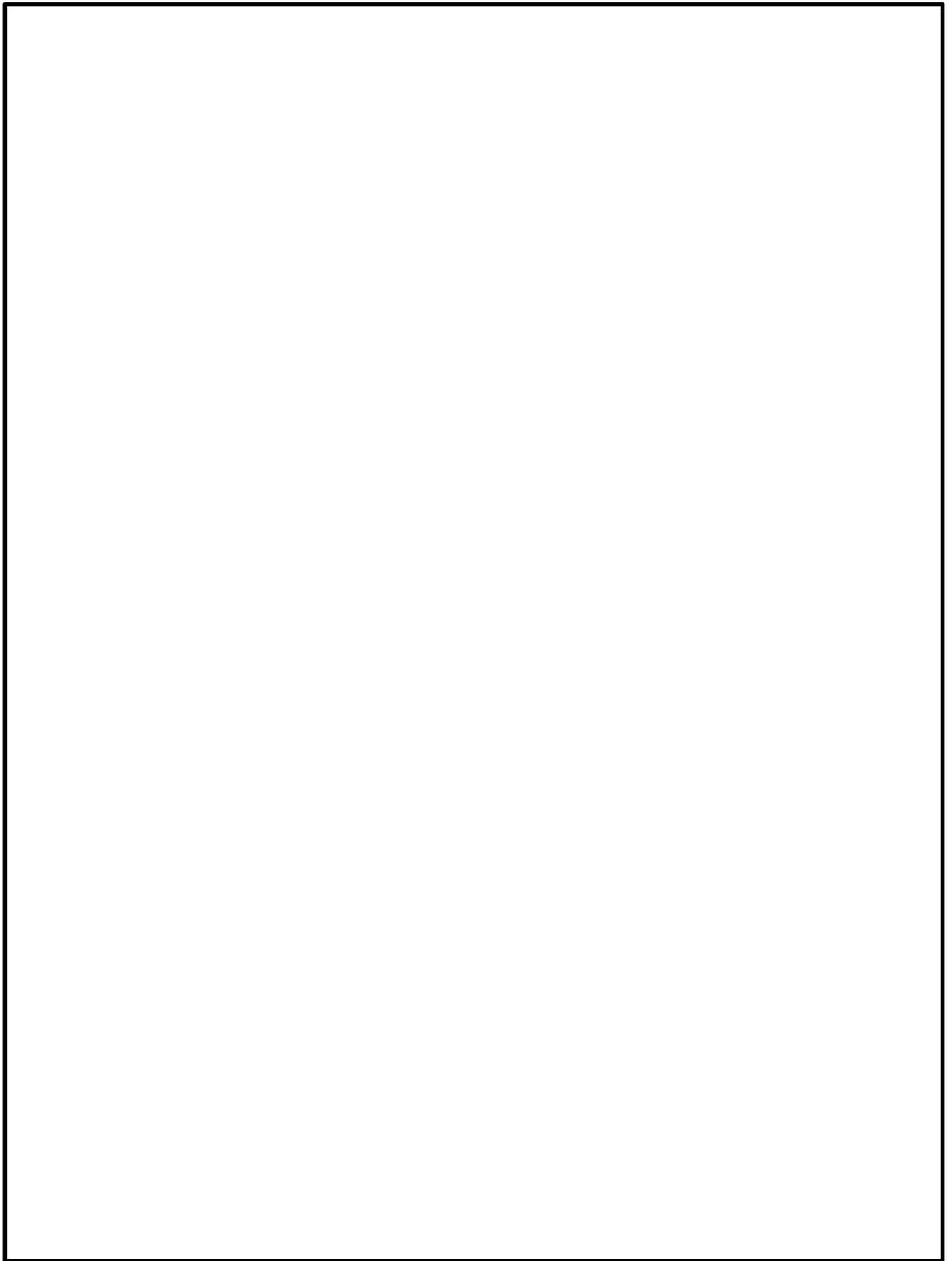


図 6-2(1) 応力計算のモデル

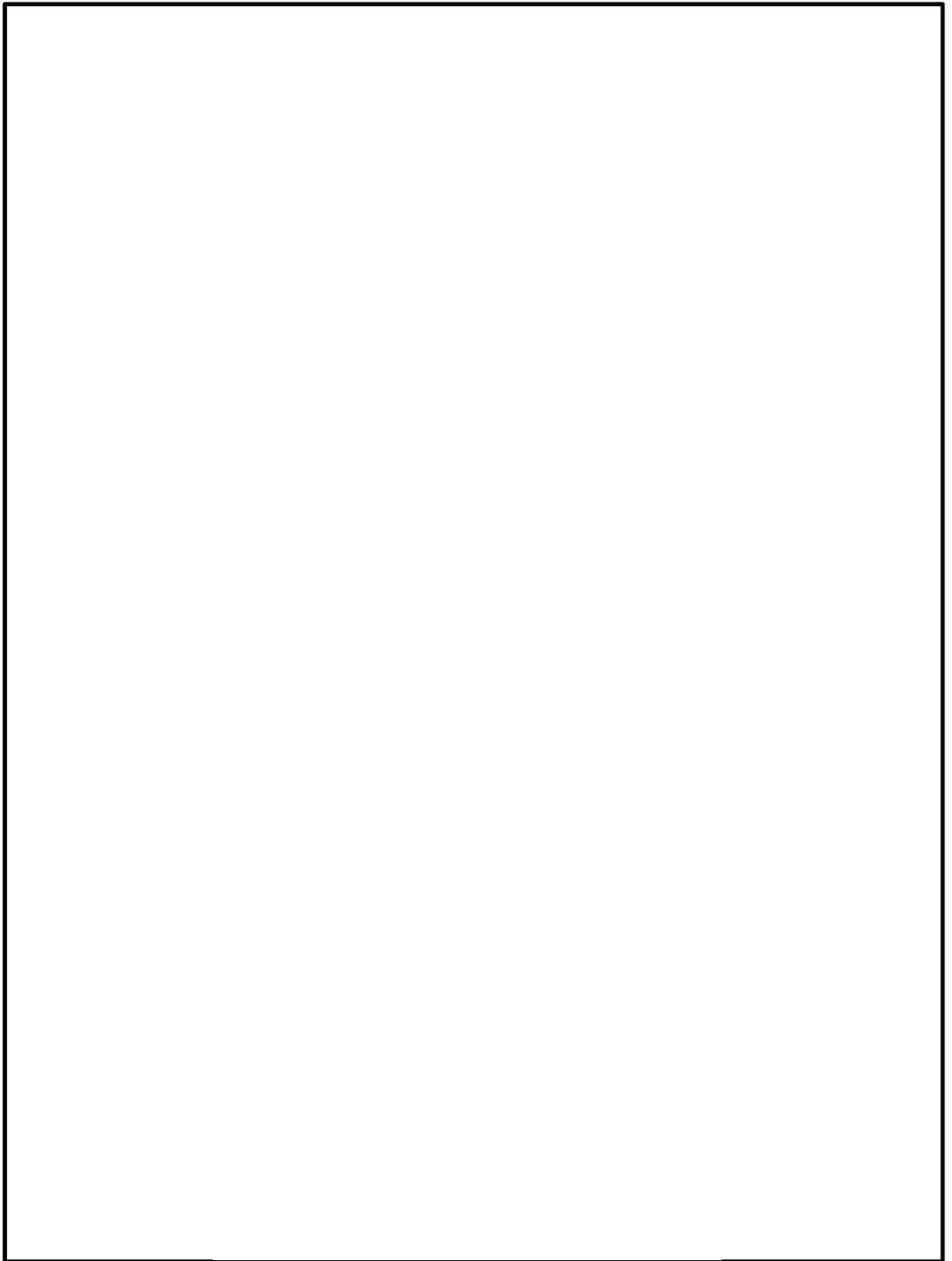


図 6-2(2) 応力計算のモデル

表 6-2 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SFVQ1A
温度条件	T	°C	
縦弾性係数	SFVQ1A	E	MPa
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	—	
節点数	—	—	

表 6-3 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	95	303	95	320
P01' P02'	95	303	95	320
P03 P04	33	303	33	320
P03' P04'	33	303	33	320
P05 P06	17	303	17	320
P05' P06'	17	303	17	320

表 6-4 一次膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	96	400	98	423
P01' P02'	95	400	95	423
P03 P04	43	430	48	455
P03' P04'	43	430	48	455
P05 P06	36	454	40	481
P05' P06'	35	454	39	481

表 6-5 一次+二次応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価点	一次+二次応力差最大範囲 ($P_L + P_b + Q$)		
	$S_n \# 1$	$S_n \# 2$	許容応力 $3 \cdot S_m$
P01	80	136	552
P01'	80	136	552
P02	68	116	552
P02'	68	116	552
P03	40	66	552
P03'	40	66	552
P04	52	96	552
P04'	52	96	552
P05	18	32	552
P05'	18	32	552
P06	52	90	552
P06'	52	90	552

表 6-6 疲労累積係数の評価のまとめ

応力評価点	疲労累積係数				許容値
	U_n	U_{S_d}	U_{S_s}	U_f^*	
P01	0.003	0.000	0.001	0.004	1.0
P01'	0.000	0.000	0.001	0.001	1.0
P02	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P02'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P03	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P03'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P04	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P04'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P05	0.002	0.000	0.000	0.002	1.0
P05'	0.002	0.000	0.000	0.002	1.0
P06	0.002	0.000	0.000	0.002	1.0
P06'	0.001	0.000	0.000	0.001	1.0

注記* : 疲労累積係数 U_f は、運転状態Ⅰ及びⅡに地震荷重 S_d^* 又は地震荷重 S_s のいずれか大きい方を加えた値である。

7. 給水ノズル (N4) の応力計算

7.1 一般事項

本章は、給水ノズル (N4) の応力計算について示すものである。

給水ノズル (N4) は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

7.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所の形状・寸法・材料を図7-1に示す。

7.1.2 解析範囲

解析範囲を図7-1に示す。

7.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表7-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、各部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、疲労累積係数が厳しくなる評価点を記載する。

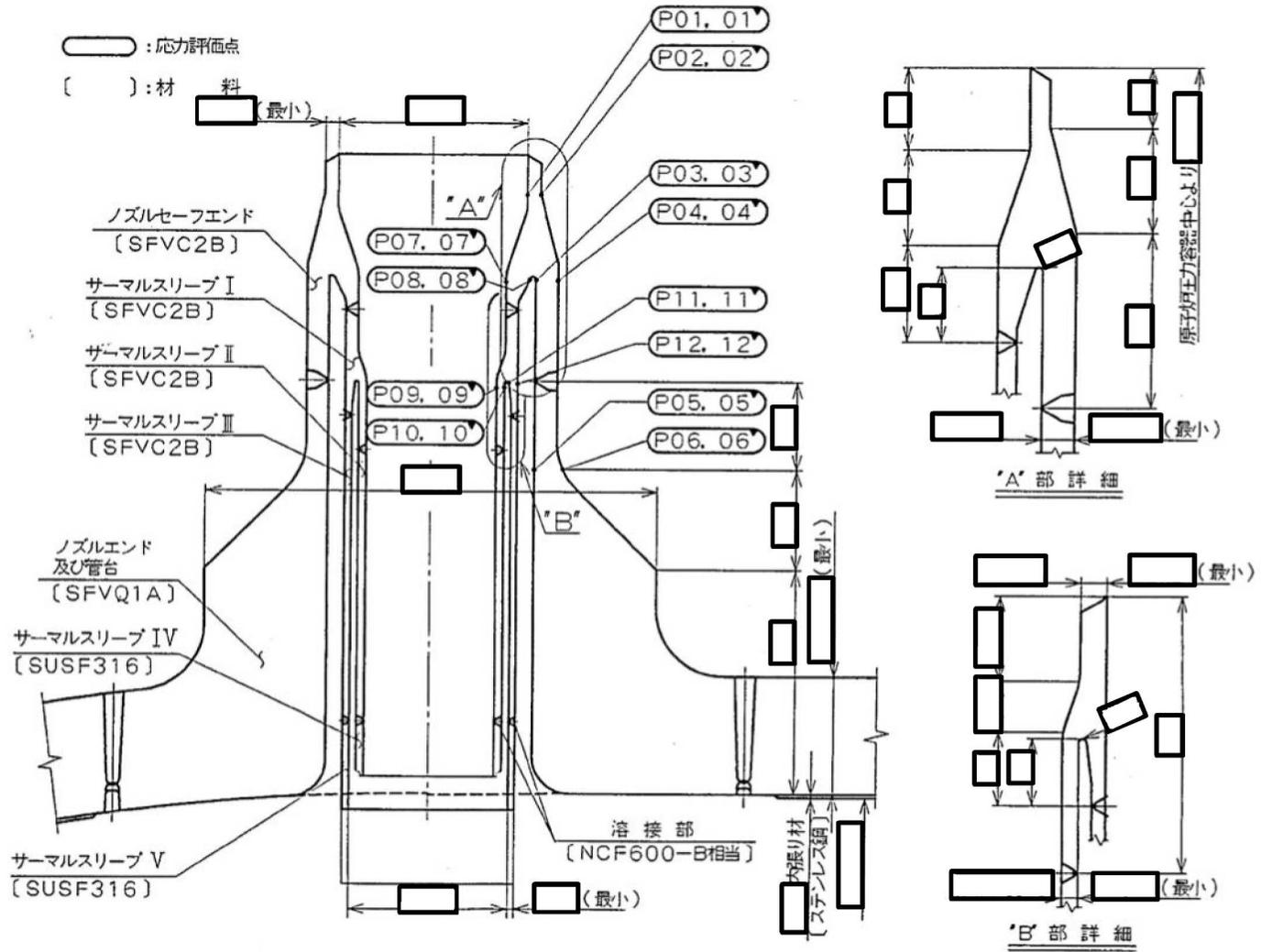


図 7-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 7-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次膜+一次曲げ応力強さ (MPa)			一次+二次応力強さ (MPa)			疲労解析		
		応力 強さ	許容 応力	応力評価面	応力 強さ	許容 応力	応力評価面	応力 強さ	許容 応力	応力 評価点	疲労* 累積係数	許容値	応力 評価点
ノズル セーフエンド SFVC2B	ⅢA S	88	188	P01 - P02	129	252	P01 - P02	—	—	—	—	—	—
	ⅣA S	102	292	P01 - P02	193	391	P01' - P02'	—	—	—	—	—	—
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	182	383	P02	0.100	1.0	P03'
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	362	383	P02			
ノズルエンド SFVQ1A	ⅢA S	56	303	P05 - P06	83	415	P05' - P06'	—	—	—	—	—	—
	ⅣA S	62	320	P05 - P06	123	439	P05' - P06'	—	—	—	—	—	—
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	134	552	P06	0.008	1.0	P06
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	274	552	P06			
サーマル スリーブ SFVC2B	ⅢA S	6	188	P09 - P10	39	248	P09 - P10	—	—	—	—	—	—
	ⅣA S	9	292	P09 - P10	65	385	P09 - P10	—	—	—	—	—	—
	ⅢA S	—	—	—	—	—	—	194	383	P10	0.082	1.0	P11'
	ⅣA S	—	—	—	—	—	—	380	383	P10			

注：管台（穴の周辺部）については設計・建設規格 PVB-3510(1)により、応力評価は不要である。

注記*：疲労累積係数は、運転状態Ⅰ及びⅡに地震荷重 S_d*又は地震荷重 S_sのいずれか大きい方を加えた値である。

7.2 計算条件

7.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1節に示す。

7.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2節に示す。

7.2.3 材料

各部の材料を図7-1に示す。

7.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」の3.4節に示す。

7.2.5 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の4.3節に示す。

7.2.6 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5節に示す。

7.3 応力計算

7.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図7-1に示す。

なお、応力集中を生じる箇所の応力集中係数は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)j.に定めるとおりである。

7.3.2 内圧及び差圧による応力

(1) 荷重条件 (L01及びL02)

各運転状態による内圧及び差圧は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)j.に定めるとおりである。

(2) 計算方法

内圧及び差圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)j.に定めるとおりである。

7.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L07, L14, L15, L16及びL17)

外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(5)及び表4-1(6)に示す。

(2) 計算方法

外荷重による形状不連続の効果を含まない応力の計算は、「応力解析の方針」の5.1節に示す解析コード「PIPE」により行う。

外荷重による形状不連続の効果を含まない応力の計算は、二次元軸対称の有限要素でモデル化し、「応力解析の方針」の5.1節に示す解析コード「STAX」及び「ASHSD」により行う。

解析においては、胴板及び炉内配管との取り合い部で溶接されるため、胴板及び炉内配管の一部を含めてモデル化している。拘束条件は、胴板の端部を拘束している。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件を図7-2に示す。また、地震による評価に用いる機器の諸元について表7-2に示す。

7.3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の5.2.2項に定めるとおりである。

7.4 応力強さの評価

7.4.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表7-3に示す。

表7-3より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

7.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表7-4に示す。

表7-4より、各許容応力状態の一次膜＋一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

7.4.3 一次＋二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表7-5に示す。

表7-5より、すべての評価点において $S_n^{\#1}$ 及び $S_n^{\#2}$ は、 $3 \cdot S_m$ 以下であり、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

7.5 繰返し荷重の評価

7.5.1 疲労解析

ノズルセーフエンド、ノズルエンド及びサーマルスリーブの応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

各応力評価点における疲労累積係数を表7-6に示す。

表7-6より、各応力評価点において疲労累積係数は1.0以下であり、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容値を満足する。

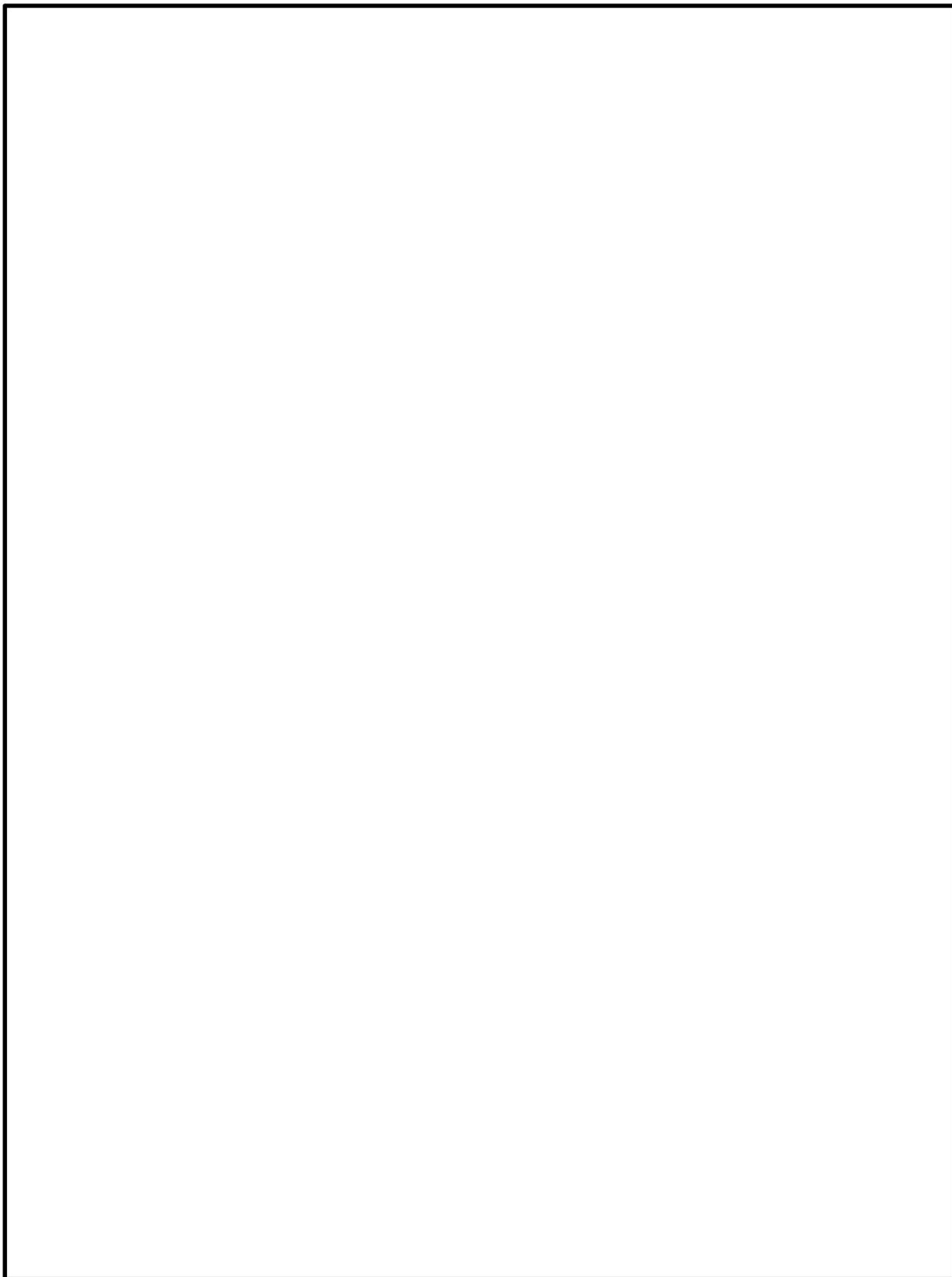


図7-2(1) 応力計算のモデル

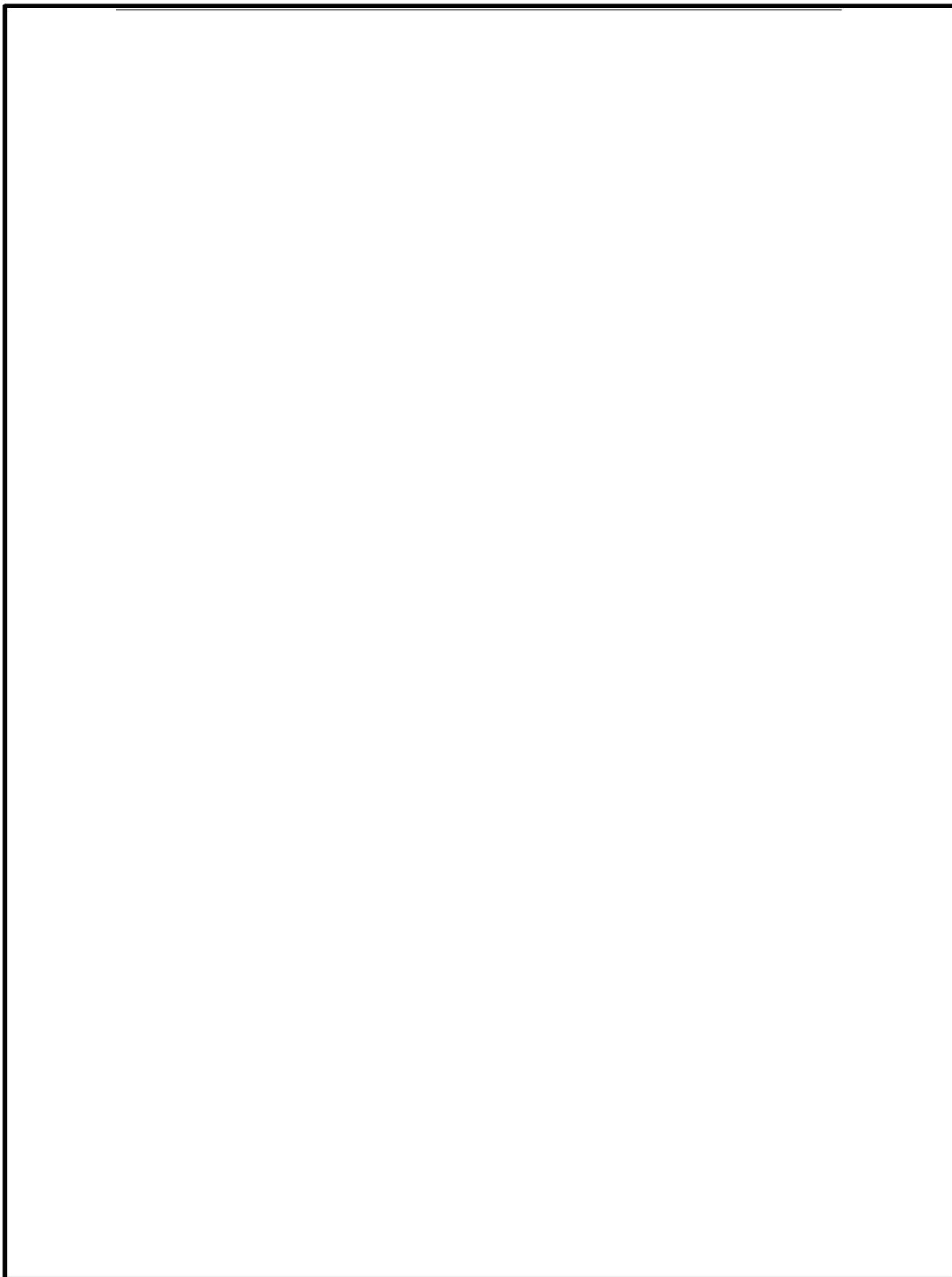


図7-2(2) 応力計算のモデル

表 7-2 機器諸元

項目		記号	単位	入力値
材質		—	—	SFVQ1A
		—	—	SFVC2B
		—	—	SUSF316
		—	—	NCF600-B
温度条件		T	℃	
縦弾性係数	SFVQ1A	E	MPa	
	SFVC2B	E	MPa	
	SUSF316	E	MPa	
	NCF600-B	E	MPa	
ポアソン比		ν	—	
要素数		—	—	
節点数		—	—	

表 7-3 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	88	188	102	292
P01' P02'	87	188	100	292
P03 P04	56	188	62	292
P03' P04'	55	188	61	292
P05 P06	56	303	62	320
P05' P06'	55	303	61	320
P07 P08	2	188	3	292
P07' P08'	2	188	3	292
P09 P10	6	188	9	292
P09' P10'	4	188	8	292
P11 P12	0	188	0	292
P11' P12'	0	188	0	292

表 7-4 一次膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	129	252	189	391
P01' P02'	128	252	193	391
P03 P04	77	257	111	400
P03' P04'	78	257	114	400
P05 P06	82	415	121	439
P05' P06'	83	415	123	439
P07 P08	12	263	19	408
P07' P08'	12	263	19	408
P09 P10	39	248	65	385
P09' P10'	35	248	61	385
P11 P12	0	248	0	385
P11' P12'	0	248	0	385

表 7-5 一次+二次応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価点	一次+二次応力差最大範囲 ($P_L + P_b + Q$)		
	$S_n^{\#1}$	$S_n^{\#2}$	許容応力 $3 \cdot S_m$
P01	128	262	383
P01'	128	262	383
P02	182	362	383
P02'	182	362	383
P03	116	232	383
P03'	116	232	383
P04	86	170	383
P04'	86	170	383
P05	58	116	552
P05'	58	116	552
P06	134	274	552
P06'	134	274	552
P07	8	18	383
P07'	8	18	383
P08	50	106	383
P08'	50	106	383
P09	24	48	383
P09'	24	48	383
P10	194	380	383
P10'	194	380	383
P11	36	70	383
P11'	36	70	383
P12	30	66	383
P12'	30	66	383

表 7-6 疲労累積係数の評価のまとめ

応力評価点	疲労累積係数				許容値
	U_n	U_{S_d}	U_{S_s}	U_f^*	
P01	0.009	0.000	0.003	0.012	1.0
P01'	0.006	0.000	0.003	0.009	1.0
P02	0.004	0.002	0.015	0.019	1.0
P02'	0.003	0.002	0.015	0.018	1.0
P03	0.071	0.002	0.021	0.092	1.0
P03'	0.079	0.002	0.021	0.100	1.0
P04	0.003	0.000	0.001	0.004	1.0
P04'	0.002	0.000	0.001	0.003	1.0
P05	0.001	0.000	0.000	0.001	1.0
P05'	0.001	0.000	0.000	0.001	1.0
P06	0.000	0.001	0.008	0.008	1.0
P06'	0.000	0.001	0.008	0.008	1.0
P07	0.041	0.000	0.000	0.041	1.0
P07'	0.041	0.000	0.000	0.041	1.0
P08	0.033	0.000	0.001	0.034	1.0
P08'	0.033	0.000	0.001	0.034	1.0
P09	0.016	0.000	0.000	0.016	1.0
P09'	0.016	0.000	0.000	0.016	1.0
P10	0.002	0.006	0.049	0.051	1.0
P10'	0.002	0.006	0.049	0.051	1.0
P11	0.081	0.000	0.000	0.081	1.0
P11'	0.082	0.000	0.000	0.082	1.0
P12	0.012	0.000	0.000	0.012	1.0
P12'	0.012	0.000	0.000	0.012	1.0

注記* : 疲労累積係数 U_f は、運転状態 I 及び II に地震荷重 S_d^* 又は地震荷重 S_s のいずれか大きい方を加えた値である。

8. 低圧注水ノズル（N6）の応力計算

8.1 一般事項

本章は、低圧注水ノズル（N6）の応力計算について示すものである。

低圧注水ノズル（N6）は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

8.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所形状・寸法・材料を図8-1に示す。

8.1.2 解析範囲

解析範囲を図8-1に示す。

8.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表8-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、各部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、疲労累積係数が厳しくなる評価点を記載する。

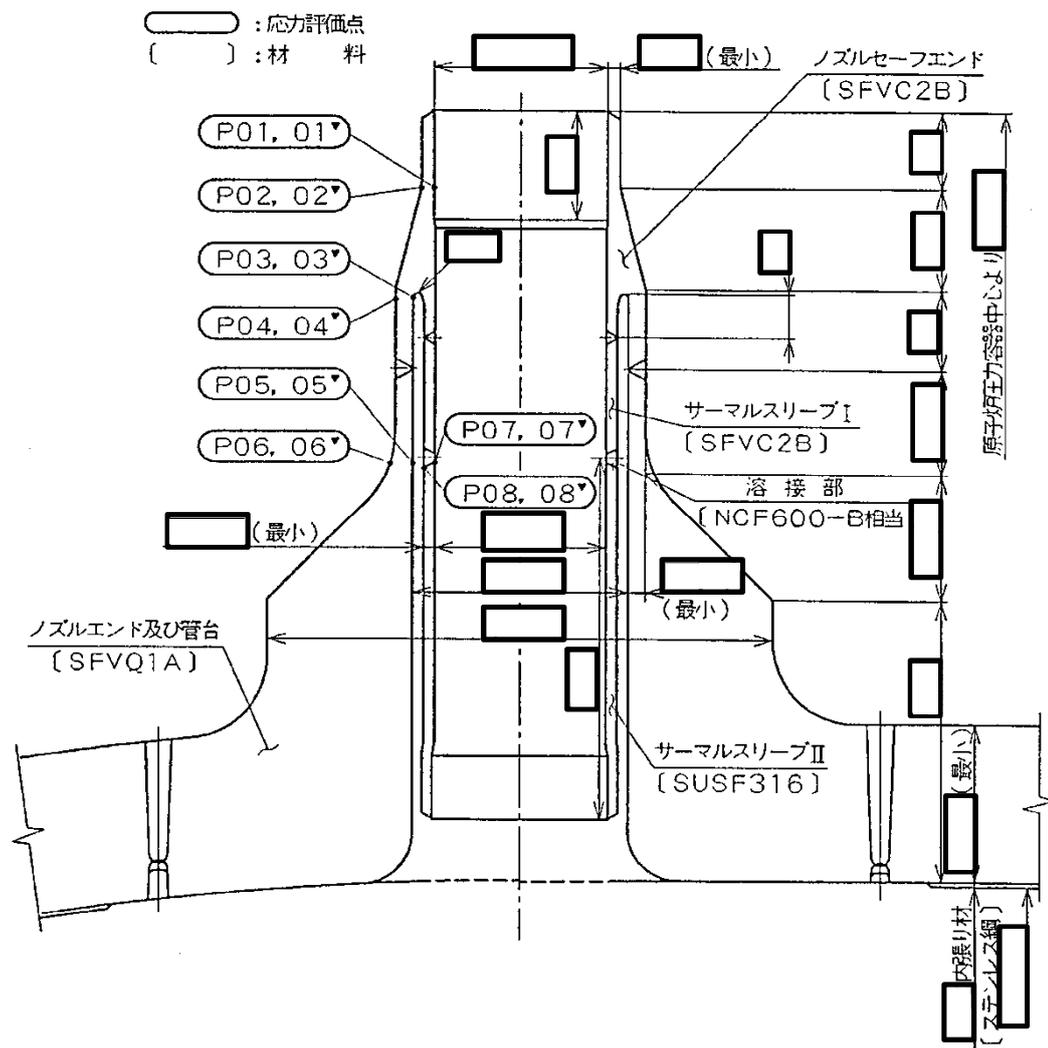


図8-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 8-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次膜+一次曲げ応力強さ (MPa)			一次+二次応力強さ (MPa)			疲労解析		
		応力 強さ	許容 応力	応力評価面	応力 強さ	許容 応力	応力評価面	応力 強さ	許容 応力	応力 評価点	疲労*1 累積係数	許容値	応力 評価点
ノズル セーフエンド SFVC2B	Ⅲ _A S	86	188	P01 - P02	144	252	P01 - P02	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	99	292	P01 - P02	213	391	P01' - P02'	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	—	—	—	—	216	383	P02	0.180	1.0	P03
	Ⅳ _A S	—	—	—	—	—	—	426*2	383	P02			
ノズルエンド SFVQ1A	Ⅲ _A S	75	303	P05 - P06	112	406	P05 - P06	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	81	320	P05 - P06	160	429	P05 - P06	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	—	—	—	—	176	552	P06	0.016	1.0	P06
	Ⅳ _A S	—	—	—	—	—	—	348	552	P06			
サーマル スリーブ SUSF316	Ⅲ _A S	3	142	P07 - P08	24	191	P07 - P08	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	7	280	P07 - P08	42	375	P07 - P08	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	—	—	—	—	78	360	P08	0.185	1.0	P07
	Ⅳ _A S	—	—	—	—	—	—	154	360	P08			

注：管台（穴の周辺部）については設計・建設規格 PVB-3510(1)により、応力評価は不要である。

注記*1：疲労累積係数は、運転状態Ⅰ及びⅡに地震荷重 S_d^* 又は地震荷重 S_s のいずれか大きい方を加えた値である。

*2：許容値 $3 \cdot S_m$ を超えるため、設計・建設規格 PVB-3300の簡易弾塑性解析を行う。

8.2 計算条件

8.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1節に示す。

8.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2節に示す。

8.2.3 材料

各部の材料を図8-1に示す。

8.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」の3.4節に示す。

8.2.5 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の4.3節に示す。

8.2.6 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5節に示す。

8.3 応力計算

8.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図8-1に示す。

なお、応力集中を生じる箇所の応力集中係数は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)k.に定めるとおりである。

8.3.2 内圧及び差圧による応力

(1) 荷重条件 (L01及びL02)

各運転状態による内圧及び差圧は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)k.に定めるとおりである。

(2) 計算方法

内圧及び差圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)k.に定めるとおりである。

8.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L07, L14, L15, L16及びL17)

外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(5)及び表4-1(6)に示す。

(2) 計算方法

外荷重による形状不連続の効果を含まない応力の計算は、「応力解析の方針」の5.1節に示す解析コード「PIPE」により行う。

外荷重による形状不連続の効果を含まない応力の計算は、二次元軸対称の有限要素でモデル化し、「応力解析の方針」の5.1節に示す解析コード「STAX」及び「ASHSD」により行う。

解析においては、胴板及び炉内配管との取り合い部で溶接されるため、胴板及び炉内配管の一部を含めてモデル化している。拘束条件は、胴板の端部を拘束している。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件を図8-2に示す。また、地震による評価に用いる機器の諸元について表8-2に示す。

8.3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の5.2.2項に定めるとおりである。

8.4 応力強さの評価

8.4.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表8-3に示す。

表8-3より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

8.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表8-4に示す。

表8-4より、各許容応力状態の一次膜＋一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

8.4.3 一次＋二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表8-5に示す。

表8-5より、以下の評価点を除くすべての評価点において $S_n^{\#1}$ 及び $S_n^{\#2}$ は、 $3 \cdot S_m$ 以下であり、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

P02, P02', P03及びP03'

一次＋二次応力強さの最大範囲が $3 \cdot S_m$ を超える応力評価点 (P02, P02', P03及びP03') にあっては、「応力解析の方針」の5.3節に示す簡易弾塑性解析の方法を適用する。

8.5 繰返し荷重の評価

8.5.1 疲労解析

ノズルセーフエンド、ノズルエンド及びサーマルスリーブの応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

$S_n^{\#1}$ 又は $S_n^{\#2}$ が $3 \cdot S_m$ を超える応力評価点のうち最も厳しい応力評価点 (P03) における疲労累積係数の計算結果を表8-6に示す。また、各応力評価点における疲労累積係数を表8-7に示す。

表8-7より、各応力評価点において疲労累積係数は1.0以下であり、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容値を満足する。

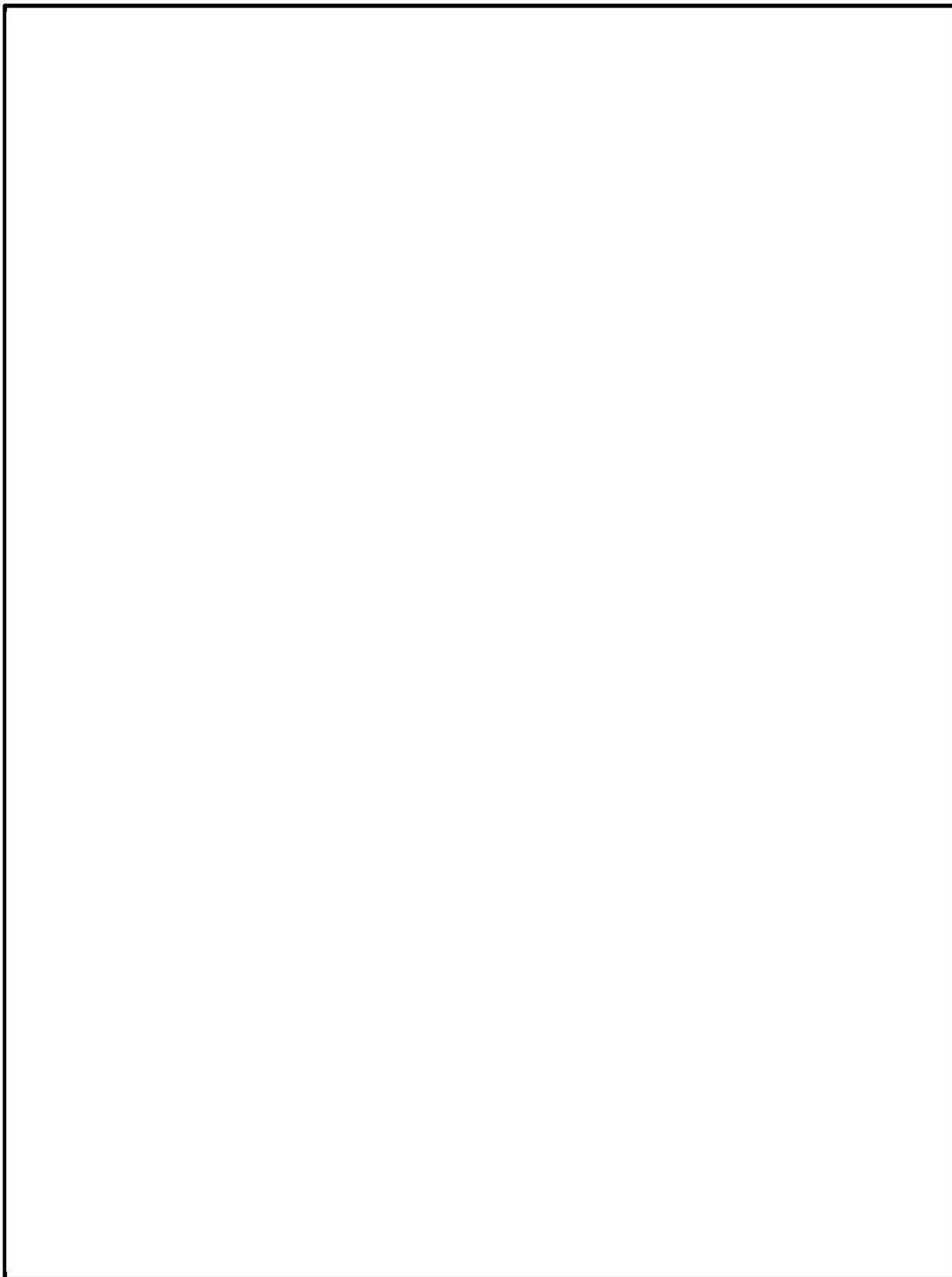


図 8-2(1) 応力計算のモデル

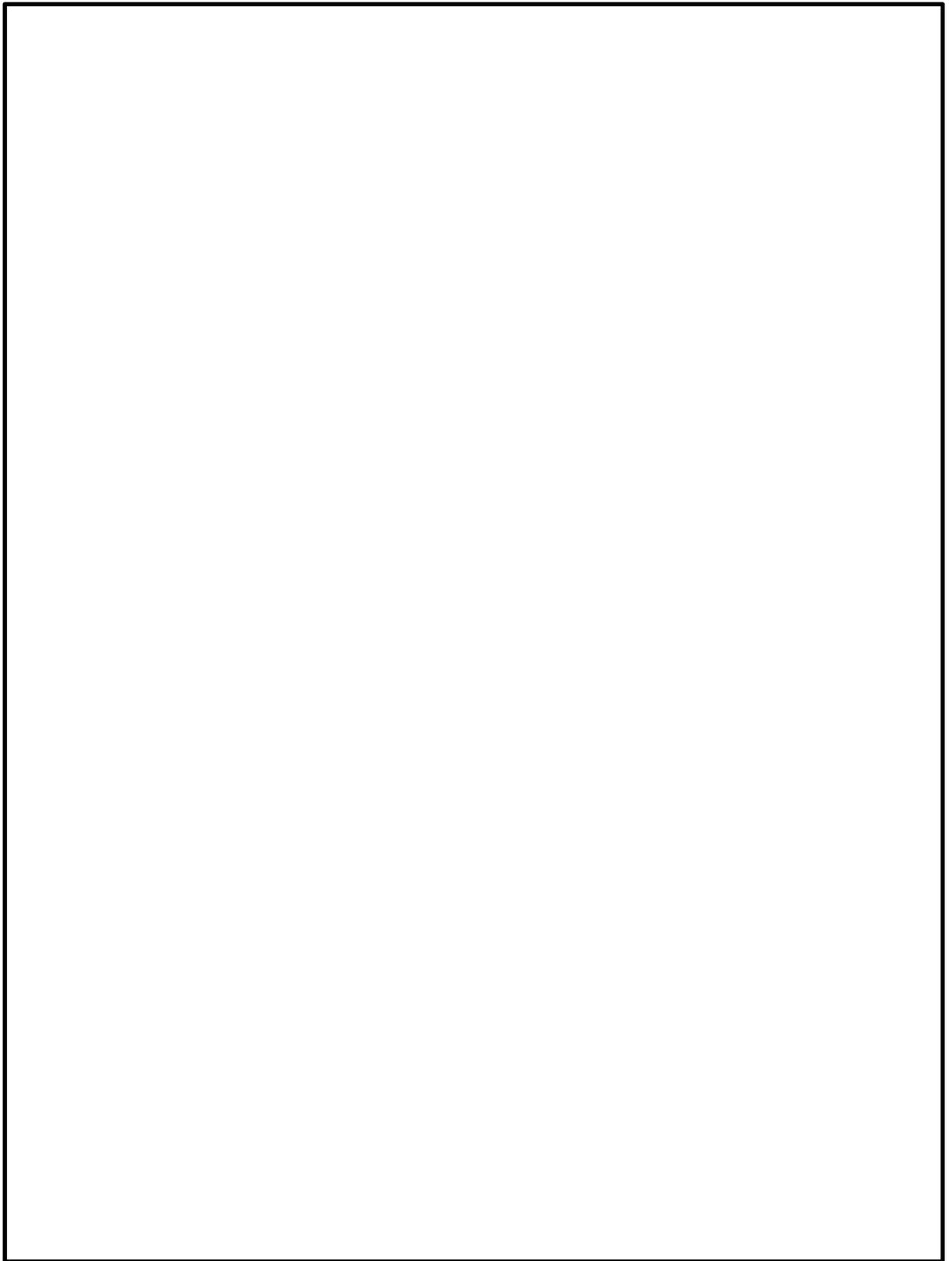


図 8-2(2) 応力計算のモデル

表 8-2 機器諸元

項目		記号	単位	入力値
材質		—	—	SFVQ1A
		—	—	SFVC2B
		—	—	SUSF316
		—	—	NCF600-B
温度条件		T	℃	
縦弾性係数	SFVQ1A	E	MPa	
	SFVC2B	E	MPa	
	SUSF316	E	MPa	
	NCF600-B	E	MPa	
ポアソン比		ν	—	
要素数		—	—	
節点数		—	—	

表 8-3 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	86	188	99	292
P01' P02'	85	188	98	292
P03 P04	75	188	81	292
P03' P04'	75	188	80	292
P05 P06	75	303	81	320
P05' P06'	75	303	80	320
P07 P08	3	142	7	280
P07' P08'	2	142	6	280

表 8-4 一次膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	144	252	212	391
P01' P02'	142	252	213	391
P03 P04	106	252	150	391
P03' P04'	104	252	150	391
P05 P06	112	406	160	429
P05' P06'	110	406	160	429
P07 P08	24	191	42	375
P07' P08'	22	191	40	375

表 8-5 一次+二次応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価点	一次+二次応力差最大範囲 ($P_L + P_b + Q$)		
	$S_n^{\#1}$	$S_n^{\#2}$	許容応力 $3 \cdot S_m$
P01	144	274	383
P01'	144	274	383
P02	216	426*	383
P02'	216	426*	383
P03	210	412*	383
P03'	210	412*	383
P04	108	210	383
P04'	108	210	383
P05	98	192	552
P05'	98	192	552
P06	176	348	552
P06'	176	348	552
P07	62	114	360
P07'	62	114	360
P08	78	154	360
P08'	78	154	360

注記* : 簡易弾塑性解析を行う。

表 8-6 疲労累積係数

応力評価点 — P03

材 料 — SFVC2B

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	412	1.335	726	485	539	1168	200	0.172
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.172
疲労累積係数 $U_n =$								0.008
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_s} =$								0.180

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の 5.3.1 項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0 / E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{ MPa}, \quad E = \boxed{} \text{ MPa}$$

表 8-7 疲労累積係数の評価のまとめ

応力評価点	疲労累積係数				許容値
	U_n	U_{S_d}	U_{S_s}	U_f^*	
P01	0.054	0.000	0.004	0.058	1.0
P01'	0.091	0.000	0.004	0.095	1.0
P02	0.008	0.003	0.045	0.053	1.0
P02'	0.007	0.003	0.045	0.052	1.0
P03	0.008	0.009	0.172	0.180	1.0
P03'	0.000	0.009	0.172	0.172	1.0
P04	0.000	0.000	0.002	0.002	1.0
P04'	0.000	0.000	0.002	0.002	1.0
P05	0.000	0.000	0.001	0.001	1.0
P05'	0.000	0.000	0.001	0.001	1.0
P06	0.000	0.002	0.016	0.016	1.0
P06'	0.000	0.002	0.016	0.016	1.0
P07	0.185	0.000	0.000	0.185	1.0
P07'	0.185	0.000	0.000	0.185	1.0
P08	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P08'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0

注記* : 疲労累積係数 U_f は、運転状態 I 及び II に地震荷重 S_d^* 又は地震荷重 S_s のいずれか大きい方を加えた値である。

9. 上蓋スプレイ・ベントノズル (N7) の応力計算

9.1 一般事項

本章は、上蓋スプレイ・ベントノズル (N7) の応力計算について示すものである。

上蓋スプレイ・ベントノズル (N7) は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

9.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所の形状・寸法・材料を図9-1に示す。

9.1.2 解析範囲

解析範囲を図9-1に示す。

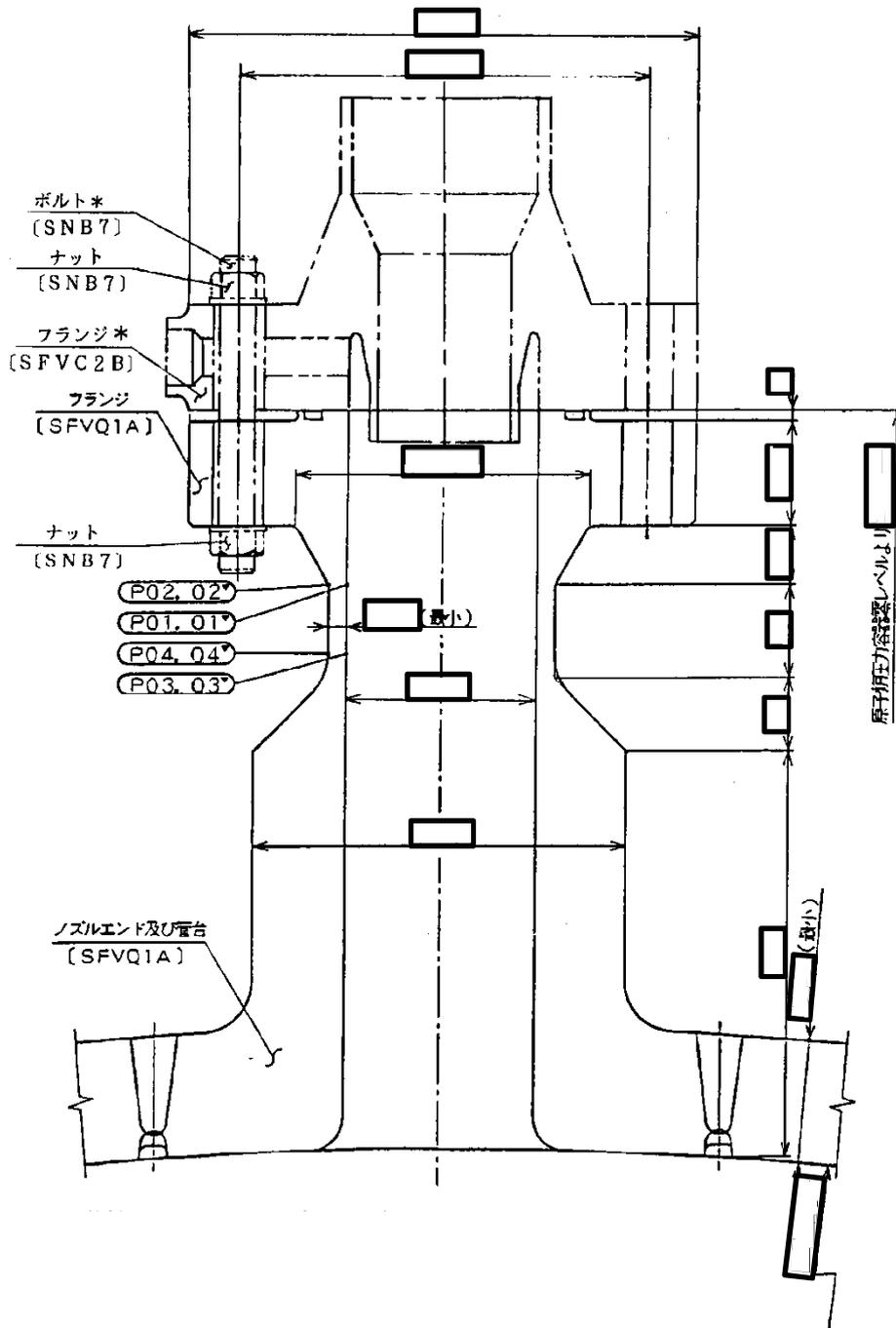
9.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表9-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、各部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、疲労累積係数が厳しくなる評価点を記載する。

○ : 応力評価点

[] : 材 料



K6 ① VI-2-3-3-1-3 R0

図9-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 9-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次膜+一次曲げ応力強さ (MPa)			一次+二次応力強さ (MPa)			疲労解析		
		応力 強さ	許容 応力	応力評価面	応力 強さ	許容 応力	応力評価面	応力 強さ	許容 応力	応力 評価点	疲労* 累積係数	許容値	応力 評価点
フランジ SFVQ1A	Ⅲ _A S	60	303	P01 - P02	206	409	P01' - P02'	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	63	320	P01 - P02	242	432	P01' - P02'	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	—	—	—	—	240	552	P02	0.055	1.0	P02
	Ⅳ _A S	—	—	—	—	—	—	466	552	P02			
ノズルエンド SFVQ1A	Ⅲ _A S	60	303	P03 - P04	112	409	P03 - P04	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	63	320	P03 - P04	153	432	P03 - P04	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	—	—	—	—	246	552	P04	0.046	1.0	P04
	Ⅳ _A S	—	—	—	—	—	—	486	552	P04			

注：管台（穴の周辺部）については設計・建設規格 PVB-3510(1)により、応力評価は不要である。

注記*：疲労累積係数は、運転状態Ⅰ及びⅡに地震荷重 S_d^* 又は地震荷重 S_s のいずれか大きい方を加えた値である。

9.2 計算条件

9.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1節に示す。

9.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2節に示す。

9.2.3 材料

各部の材料を図9-1に示す。

9.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」の3.4節に示す。

9.2.5 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の4.3節に示す。

9.2.6 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5節に示す。

9.3 応力計算

9.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図9-1に示す。

なお、応力集中を生じる箇所の応力集中係数は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)1.に定めるとおりである。

9.3.2 内圧による応力

(1) 荷重条件 (L01)

各運転状態による内圧は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)1.に定めるとおりである。

(2) 計算方法

内圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)1.に定めるとおりである。

9.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L07, L14, L15, L16及びL17)

外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(5)に示す。

(2) 計算方法

外荷重による形状不連続の効果を含まない応力の計算は、「応力解析の方針」の5.1節に示す解析コード「PIPE」により行う。

外荷重による形状不連続の効果を含む応力の計算は、二次元軸対称の有限要素でモデル化し、「応力解析の方針」の5.1節に示す解析コード「STAX」及び「ASHSD」により行う。

解析においては、胴板との取り合い部で溶接されるため、胴板の一部を含めてモデル化している。拘束条件は、胴板の端部を拘束している。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件を図9-2に示す。また、地震による評価に用いる機器の諸元について表9-2に示す。

9.3.4 ボルト荷重による応力

(1) 荷重条件 (L11)

ボルト荷重は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)1.に定めるとおりである。

(2) 計算方法

ボルト荷重による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)1.に定めるとおりである。

9.3.5 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の5.2.2項に定めるとおりである。

9.4 応力強さの評価

9.4.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表9-3に示す。

表9-3より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

9.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表9-4に示す。

表9-4より、各許容応力状態の一次膜＋一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

9.4.3 一次＋二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表9-5に示す。

表9-5より、すべての評価点において $S_n^{\#1}$ 及び $S_n^{\#2}$ は、 $3 \cdot S_m$ 以下であり、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

9.5 繰返し荷重の評価

9.5.1 疲労解析

フランジ及びノズルエンドの応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

各応力評価点における疲労累積係数を表9-6に示す。

表9-6より、各応力評価点において疲労累積係数は1.0以下であり、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容値を満足する。

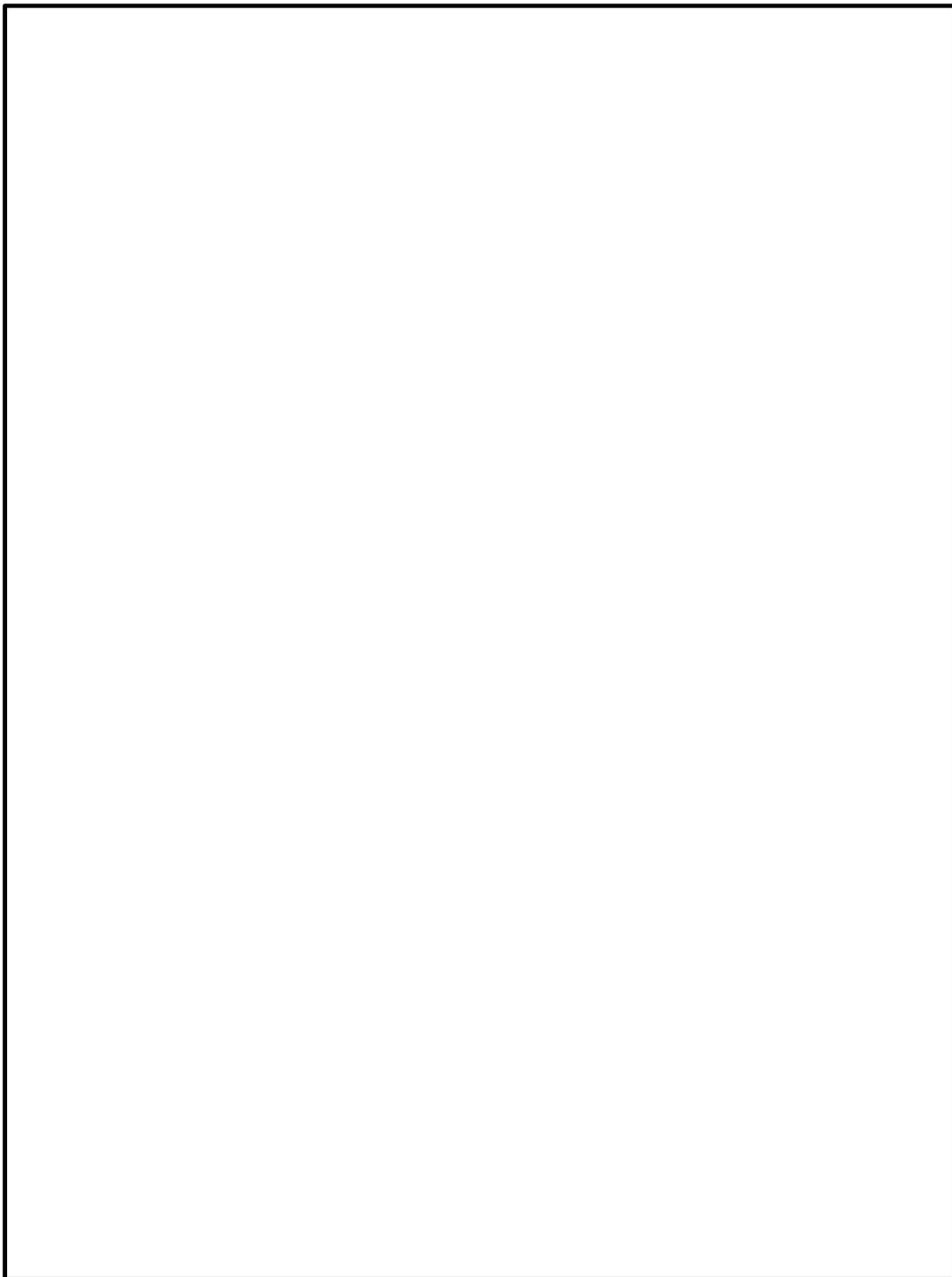


図 9-2(1) 応力計算のモデル

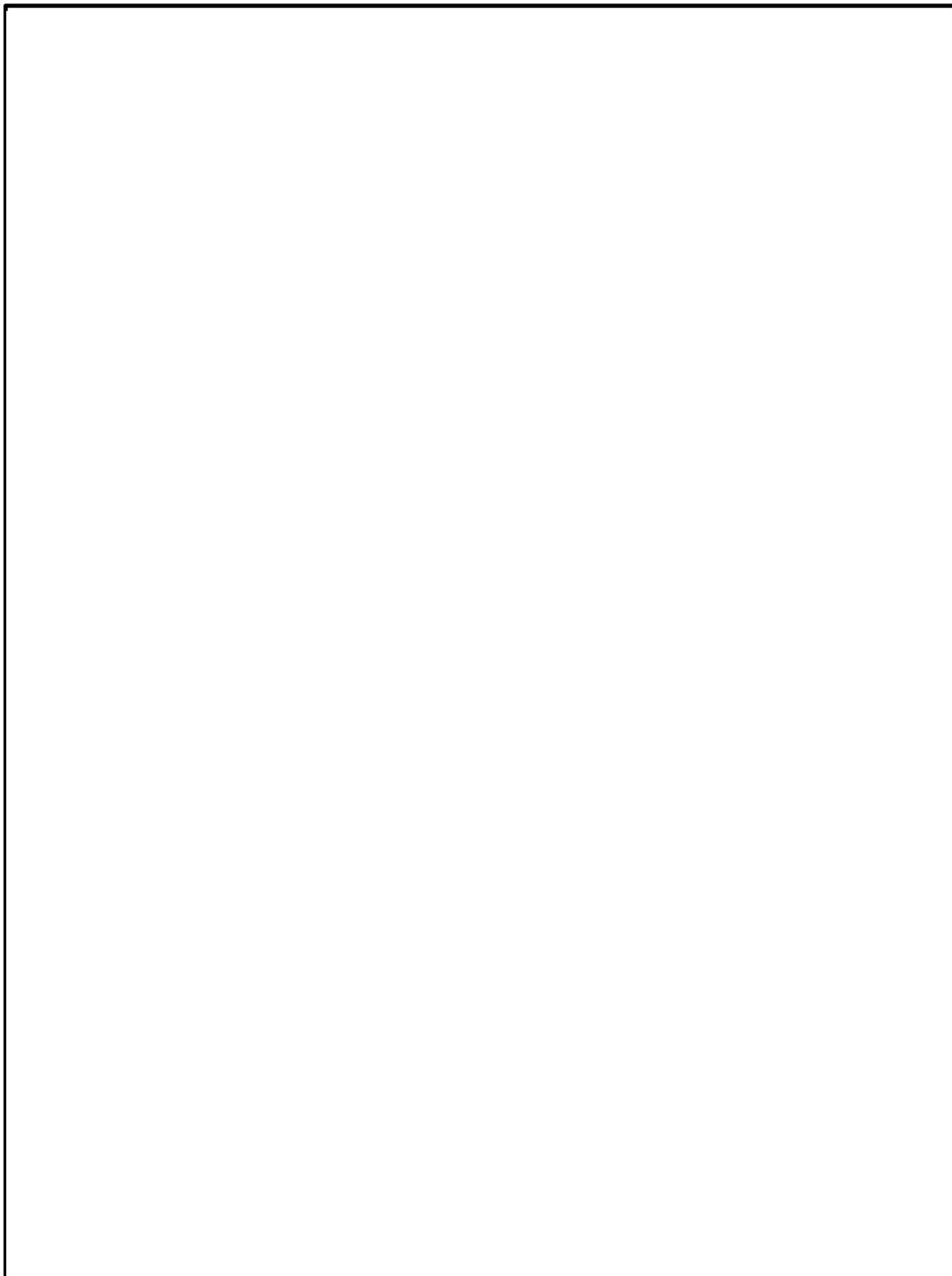


図 9-2(2) 応力計算のモデル

表 9-2 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SFVQ1A
温度条件	T	°C	
縦弾性係数	SFVQ1A	E	MPa
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	—	
節点数	—	—	

表 9-3 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	60	303	63	320
P01' P02'	60	303	63	320
P03 P04	60	303	63	320
P03' P04'	60	303	63	320

表 9-4 一次膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	150	409	155	432
P01' P02'	206	409	242	432
P03 P04	112	409	153	432
P03' P04'	106	409	147	432

表 9-5 一次+二次応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価点	一次+二次応力差最大範囲 ($P_L + P_b + Q$)		
	$S_n \# 1$	$S_n \# 2$	許容応力 $3 \cdot S_m$
P01	112	224	552
P01'	112	224	552
P02	240	466	552
P02'	240	466	552
P03	118	234	552
P03'	118	234	552
P04	246	486	552
P04'	246	486	552

表 9-6 疲労累積係数の評価のまとめ

応力評価点	疲労累積係数				許容値
	U_n	U_{S_d}	U_{S_s}	U_f^*	
P01	0.001	0.000	0.003	0.004	1.0
P01'	0.001	0.000	0.003	0.004	1.0
P02	0.003	0.007	0.052	0.055	1.0
P02'	0.001	0.007	0.052	0.053	1.0
P03	0.001	0.000	0.003	0.004	1.0
P03'	0.000	0.000	0.003	0.003	1.0
P04	0.001	0.006	0.045	0.046	1.0
P04'	0.000	0.006	0.045	0.045	1.0

注記* : 疲労累積係数 U_f は、運転状態Ⅰ及びⅡに地震荷重 S_d^* 又は地震荷重 S_s のいずれか大きい方を加えた値である。

10. 原子炉停止時冷却材出口ノズル (N8) の応力計算

10.1 一般事項

本章は、原子炉停止時冷却材出口ノズル (N8) の応力計算について示すものである。

原子炉停止時冷却材出口ノズル (N8) は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

10.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所の形状・寸法・材料を図10-1に示す。

10.1.2 解析範囲

解析範囲を図10-1に示す。

10.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表10-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、各部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、疲労累積係数が厳しくなる評価点を記載する。

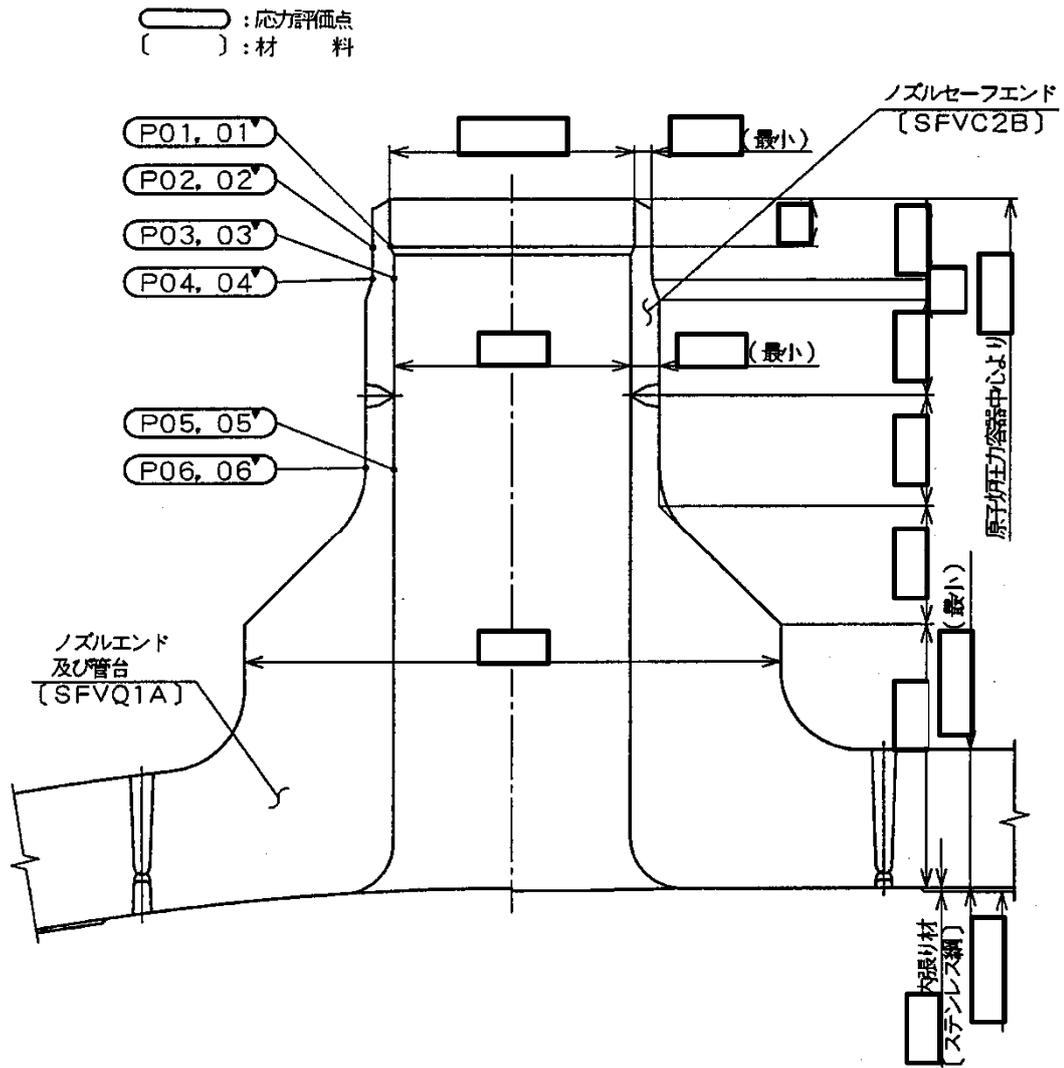


図10-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 10-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次膜+一次曲げ応力強さ (MPa)			一次+二次応力強さ (MPa)			疲労解析		
		応力 強さ	許容 応力	応力評価面	応力 強さ	許容 応力	応力評価面	応力 強さ	許容 応力	応力 評価点	疲労* 累積係数	許容値	応力 評価点
ノズル セーフエンド SFVC2B	Ⅲ _A S	76	188	P01 - P02	96	252	P01 - P02	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	79	292	P01 - P02	135	391	P01 - P02	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	—	—	—	—	118	383	P04	0.008	1.0	P04
	Ⅳ _A S	—	—	—	—	—	—	246	383	P04			
ノズルエンド SFVQ1A	Ⅲ _A S	55	303	P05 - P06	73	412	P05 - P06	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	57	320	P05 - P06	106	436	P05 - P06	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	—	—	—	—	98	552	P06	0.005	1.0	P06
	Ⅳ _A S	—	—	—	—	—	—	204	552	P06			

注：管台（穴の周辺部）については設計・建設規格 PVB-3510(1)により、応力評価は不要である。

注記*：疲労累積係数は、運転状態Ⅰ及びⅡに地震荷重 S_d^* 又は地震荷重 S_s のいずれか大きい方を加えた値である。

10.2 計算条件

10.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1節に示す。

10.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2節に示す。

10.2.3 材料

各部の材料を図10-1に示す。

10.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」の3.4節に示す。

10.2.5 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の4.3節に示す。

10.2.6 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5節に示す。

10.3 応力計算

10.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図10-1に示す。

なお、応力集中を生じる箇所の変力集中係数は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)m.に定めるとおりである。

10.3.2 内圧による応力

(1) 荷重条件 (L01)

各運転状態による内圧は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)m.に定めるとおりである。

(2) 計算方法

内圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)m.に定めるとおりである。

10.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L07, L14, L15, L16及びL17)

外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(5)に示す。

(2) 計算方法

外荷重による形状不連続の効果を含まない応力の計算は、「応力解析の方針」の5.1節に示す解析コード「PIPE」により行う。

外荷重による形状不連続の効果を含まない応力の計算は、二次元軸対称の有限要素でモデル化し、「応力解析の方針」の5.1節に示す解析コード「STAX」及び「ASHSD」により行う。

解析においては、胴板との取り合い部で溶接されるため、胴板の一部を含めてモデル化している。拘束条件は、胴板の端部を拘束している。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件を図10-2に示す。また、地震による評価に用いる機器の諸元について表10-2に示す。

10.3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の5.2.2項に定めるとおりである。

10.4 応力強さの評価

10.4.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表10-3に示す。

表10-3より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

10.4.2 一次膜+一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表10-4に示す。

表10-4より、各許容応力状態の一次膜+一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

10.4.3 一次+二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表10-5に示す。

表10-5より、すべての評価点において $S_n^{\#1}$ 及び $S_n^{\#2}$ は、 $3 \cdot S_m$ 以下であり、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

10.5 繰返し荷重の評価

10.5.1 疲労解析

ノズルセーフエンド及びノズルエンドの応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

各応力評価点における疲労累積係数を表10-6に示す。

表10-6より、各応力評価点において疲労累積係数は1.0以下であり、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容値を満足する。

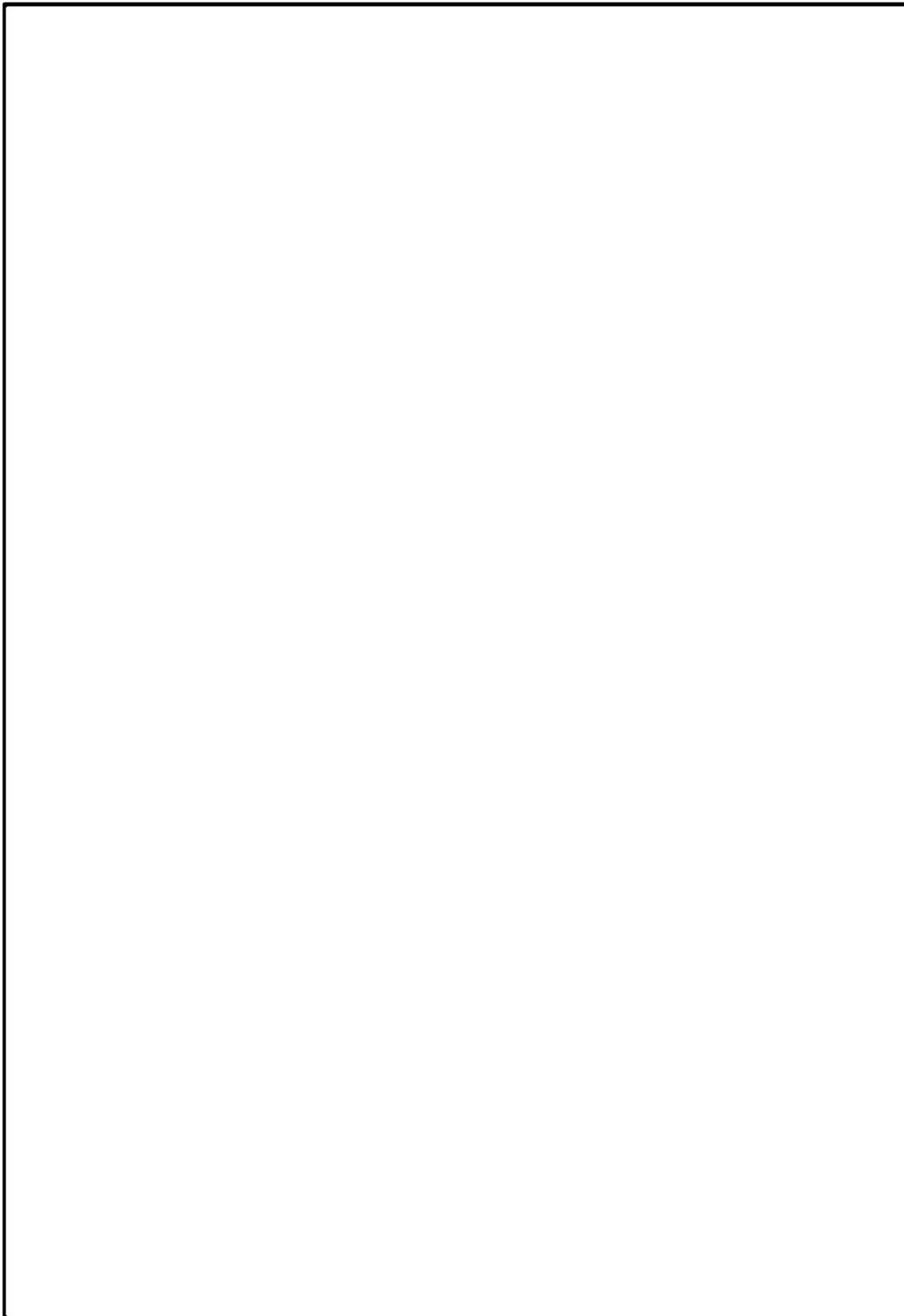


図 10-2(1) 応力計算のモデル

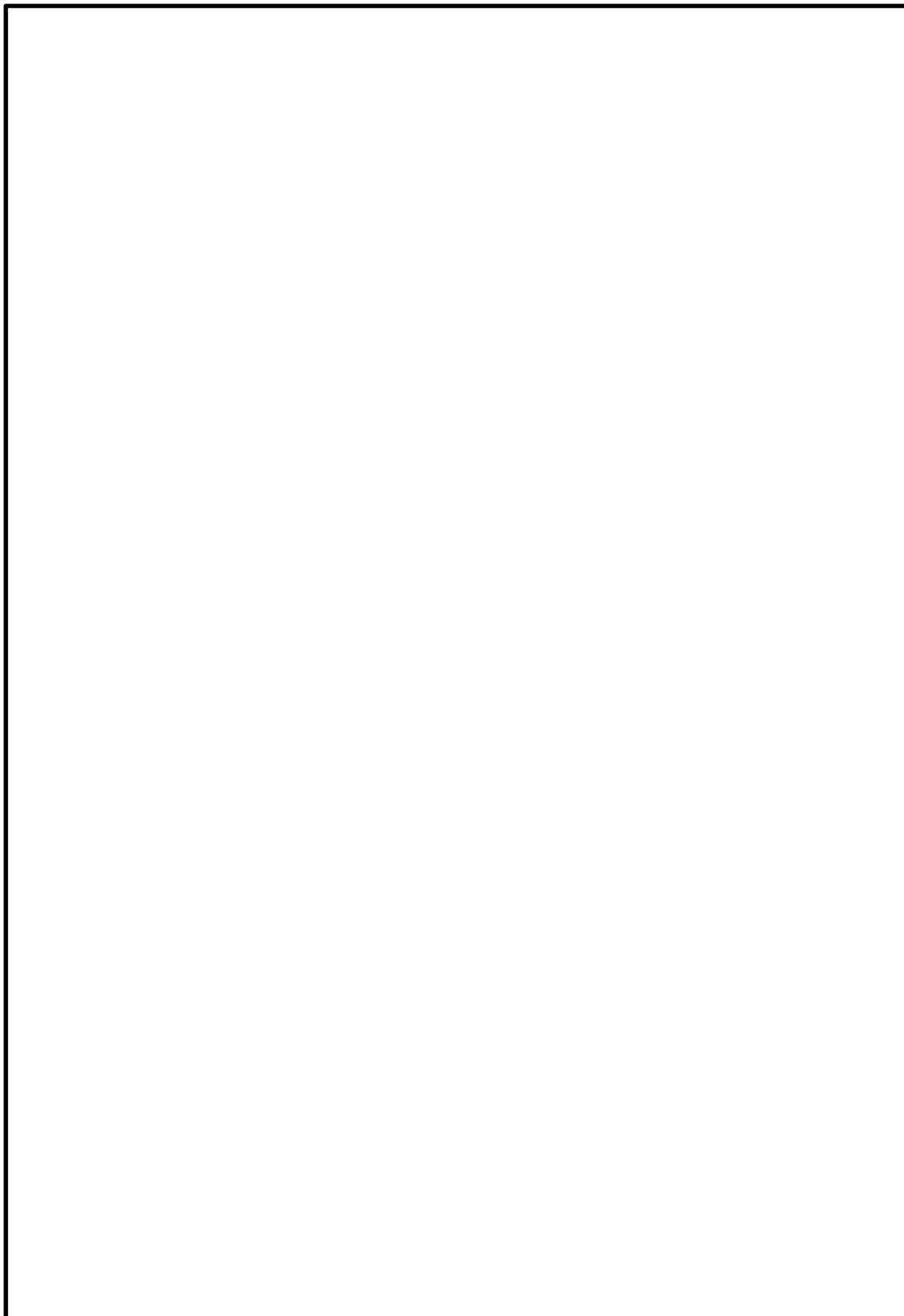


図 10-2(2) 応力計算のモデル

表 10-2 機器諸元

項目		記号	単位	入力値
材質		—	—	SFVQ1A
		—	—	SFVC2B
温度条件		T	°C	
縦弾性係数	SFVQ1A	E	MPa	
	SFVC2B	E	MPa	
ポアソン比		ν	—	
要素数		—	—	
節点数		—	—	

表 10-3 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態ⅢA S		許容応力状態ⅣA S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	76	188	79	292
P01' P02'	76	188	78	292
P03 P04	69	188	72	292
P03' P04'	69	188	71	292
P05 P06	55	303	57	320
P05' P06'	55	303	57	320

表 10-4 一次膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	96	252	135	391
P01' P02'	93	252	134	391
P03 P04	89	252	125	391
P03' P04'	87	252	124	391
P05 P06	73	412	106	436
P05' P06'	73	412	106	436

表 10-5 一次+二次応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価点	一次+二次応力差最大範囲 ($P_L + P_b + Q$)		
	$S_n \# 1$	$S_n \# 2$	許容応力 $3 \cdot S_m$
P01	68	142	383
P01'	68	142	383
P02	114	244	383
P02'	114	244	383
P03	58	124	383
P03'	58	124	383
P04	118	246	383
P04'	118	246	383
P05	44	92	552
P05'	44	92	552
P06	98	204	552
P06'	98	204	552

表 10-6 疲労累積係数の評価のまとめ

応力評価点	疲労累積係数				許容値
	U_n	U_{S_d}	U_{S_s}	U_f^*	
P01	0.003	0.000	0.001	0.004	1.0
P01'	0.000	0.000	0.001	0.001	1.0
P02	0.003	0.000	0.002	0.005	1.0
P02'	0.000	0.000	0.002	0.002	1.0
P03	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P03'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P04	0.003	0.000	0.005	0.008	1.0
P04'	0.003	0.000	0.005	0.008	1.0
P05	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P05'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P06	0.002	0.000	0.003	0.005	1.0
P06'	0.000	0.000	0.003	0.003	1.0

注記* : 疲労累積係数 U_f は、運転状態Ⅰ及びⅡに地震荷重 S_{d^*} 又は地震荷重 S_s のいずれか大きい方を加えた値である。

11. 原子炉停止時冷却材出口ノズル (N10) の応力計算

11.1 一般事項

本章は、原子炉停止時冷却材出口ノズル (N10) の応力計算について示すものである。

原子炉停止時冷却材出口ノズル (N10) は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

11.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所の形状・寸法・材料を図11-1に示す。

11.1.2 解析範囲

解析範囲を図11-1に示す。

11.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表11-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、各部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、疲労累積係数が厳しくなる評価点を記載する。

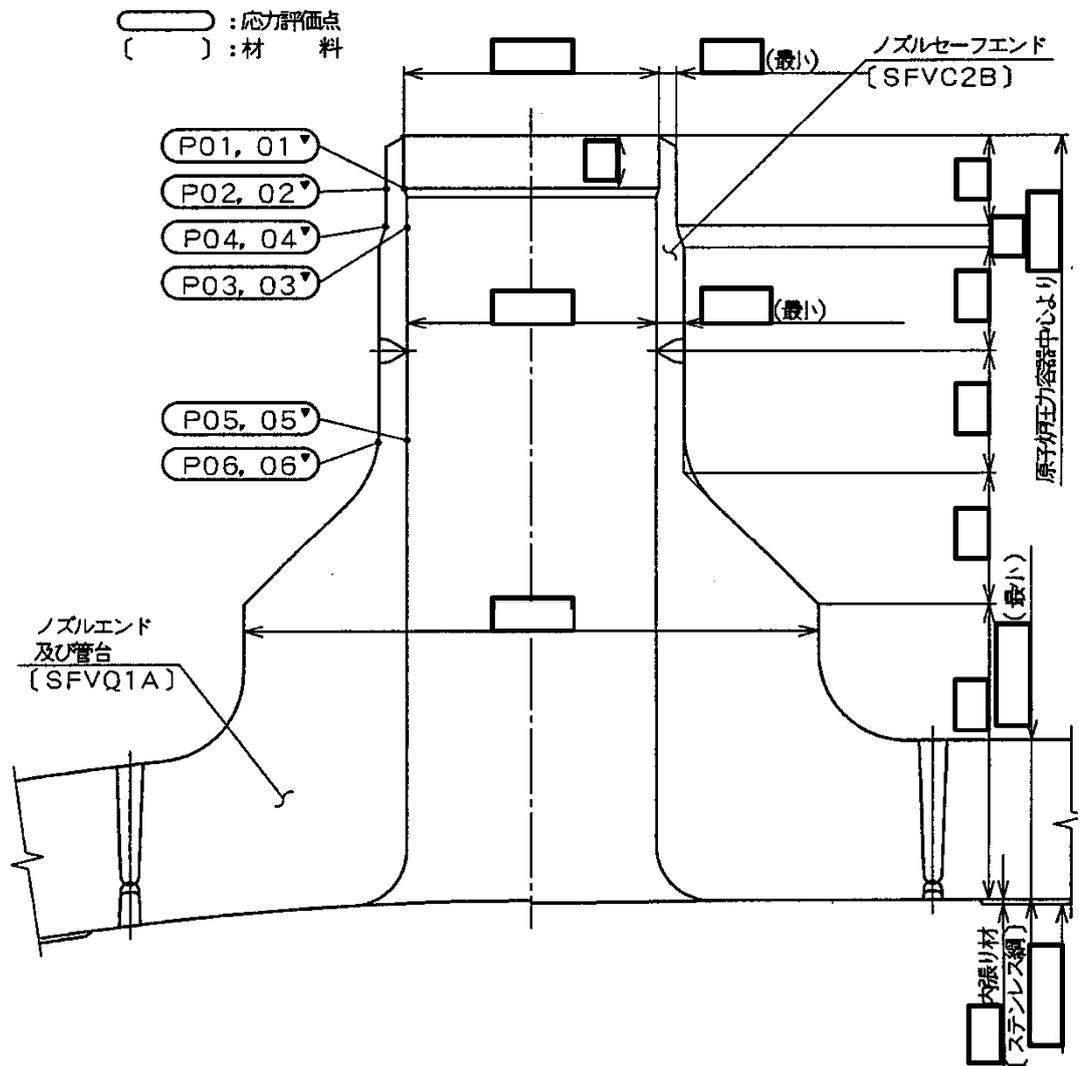


図11-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 11-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次膜+一次曲げ応力強さ (MPa)			一次+二次応力強さ (MPa)			疲労解析		
		応力 強さ	許容 応力	応力評価面	応力 強さ	許容 応力	応力評価面	応力 強さ	許容 応力	応力 評価点	疲労* 累積係数	許容値	応力 評価点
ノズル セーフエンド SFVC2B	Ⅲ _A S	78	188	P01 - P02	98	252	P01 - P02	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	80	292	P01 - P02	123	391	P01 - P02	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	—	—	—	—	140	383	P04	0.009	1.0	P04
	Ⅳ _A S	—	—	—	—	—	—	270	383	P04			
ノズルエンド SFVQ1A	Ⅲ _A S	55	303	P05 - P06	78	412	P05' - P06'	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	56	320	P05 - P06	97	436	P05' - P06'	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	—	—	—	—	122	552	P06	0.006	1.0	P06
	Ⅳ _A S	—	—	—	—	—	—	224	552	P06			

注：管台（穴の周辺部）については設計・建設規格 PVB-3510(1)により、応力評価は不要である。

注記*：疲労累積係数は、運転状態Ⅰ及びⅡに地震荷重 S_d^* 又は地震荷重 S_s のいずれか大きい方を加えた値である。

11.2 計算条件

11.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1節に示す。

11.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2節に示す。

11.2.3 材料

各部の材料を図11-1に示す。

11.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」の3.4節に示す。

11.2.5 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の4.3節に示す。

11.2.6 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5節に示す。

11.3 応力計算

11.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図11-1に示す。

なお、応力集中を生じる箇所 of 応力集中係数は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)m. に定めるとおりである。

11.3.2 内圧による応力

(1) 荷重条件 (L01)

各運転状態による内圧は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)m. に定めるとおりである。

(2) 計算方法

内圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)m. に定めるとおりである。

11.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L07, L14, L15, L16及びL17)

外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(5)に示す。

(2) 計算方法

外荷重による形状不連続の効果を含まない応力の計算は、「応力解析の方針」の5.1節に示す解析コード「PIPE」により行う。

外荷重による形状不連続の効果を含まない応力の計算は、二次元軸対称の有限要素でモデル化し、「応力解析の方針」の5.1節に示す解析コード「STAX」及び「ASHSD」により行う。

解析においては、胴板との取り合い部で溶接されるため、胴板の一部を含めてモデル化している。拘束条件は、胴板の端部を拘束している。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件を図11-2に示す。また、地震による評価に用いる機器の諸元について表11-2に示す。

11.3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の5.2.2項に定めるとおりである。

11.4 応力強さの評価

11.4.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表11-3に示す。

表11-3より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

11.4.2 一次膜+一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表11-4に示す。

表11-4より、各許容応力状態の一次膜+一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

11.4.3 一次+二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表11-5に示す。

表11-5より、すべての評価点において $S_n^{\#1}$ 及び $S_n^{\#2}$ は、 $3 \cdot S_m$ 以下であり、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

11.5 繰返し荷重の評価

11.5.1 疲労解析

ノズルセーフエンド及びノズルエンドの応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

各応力評価点における疲労累積係数を表11-6に示す。

表11-6より、各応力評価点において疲労累積係数は1.0以下であり、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容値を満足する。

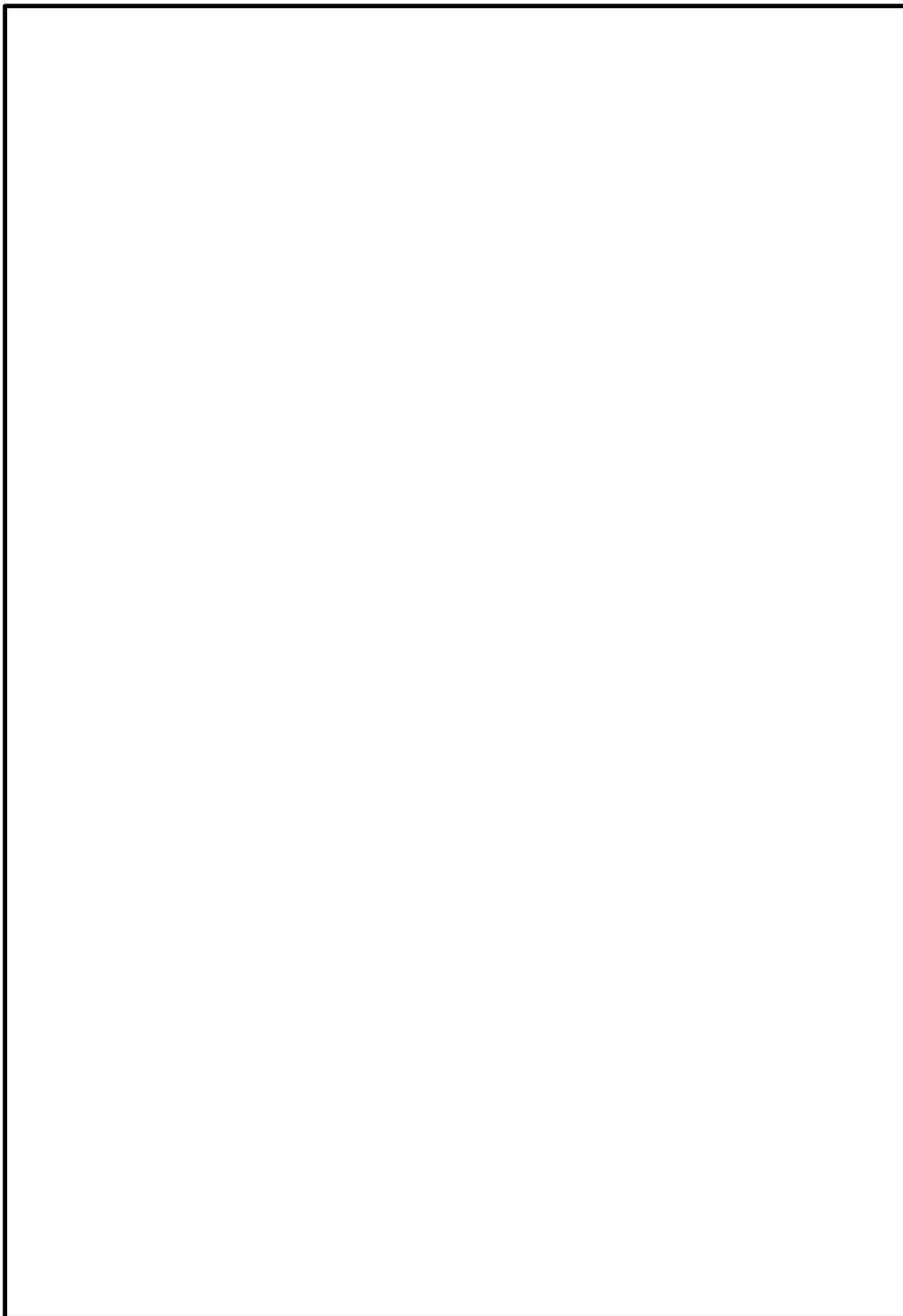


図 11-2(1) 応力計算のモデル

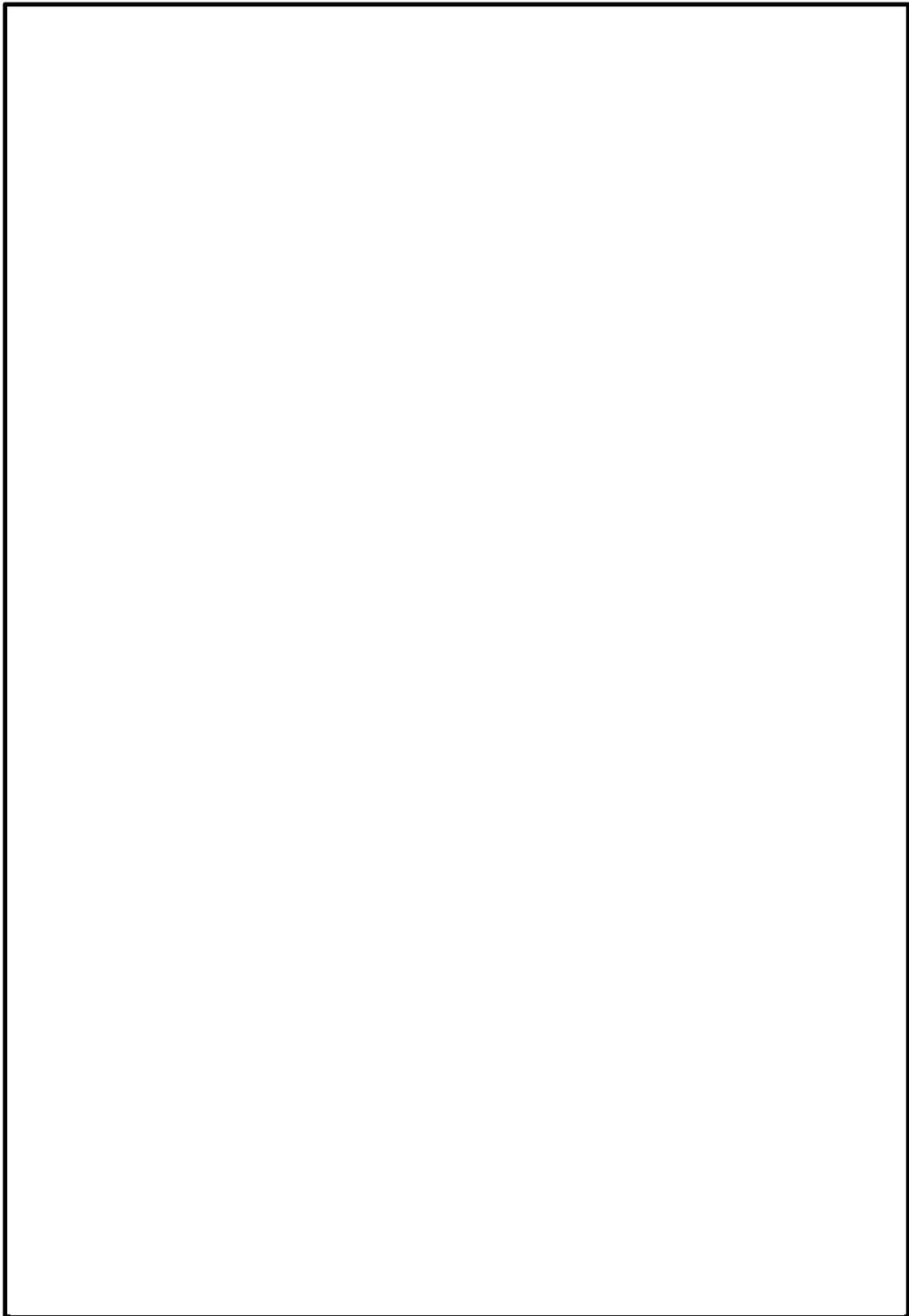


図 11-2(2) 応力計算のモデル

表 11-2 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SFVQ1A
	—	—	SFVC2B
温度条件	T	°C	
縦弾性係数	SFVQ1A	E	MPa
	SFVC2B	E	MPa
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	—	
節点数	—	—	

表 11-3 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	78	188	80	292
P01' P02'	78	188	80	292
P03 P04	70	188	72	292
P03' P04'	70	188	71	292
P05 P06	55	303	56	320
P05' P06'	55	303	56	320

表 11-4 一次膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態ⅢA S		許容応力状態ⅣA S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	98	252	123	391
P01' P02'	97	252	123	391
P03 P04	90	252	112	391
P03' P04'	87	252	110	391
P05 P06	77	412	96	436
P05' P06'	78	412	97	436

表 11-5 一次+二次応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価点	一次+二次応力差最大範囲 ($P_L + P_b + Q$)		
	$S_n \# 1$	$S_n \# 2$	許容応力 $3 \cdot S_m$
P01	88	164	383
P01'	88	164	383
P02	138	264	383
P02'	138	264	383
P03	78	142	383
P03'	78	142	383
P04	140	270	383
P04'	140	270	383
P05	60	108	552
P05'	60	108	552
P06	122	224	552
P06'	122	224	552

表 11-6 疲労累積係数の評価のまとめ

応力評価点	疲労累積係数				許容値
	U_n	U_{S_d}	U_{S_s}	U_f^*	
P01	0.002	0.000	0.001	0.003	1.0
P01'	0.001	0.000	0.001	0.002	1.0
P02	0.003	0.000	0.003	0.006	1.0
P02'	0.000	0.000	0.003	0.003	1.0
P03	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P03'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P04	0.003	0.001	0.006	0.009	1.0
P04'	0.002	0.001	0.006	0.008	1.0
P05	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P05'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P06	0.002	0.000	0.004	0.006	1.0
P06'	0.000	0.000	0.004	0.004	1.0

注記* : 疲労累積係数 U_f は、運転状態Ⅰ及びⅡに地震荷重 S_d^* 又は地震荷重 S_s のいずれか大きい方を加えた値である。

12. 原子炉冷却材再循環ポンプ差圧検出ノズル (N9) の応力計算

12.1 一般事項

本章は、原子炉冷却材再循環ポンプ差圧検出ノズル (N9) の応力計算について示すものである。

原子炉冷却材再循環ポンプ差圧検出ノズル (N9) は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

12.1.1 記号の説明

記号の説明を「応力解析の方針」の2.4節に示す。

更に、本章において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
R_i	肉盛溶接部の内半径	mm
t	肉盛溶接部の最小厚さ	mm
A	肉盛溶接部の断面積	mm ²
Z	肉盛溶接部の断面係数	mm ³
σ_{ca}	許容応力	MPa
L_1	荷重作用点からスタブ付根までの距離	m
L_2	荷重作用点からスタブ付根までの距離	m

12.1.2 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所の形状・寸法・材料を図12-1に示す。

12.1.3 解析範囲

解析範囲を図12-1に示す。

12.1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表12-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、各部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、疲労累積係数が厳しくなる評価点を記載する。

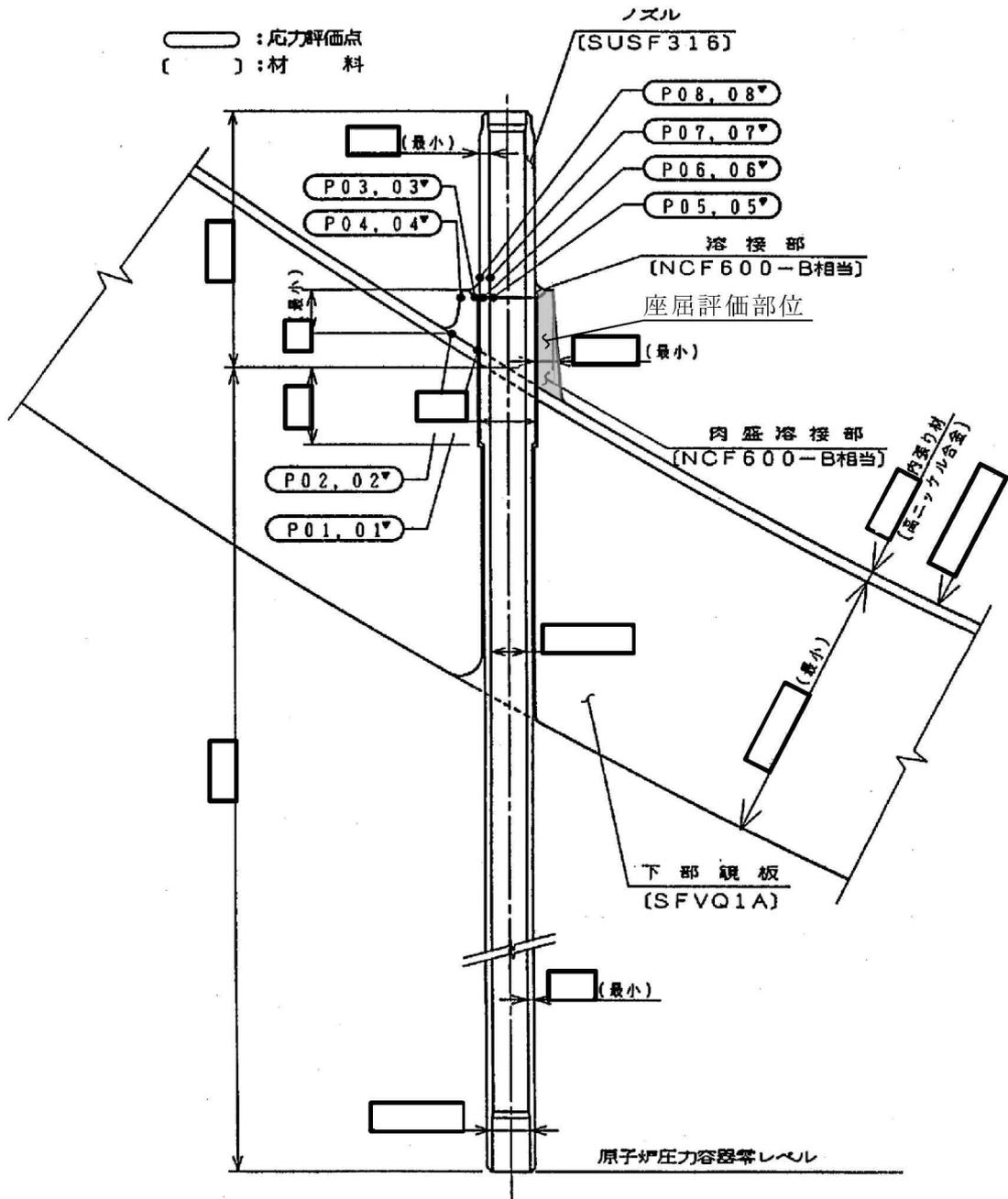


図12-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 12-1(1) 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次膜+一次曲げ応力強さ (MPa)			一次+二次応力強さ (MPa)			疲労解析		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価点	疲労* 累積係数	許容値	応力 評価点
肉盛溶接部 NCF600-B 相当	Ⅲ _A S	20	196	P01 - P02	109	295	P01' - P02'	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	21	334	P01 - P02	115	501	P01' - P02'	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	—	—	—	—	136	492	P03	0.132	1.0	P01
	Ⅳ _A S	—	—	—	—	—	—	198	492	P03			
ノズルエンド SUSF316	Ⅲ _A S	36	142	P05 - P06	135	214	P05 - P06	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	46	280	P05 - P06	156	420	P05 - P06	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	—	—	—	—	186	360	P06	0.180	1.0	P06'
	Ⅳ _A S	—	—	—	—	—	—	258	360	P06			

注記* : 疲労累積係数は、運転状態Ⅰ及びⅡに地震荷重 S_d*又は地震荷重 S_s のいずれか大きい方を加えた値である。

表12-1(2) 計算結果の概要

(単位 : MPa)

部分及び材料	許容応力状態	座屈に対する評価	
		圧縮応力	許容応力
肉盛溶接部 NCF600-B 相当	Ⅲ _A S	24	99
	Ⅳ _A S	31	124

12.2 計算条件

12.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1節に示す。

12.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2節に示す。

12.2.3 材料

各部の材料を図12-1に示す。

12.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」の3.4節に示す。

12.2.5 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の4.3節に示す。

12.2.6 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5節に示す。

12.3 応力計算

12.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図12-1に示す。

なお、応力集中を生じる箇所 of 応力集中係数は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)n. に定めるとおりである。

12.3.2 内圧による応力

(1) 荷重条件 (L01)

各運転状態による内圧は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)n. に定めるとおりである。

(2) 計算方法

内圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)n. に定めるとおりである。

12.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L07, L14, L15, L16及びL17)

外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(5)に示す。

(2) 計算方法

外荷重による形状不連続の効果を含まない応力の計算は、「応力解析の方針」の5.1節に示す解析コード「PIPE」により行う。

外荷重による形状不連続の効果を含まない応力の計算は、二次元軸対称の有限要素でモデル化し、「応力解析の方針」の5.1節に示す解析コード「STAX」及び「ASHSD」により行う。

解析においては、胴板及び炉内配管との取り合い部で溶接されるため、胴板及び炉内配管の一部を含めてモデル化している。拘束条件は、胴板の端部を拘束している。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件を図12-2に示す。また、地震による評価に用いる機器の諸元について表12-2に示す。

12.3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の5.2.2項に定めるとおりである。

12.4 応力強さの評価

12.4.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表12-3に示す。

表12-3より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

12.4.2 一次膜+一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表12-4に示す。

表12-4より、各許容応力状態の一次膜+一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

12.4.3 一次+二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表12-5に示す。

表12-5より、すべての評価点において $S_n^{\#1}$ 及び $S_n^{\#2}$ は、 $3 \cdot S_m$ 以下であり、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

12.5 繰返し荷重の評価

12.5.1 疲労解析

肉盛溶接部及びノズルの応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

各応力評価点における疲労累積係数を表12-6に示す。

表12-6より、各応力評価点において疲労累積係数は1.0以下であり、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容値を満足する。

12.6 特別な応力の評価

12.6.1 座屈に対する評価

肉盛溶接部には、原子炉冷却材再循環ポンプ差圧検出ノズル (N9) に作用する鉛直力及びモーメントにより、圧縮応力が生じる。したがって、これらの荷重の組合せにより発生する圧縮応力の評価を行う。

(1) 計算データ

肉盛溶接部の内半径 $R_i = \boxed{\quad}$ mm

肉盛溶接部の最小厚さ $t = \boxed{\quad}$ mm

肉盛溶接部の断面積

$$A = \pi \cdot \{(R_i + t)^2 - R_i^2\} = \pi \times \boxed{\quad} = \boxed{\quad} \text{ mm}^2$$

肉盛溶接部の断面係数

$$Z = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{(R_i + t)^4 - R_i^4}{R_i + t} = \frac{\pi}{4} \times \boxed{\quad}$$

$$= \boxed{\quad} \text{ mm}^3$$

(2) 荷重

肉盛溶接部に作用する鉛直力及びモーメントを「応力解析の方針」の表4-1(5)に示す。

(3) 圧縮応力

計算データ (断面性能) を基に、表12-7に示す各許容応力状態の荷重によって肉盛溶接部に発生する圧縮応力を表12-8に示す。

(4) 許容応力

各許容応力状態における許容応力の計算は、設計・建設規格 PVB-3117を準用して計算する。

a. 許容応力状態ⅢAS

許容応力状態ⅢASにおける許容応力 σ_{ca} は、次のように得られる。

$$\sigma_{ca} = 1.2 \text{MIN}[S_m, B]$$

ここで、

$$S_m = \boxed{} \text{MPa}$$

$$B = 83 \text{ MPa}$$

$$\boxed{} \text{°Cにおける値}$$

このうちB値は、設計・建設規格 PVB-3117より、次のようにして求める。
設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1より

$$A = \frac{0.125}{R_i / t} = \frac{0.125}{\boxed{}} = \boxed{}$$

を用いて、設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図7より

$$B = 83 \text{ MPa}$$

よって、許容応力 σ_{ca} は、

$$\sigma_{ca} = 1.2 \cdot B = 1.2 \times 83 = 99 \text{ MPa}$$

b. 許容応力状態ⅣAS

許容応力状態ⅣASにおける許容応力 σ_{ca} は、次のように得られる。

$$\sigma_{ca} = 1.5 \text{MIN}[S_m, B]$$

よって、許容応力 σ_{ca} は、

$$\sigma_{ca} = 1.5 \cdot B = 1.5 \times 83 = 124 \text{ MPa}$$

(5) 座屈に対する評価

各許容応力状態における座屈に対する評価を表12-8に示す。

表12-8より、各許容応力状態における圧縮応力は、許容応力を満足するため、座屈は発生しない。

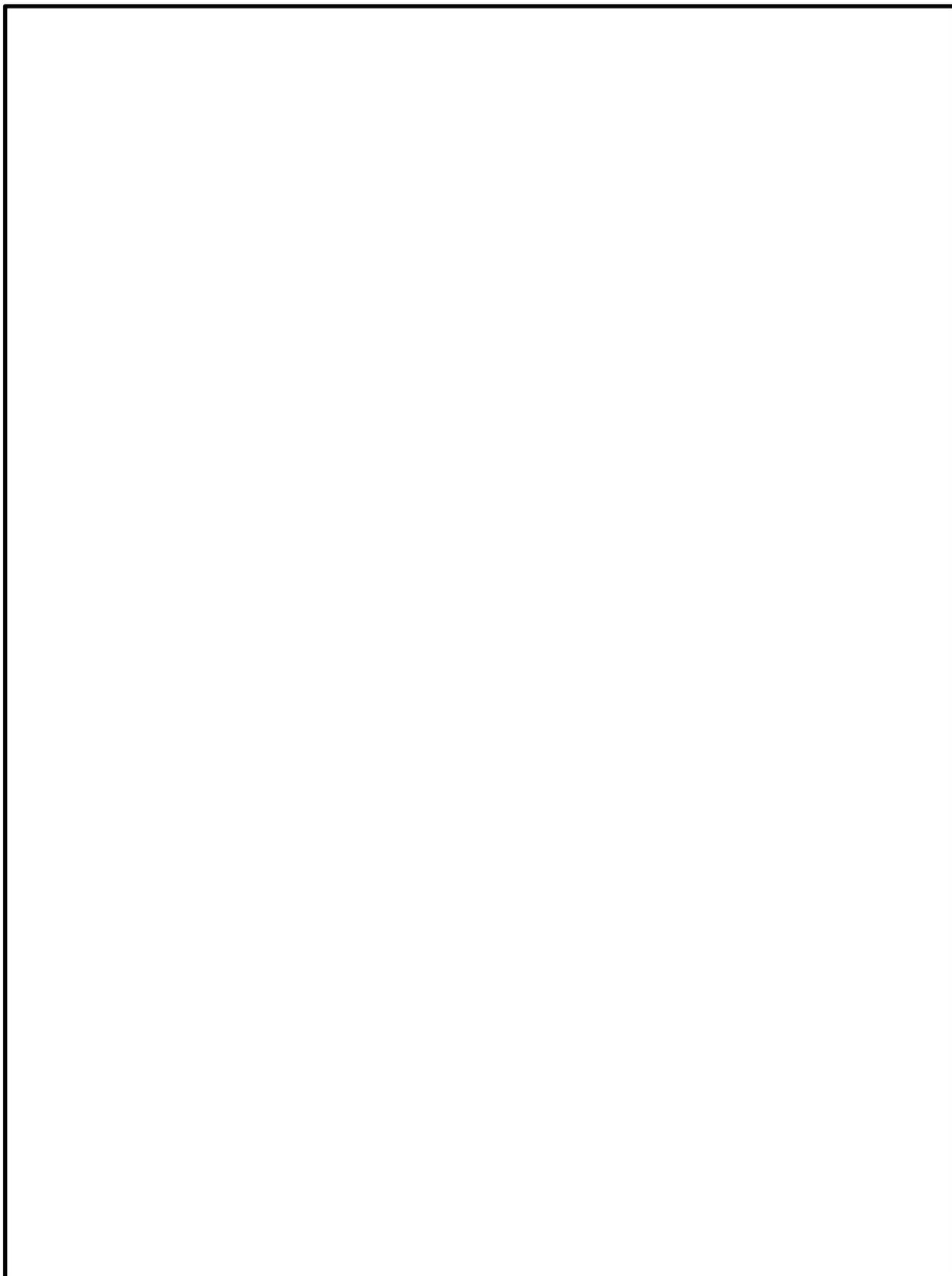


図 12-2(1) 応力計算のモデル

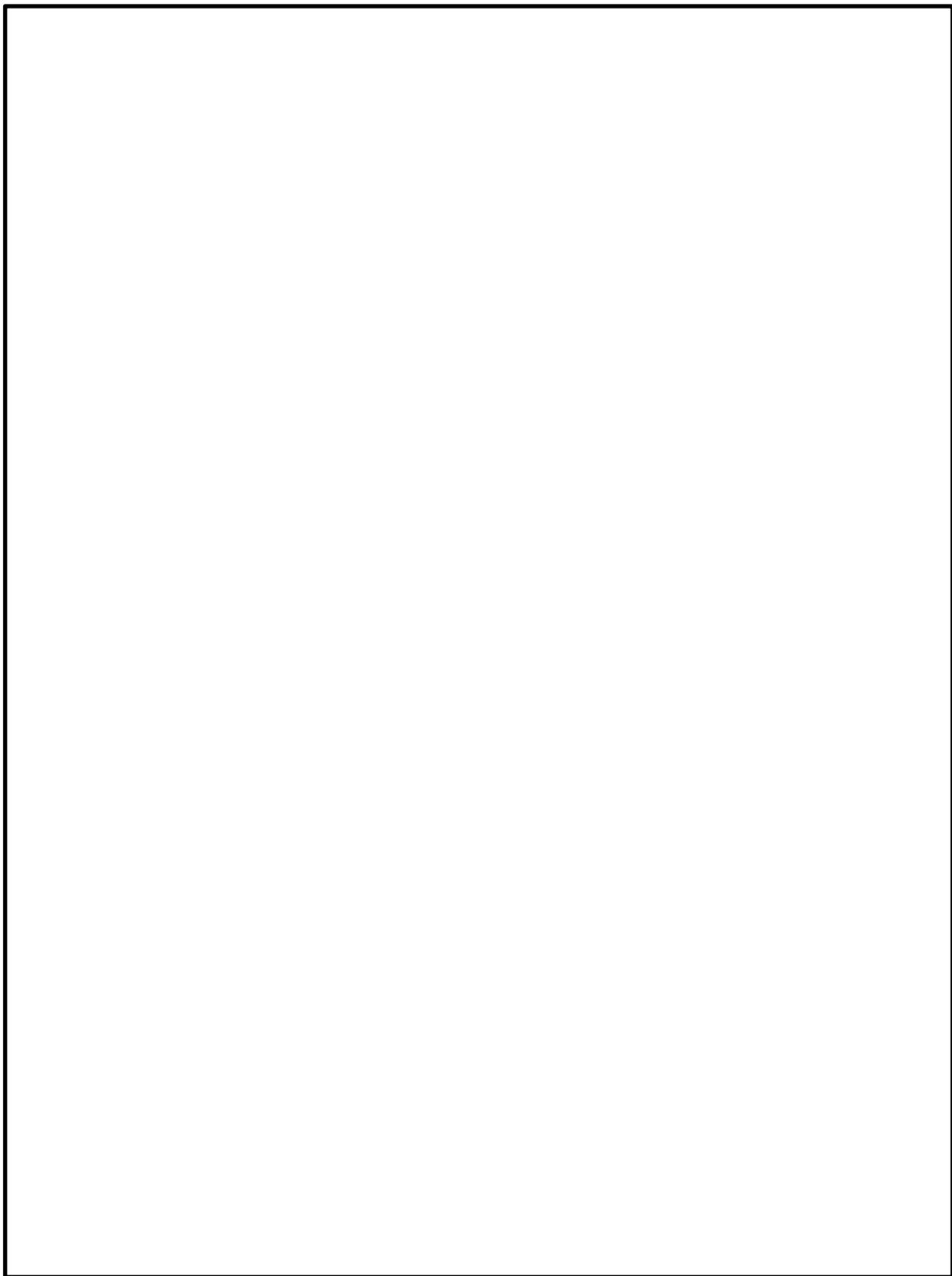


図 12-2(2) 応力計算のモデル

表 12-2 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SFVQ1A
	—	—	SUSF316
	—	—	NCF600-B
温度条件	T	℃	
縦弾性係数	SFVQ1A	E	MPa
	SUSF316	E	MPa
	NCF600-B	E	MPa
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	—	
節点数	—	—	

表 12-3 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	20	196	21	334
P01' P02'	20	196	21	334
P03 P04	20	196	21	334
P03' P04'	20	196	21	334
P05 P06	36	142	46	280
P05' P06'	36	142	46	280
P07 P08	0	142	0	280
P07' P08'	0	142	0	280

表 12-4 一次膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	62	295	60	501
P01' P02'	109	295	115	501
P03 P04	41	295	49	501
P03' P04'	36	295	43	501
P05 P06	135	214	156	420
P05' P06'	102	214	124	420
P07 P08	45	214	57	420
P07' P08'	23	214	35	420

表 12-5 一次+二次応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価点	一次+二次応力差最大範囲 ($P_L + P_b + Q$)		
	$S_n \# 1$	$S_n \# 2$	許容応力 $3 \cdot S_m$
P01	24	32	492
P01'	24	32	492
P02	26	40	492
P02'	26	40	492
P03	136	198	492
P03'	136	198	492
P04	26	38	492
P04'	26	38	492
P05	40	50	360
P05'	40	50	360
P06	186	258	360
P06'	186	258	360
P07	18	22	360
P07'	18	22	360
P08	132	198	360
P08'	132	198	360

表 12-6 疲労累積係数の評価のまとめ

応力評価点	疲労累積係数				許容値
	U_n	U_{S_d}	U_{S_s}	U_f^*	
P01	0.132	0.000	0.000	0.132	1.0
P01'	0.098	0.000	0.000	0.098	1.0
P02	0.005	0.000	0.000	0.005	1.0
P02'	0.007	0.000	0.000	0.007	1.0
P03	0.012	0.003	0.014	0.026	1.0
P03'	0.003	0.003	0.014	0.017	1.0
P04	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P04'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P05	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P05'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P06	0.010	0.039	0.126	0.136	1.0
P06'	0.054	0.039	0.126	0.180	1.0
P07	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P07'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P08	0.000	0.000	0.001	0.001	1.0
P08'	0.000	0.000	0.001	0.001	1.0

注記* : 疲労累積係数 U_f は、運転状態 I 及び II に地震荷重 S_d^* 又は地震荷重 S_s のいずれか大きい方を加えた値である。

表12-7 座屈に対する評価に用いる荷重

許容応力状態	鉛直力*1 V (kN)	モーメント*2 M (kN・m)
ⅢAS		
ⅣAS		

注記*1 : 「応力解析の方針」の4.2節に示す炉内側及び炉外側からの F_z の合計荷重

*2 : 「応力解析の方針」の4.2節に示す炉内側からの荷重 $M+H \cdot L_1$ と炉外側からの荷重 $M+H \cdot L_2$ の合計荷重。なお、 L_1 及び L_2 は荷重作用点からスタブ付根までの距離であり、それぞれ $L_1 = \square$ m, $L_2 = \square$ mである。

表12-8 座屈に対する評価

(単位 : MPa)

許容応力状態	圧縮応力	許容応力
ⅢAS	24	99
ⅣAS	31	124

13. 炉心支持板差圧検出ノズル (N11) の応力計算

13.1 一般事項

本章は、炉心支持板差圧検出ノズル (N11) の応力計算について示すものである。

炉心支持板差圧検出ノズル (N11) は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

13.1.1 記号の説明

記号の説明を「応力解析の方針」の2.4節に示す。

更に、本章において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
R_i	肉盛溶接部の内半径	mm
t	肉盛溶接部の最小厚さ	mm
A	肉盛溶接部の断面積	mm ²
Z	肉盛溶接部の断面係数	mm ³
σ_{ca}	許容応力	MPa
L_1	荷重作用点からスタブ付根までの距離	m
L_2	荷重作用点からスタブ付根までの距離	m

13.1.2 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所形状・寸法・材料を図13-1に示す。

13.1.3 解析範囲

解析範囲を図13-1に示す。

13.1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表13-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、各部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、疲労累積係数が厳しくなる評価点を記載する。

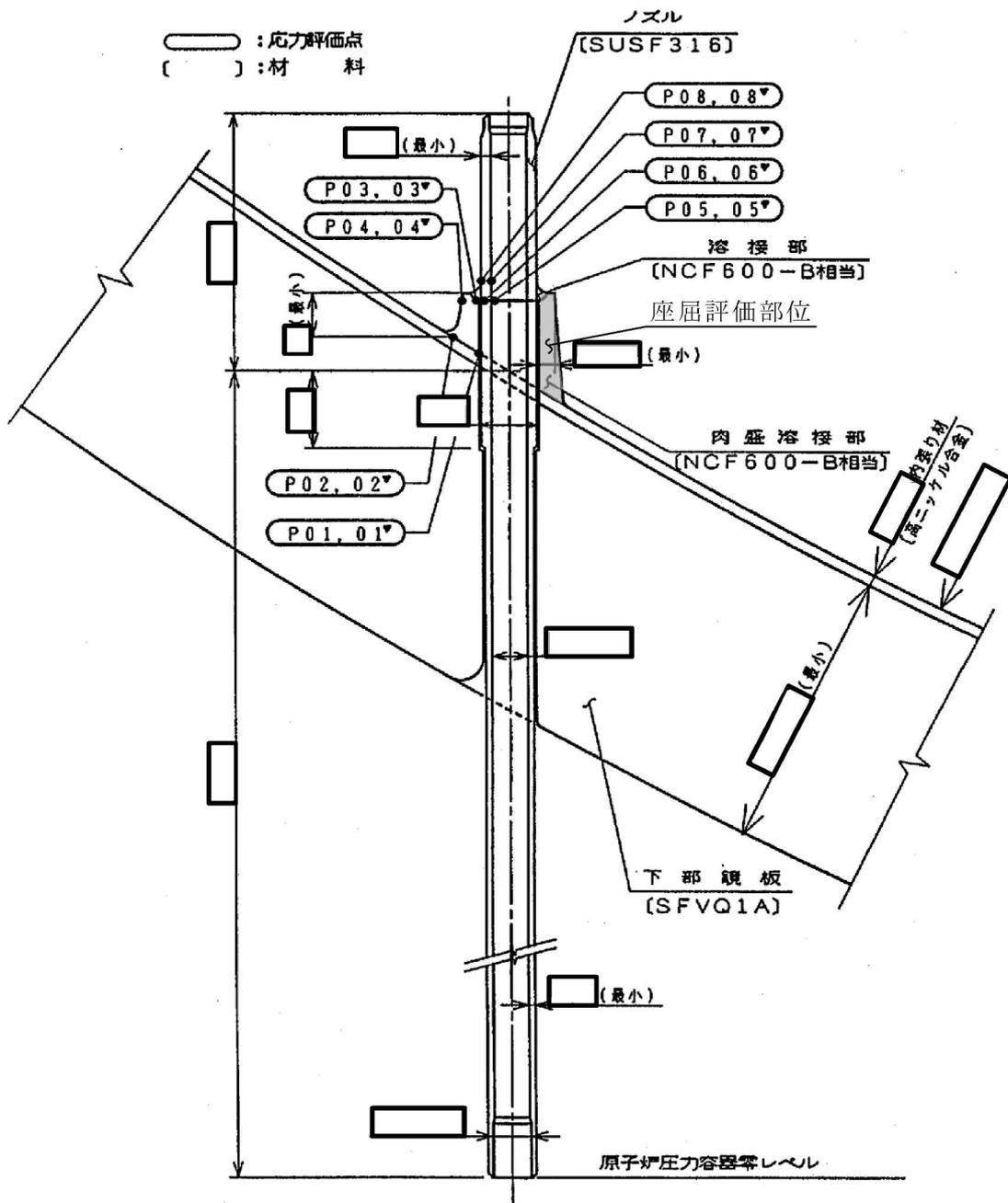


図13-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 13-1(1) 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次膜+一次曲げ応力強さ (MPa)			一次+二次応力強さ (MPa)			疲労解析		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価点	疲労* 累積係数	許容値	応力 評価点
肉盛溶接部 NCF600-B 相当	Ⅲ _A S	20	196	P01 - P02	109	295	P01' - P02'	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	21	334	P01 - P02	115	501	P01' - P02'	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	—	—	—	—	136	492	P03	0.132	1.0	P01
	Ⅳ _A S	—	—	—	—	—	—	198	492	P03			
ノズルエンド SUSF316	Ⅲ _A S	36	142	P05 - P06	135	214	P05 - P06	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	46	280	P05 - P06	156	420	P05 - P06	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	—	—	—	—	186	360	P06	0.180	1.0	P06'
	Ⅳ _A S	—	—	—	—	—	—	258	360	P06			

注記* : 疲労累積係数は、運転状態Ⅰ及びⅡに地震荷重 S_d*又は地震荷重 S_s のいずれか大きい方を加えた値である。

表13-1(2) 計算結果の概要

(単位 : MPa)

部分及び材料	許容応力状態	座屈に対する評価	
		圧縮応力	許容応力
肉盛溶接部 NCF600-B 相当	Ⅲ _A S	24	99
	Ⅳ _A S	31	124

13.2 計算条件

13.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1節に示す。

13.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2節に示す。

13.2.3 材料

各部の材料を図13-1に示す。

13.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」の3.4節に示す。

13.2.5 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の4.3節に示す。

13.2.6 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5節に示す。

13.3 応力計算

13.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図13-1に示す。

なお、応力集中を生じる箇所の応力集中係数は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)○.に定めるとおりである。

13.3.2 内圧による応力

(1) 荷重条件 (L01)

各運転状態による内圧は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)○.に定めるとおりである。

(2) 計算方法

内圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)○.に定めるとおりである。

13.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L07, L14, L15, L16及びL17)

外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(5)に示す。

(2) 計算方法

外荷重による形状不連続の効果を含まない応力の計算は、「応力解析の方針」の5.1節に示す解析コード「PIPE」により行う。

外荷重による形状不連続の効果を含まない応力の計算は、二次元軸対称の有限要素でモデル化し、「応力解析の方針」の5.1節に示す解析コード「STAX」及び「ASHSD」により行う。

解析においては、胴板及び炉内配管との取り合い部で溶接されるため、胴板及び炉内配管の一部を含めてモデル化している。拘束条件は、胴板の端部を拘束している。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件を図13-2に示す。また、地震による評価に用いる機器の諸元について表13-2に示す。

13.3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の5.2.2項に定めるとおりである。

13.4 応力強さの評価

13.4.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表13-3に示す。

表13-3より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

13.4.2 一次膜+一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表13-4に示す。

表13-4より、各許容応力状態の一次膜+一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

13.4.3 一次+二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表13-5に示す。

表13-5より、すべての評価点において $S_n^{\#1}$ 及び $S_n^{\#2}$ は、 $3 \cdot S_m$ 以下であり、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

13.5 繰返し荷重の評価

13.5.1 疲労解析

肉盛溶接部及びノズルの応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

各応力評価点における疲労累積係数を表13-6に示す。

表13-6より、各応力評価点において疲労累積係数は1.0以下であり、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容値を満足する。

13.6 特別な応力の評価

13.6.1 座屈に対する評価

肉盛溶接部には、炉心支持板差圧検出ノズル (N11) に作用する鉛直力及びモーメントにより、圧縮応力が生じる。したがって、これらの荷重の組合せにより発生する圧縮応力の評価を行う。

(1) 計算データ

肉盛溶接部の内半径 $R_i = \boxed{} \text{ mm}$

肉盛溶接部の最小厚さ $t = \boxed{} \text{ mm}$

肉盛溶接部の断面積

$$A = \pi \cdot \{(R_i + t)^2 - R_i^2\} = \pi \times \boxed{} = \boxed{} \text{ mm}^2$$

肉盛溶接部の断面係数

$$Z = \frac{\pi \cdot (R_i + t)^4 - R_i^4}{4 \cdot (R_i + t)} = \frac{\pi}{4} \times \boxed{} \\ = \boxed{} \text{ mm}^3$$

(2) 荷重

肉盛溶接部に作用する鉛直力及びモーメントを「応力解析の方針」の表4-1(5)に示す。

(3) 圧縮応力

計算データ (断面性能) を基に、表13-7に示す各許容応力状態の荷重によって肉盛溶接部に発生する圧縮応力を表13-8に示す。

(4) 許容応力

各許容応力状態における許容応力の計算は、設計・建設規格 PVB-3117を準用して計算する。

a. 許容応力状態ⅢAS

許容応力状態ⅢASにおける許容応力 σ_{ca} は、次のように得られる。

$$\sigma_{ca} = 1.2 \text{MIN}[S_m, B]$$

ここで、

$$S_m = \boxed{} \text{MPa}$$

$$B = 83 \text{ MPa}$$

$$\boxed{} \text{ } ^\circ\text{C} \text{ における値}$$

このうちB値は、設計・建設規格 PVB-3117より、次のようにして求める。
設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1より

$$A = \frac{0.125}{R_i / t} = \frac{0.125}{\boxed{}} = \boxed{}$$

を用いて、設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図7より

$$B = 83 \text{ MPa}$$

よって、許容応力 σ_{ca} は、

$$\sigma_{ca} = 1.2 \cdot B = 1.2 \times 83 = 99 \text{ MPa}$$

b. 許容応力状態ⅣAS

許容応力状態ⅣASにおける許容応力 σ_{ca} は、次のように得られる。

$$\sigma_{ca} = 1.5 \text{MIN}[S_m, B]$$

よって、許容応力 σ_{ca} は、

$$\sigma_{ca} = 1.5 \cdot B = 1.5 \times 83 = 124 \text{ MPa}$$

(5) 座屈に対する評価

各許容応力状態における座屈に対する評価を表13-8に示す。

表13-8より、各許容応力状態における圧縮応力は、許容応力を満足するため、座屈は発生しない。

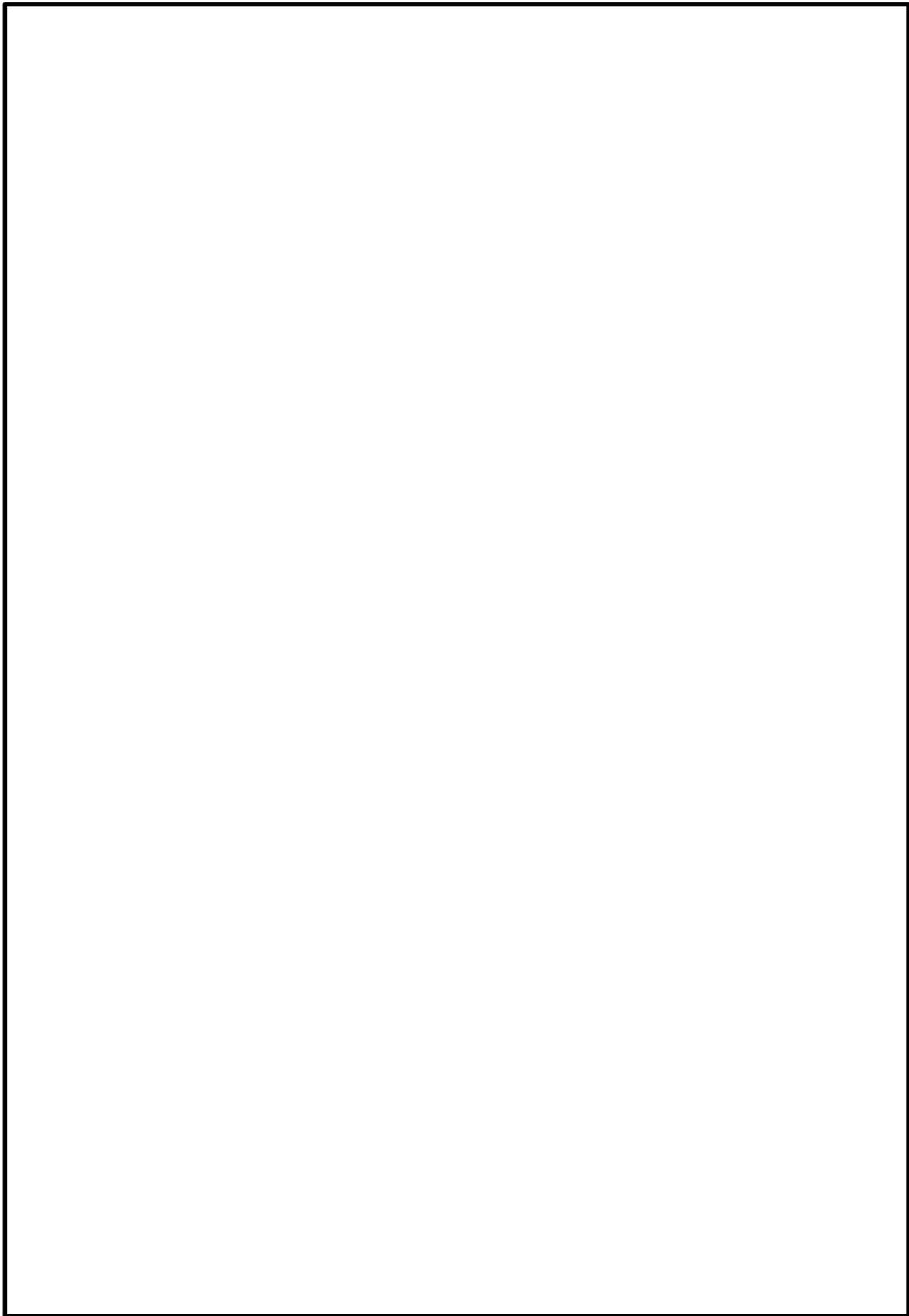


図 13-2(1) 応力計算のモデル

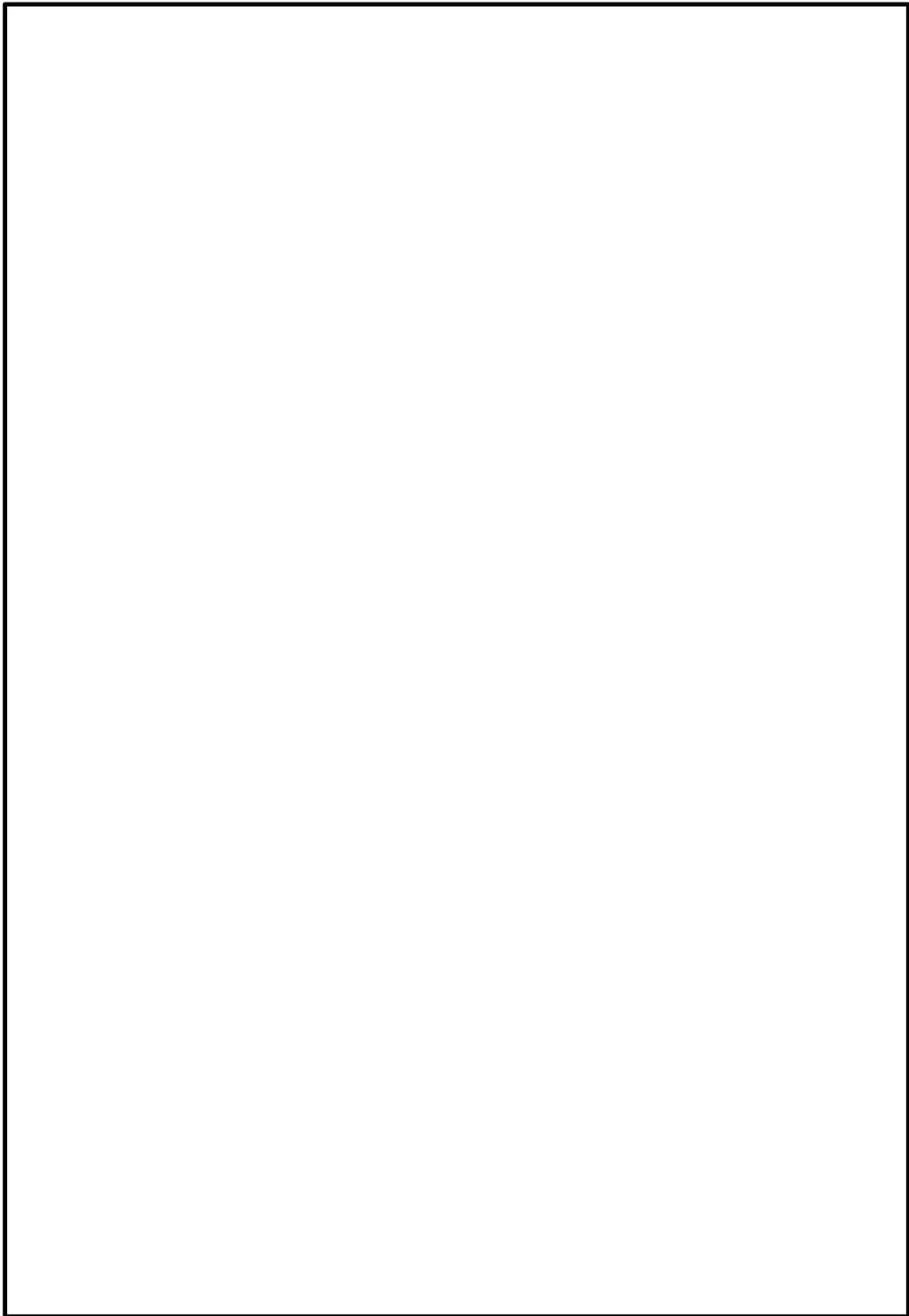


図 13-2(2) 応力計算のモデル

表 13-2 機器諸元

項目		記号	単位	入力値
材質		—	—	SFVQ1A
		—	—	SUSF316
		—	—	NCF600-B
温度条件		T	℃	
縦弾性係数	SFVQ1A	E	MPa	
	SUSF316	E	MPa	
	NCF600-B	E	MPa	
ポアソン比		ν	—	
要素数		—	—	
節点数		—	—	

表 13-3 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	20	196	21	334
P01' P02'	20	196	21	334
P03 P04	20	196	21	334
P03' P04'	20	196	21	334
P05 P06	36	142	46	280
P05' P06'	36	142	46	280
P07 P08	0	142	0	280
P07' P08'	0	142	0	280

表 13-4 一次膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態ⅢA S		許容応力状態ⅣA S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	62	295	60	501
P01' P02'	109	295	115	501
P03 P04	41	295	49	501
P03' P04'	36	295	43	501
P05 P06	135	214	156	420
P05' P06'	102	214	124	420
P07 P08	45	214	57	420
P07' P08'	23	214	35	420

表 13-5 一次+二次応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価点	一次+二次応力差最大範囲 ($P_L + P_b + Q$)		
	$S_n \# 1$	$S_n \# 2$	許容応力 $3 \cdot S_m$
P01	24	32	492
P01'	24	32	492
P02	26	40	492
P02'	26	40	492
P03	136	198	492
P03'	136	198	492
P04	26	38	492
P04'	26	38	492
P05	40	50	360
P05'	40	50	360
P06	186	258	360
P06'	186	258	360
P07	18	22	360
P07'	18	22	360
P08	132	198	360
P08'	132	198	360

表 13-6 疲労累積係数の評価のまとめ

応力評価点	疲労累積係数				許容値
	U_n	U_{S_d}	U_{S_s}	U_f^*	
P01	0.132	0.000	0.000	0.132	1.0
P01'	0.098	0.000	0.000	0.098	1.0
P02	0.005	0.000	0.000	0.005	1.0
P02'	0.007	0.000	0.000	0.007	1.0
P03	0.012	0.003	0.014	0.026	1.0
P03'	0.003	0.003	0.014	0.017	1.0
P04	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P04'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P05	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P05'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P06	0.010	0.039	0.126	0.136	1.0
P06'	0.054	0.039	0.126	0.180	1.0
P07	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P07'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P08	0.000	0.000	0.001	0.001	1.0
P08'	0.000	0.000	0.001	0.001	1.0

注記* : 疲労累積係数 U_f は、運転状態 I 及び II に地震荷重 S_d^* 又は地震荷重 S_s のいずれか大きい方を加えた値である。

表13-7 座屈に対する評価に用いる荷重

許容応力状態	鉛直力*1 V (kN)	*2モーメント*2 M (kN・m)
ⅢAS		
ⅣAS		

注記*1 : 「応力解析の方針」の4.2節に示す炉内側及び炉外側からの F_z の合計荷重

*2 : 「応力解析の方針」の4.2節に示す炉内側からの荷重 $M+H \cdot L_1$ と炉外側からの荷重 $M+H \cdot L_2$ の合計荷重。なお、 L_1 及び L_2 は荷重作用点からスタブ付根までの距離であり、それぞれ $L_1 = \square$ m, $L_2 = \square$ mである。

表13-8 座屈に対する評価

(単位 : MPa)

許容応力状態	圧縮応力	許容応力
ⅢAS	24	99
ⅣAS	31	124

14. 計装ノズル (N12) の応力計算

14.1 一般事項

本章は、計装ノズル (N12) の応力計算について示すものである。

計装ノズル (N12) は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

14.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所の形状・寸法・材料を図14-1に示す。

14.1.2 解析範囲

解析範囲を図14-1に示す。

14.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表14-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、各部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、疲労累積係数が厳しくなる評価点を記載する。

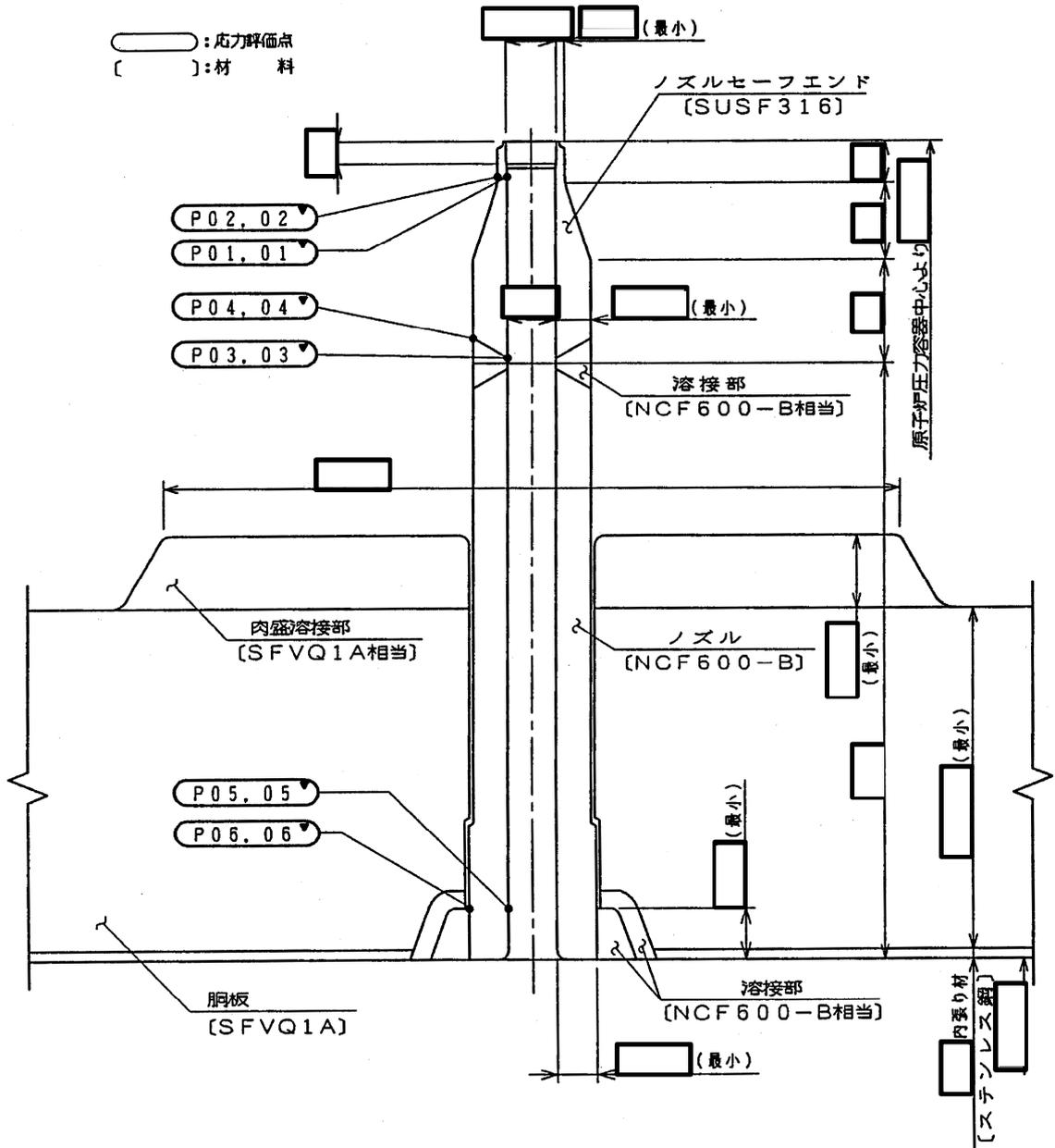


図14-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 14-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次膜＋一次曲げ応力強さ (MPa)			一次＋二次応力強さ (MPa)			疲労解析		
		応力 強さ	許容 応力	応力評価面	応力 強さ	許容 応力	応力評価面	応力 強さ	許容 応力	応力 評価点	疲労*1 累積係数	許容値	応力 評価点
ノズル セーフエンド SUSF316	Ⅲ _A S	80	142	P01' - P02'	153	205	P01' - P02'	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	117	280	P01 - P02	206	403	P01' - P02'	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	—	—	—	—	296	360	P02	0.004	1.0	P02
	Ⅳ _A S	—	—	—	—	—	—	404*2	360	P02			
ノズル NCF600-B	Ⅲ _A S	12	196	P05 - P06	27	295	P05 - P06	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	14	334	P05 - P06	34	501	P05 - P06	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	—	—	—	—	44	492	P06	0.011	1.0	P06'
	Ⅳ _A S	—	—	—	—	—	—	60	492	P06			

注：管台（穴の周辺部）については設計・建設規格 PVB-3510(1)により、応力評価は不要である。

注記*1：疲労累積係数は、運転状態Ⅰ及びⅡに地震荷重 S_d^* 又は地震荷重 S_s のいずれか大きい方を加えた値である。

*2：許容値 $3 \cdot S_m$ を超えるため、設計・建設規格 PVB-3300の簡易弾塑性解析を行う。

14.2 計算条件

14.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1節に示す。

14.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2節に示す。

14.2.3 材料

各部の材料を図14-1に示す。

14.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」の3.4節に示す。

14.2.5 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の4.3節に示す。

14.2.6 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5節に示す。

14.3 応力計算

14.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図14-1に示す。

なお、応力集中を生じる箇所 of 応力集中係数は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)p. に定めるとおりである。

14.3.2 内圧による応力

(1) 荷重条件 (L01)

各運転状態による内圧は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)p. に定めるとおりである。

(2) 計算方法

内圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)p. に定めるとおりである。

14.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L07, L14, L15, L16及びL17)

外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(5)に示す。

(2) 計算方法

外荷重による形状不連続の効果を含まない応力の計算は、「応力解析の方針」の5.1節に示す解析コード「PIPE」により行う。

外荷重による形状不連続の効果を含まない応力の計算は、二次元軸対称の有限要素でモデル化し、「応力解析の方針」の5.1節に示す解析コード「STAX」及び「ASHSD」により行う。

解析においては、胴板との取り合い部で溶接されるため、胴板の一部を含めてモデル化している。拘束条件は、胴板の端部を拘束している。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件を図14-2に示す。また、地震による評価に用いる機器の諸元について表14-2に示す。

14.3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の5.2.2項に定めるとおりである。

14.4 応力強さの評価

14.4.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表14-3に示す。

表14-3より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

14.4.2 一次膜+一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表14-4に示す。

表14-4より、各許容応力状態の一次膜+一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

14.4.3 一次＋二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表14-5に示す。

表14-5より、以下の評価点を除くすべての評価点において $S_n^{\#1}$ 及び $S_n^{\#2}$ は、 $3 \cdot S_m$ 以下であり、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

P02及びP02'

一次＋二次応力強さの最大範囲が $3 \cdot S_m$ を超える応力評価点（P02及びP02'）にあつては、「応力解析の方針」の5.3節に示す簡易弾塑性解析の方法を適用する。

14.5 繰返し荷重の評価

14.5.1 疲労解析

ノズルセーフエンド及びノズルの応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

$S_n^{\#1}$ 又は $S_n^{\#2}$ が $3 \cdot S_m$ を超える応力評価点のうち最も厳しい応力評価点（P02）における疲労累積係数の計算結果を表14-6に示す。また、各応力評価点における疲労累積係数を表14-7に示す。

表14-7より、各応力評価点において疲労累積係数は1.0以下であり、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容値を満足する。

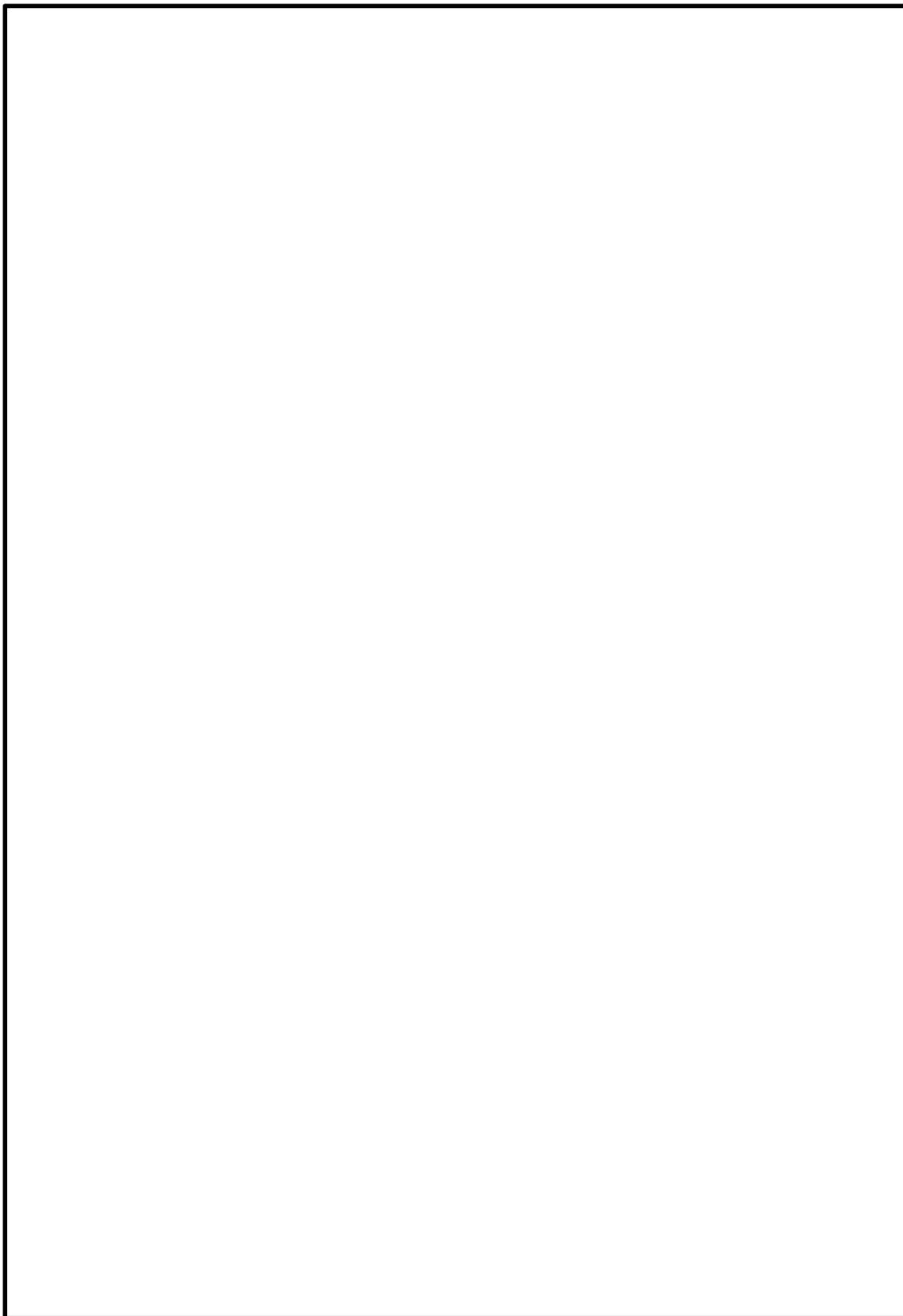


図 14-2(1) 応力計算のモデル

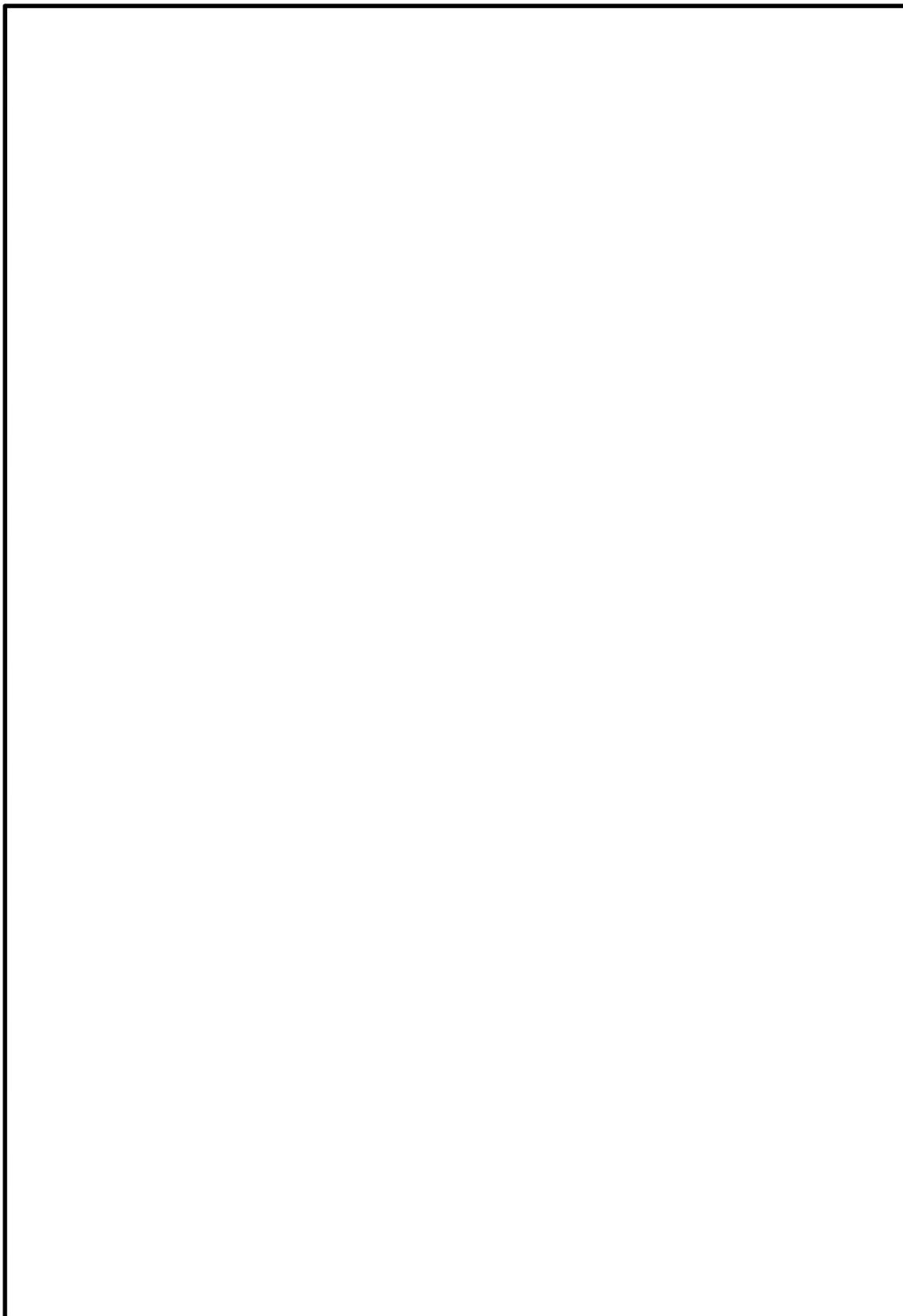


図 14-2(2) 応力計算のモデル

表 14-2 機器諸元

項目		記号	単位	入力値
材質		—	—	SFVQ1A
		—	—	SUSF316
		—	—	NCF600-B
温度条件		T	℃	
縦弾性係数	SFVQ1A	E	MPa	
	SUSF316	E	MPa	
	NCF600-B	E	MPa	
ポアソン比		ν	—	
要素数		—	—	
節点数		—	—	

表 14-3 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	79	142	117	280
P01' P02'	80	142	117	280
P03 P04	14	142	19	280
P03' P04'	14	142	19	280
P05 P06	12	196	14	334
P05' P06'	12	196	14	334

表 14-4 一次膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	145	205	192	403
P01' P02'	153	205	206	403
P03 P04	28	214	35	420
P03' P04'	27	214	35	420
P05 P06	27	295	34	501
P05' P06'	27	295	34	501

表 14-5 一次+二次応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価点	一次+二次応力差最大範囲 ($P_L + P_b + Q$)		
	$S_n^{\#1}$	$S_n^{\#2}$	許容応力 $3 \cdot S_m$
P01	156	224	360
P01'	156	224	360
P02	296	404*	360
P02'	296	404*	360
P03	16	24	360
P03'	16	24	360
P04	44	62	360
P04'	44	62	360
P05	10	14	492
P05'	10	14	492
P06	44	60	492
P06'	44	60	492

注記*：簡易弾塑性解析を行う。

表 14-6 疲労累積係数

応力評価点 — P02

材 料 — SUSF316

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	404	1.229	464	285	316	52800	200	0.004
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.004
疲労累積係数 $U_n =$								0.000
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_s} =$								0.004

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の 5.3.1 項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0 / E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{MPa}, E = \boxed{} \text{MPa}$$

表 14-7 疲労累積係数の評価のまとめ

応力評価点	疲労累積係数				許容値
	U_n	U_{S_d}	U_{S_s}	U_f^*	
P01	0.000	0.000	0.001	0.001	1.0
P01'	0.000	0.000	0.001	0.001	1.0
P02	0.000	0.001	0.004	0.004	1.0
P02'	0.000	0.001	0.004	0.004	1.0
P03	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P03'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P04	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P04'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P05	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P05'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P06	0.009	0.001	0.001	0.010	1.0
P06'	0.010	0.001	0.001	0.011	1.0

注記* : 疲労累積係数 U_f は、運転状態Ⅰ及びⅡに地震荷重 S_d^* 又は地震荷重 S_s のいずれか大きい方を加えた値である。

15. 計装ノズル (N13) の応力計算

15.1 一般事項

本章は、計装ノズル (N13) の応力計算について示すものである。

計装ノズル (N13) は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

15.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所の形状・寸法・材料を図15-1に示す。

15.1.2 解析範囲

解析範囲を図15-1に示す。

15.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表15-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、各部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、疲労累積係数が厳しくなる評価点を記載する。

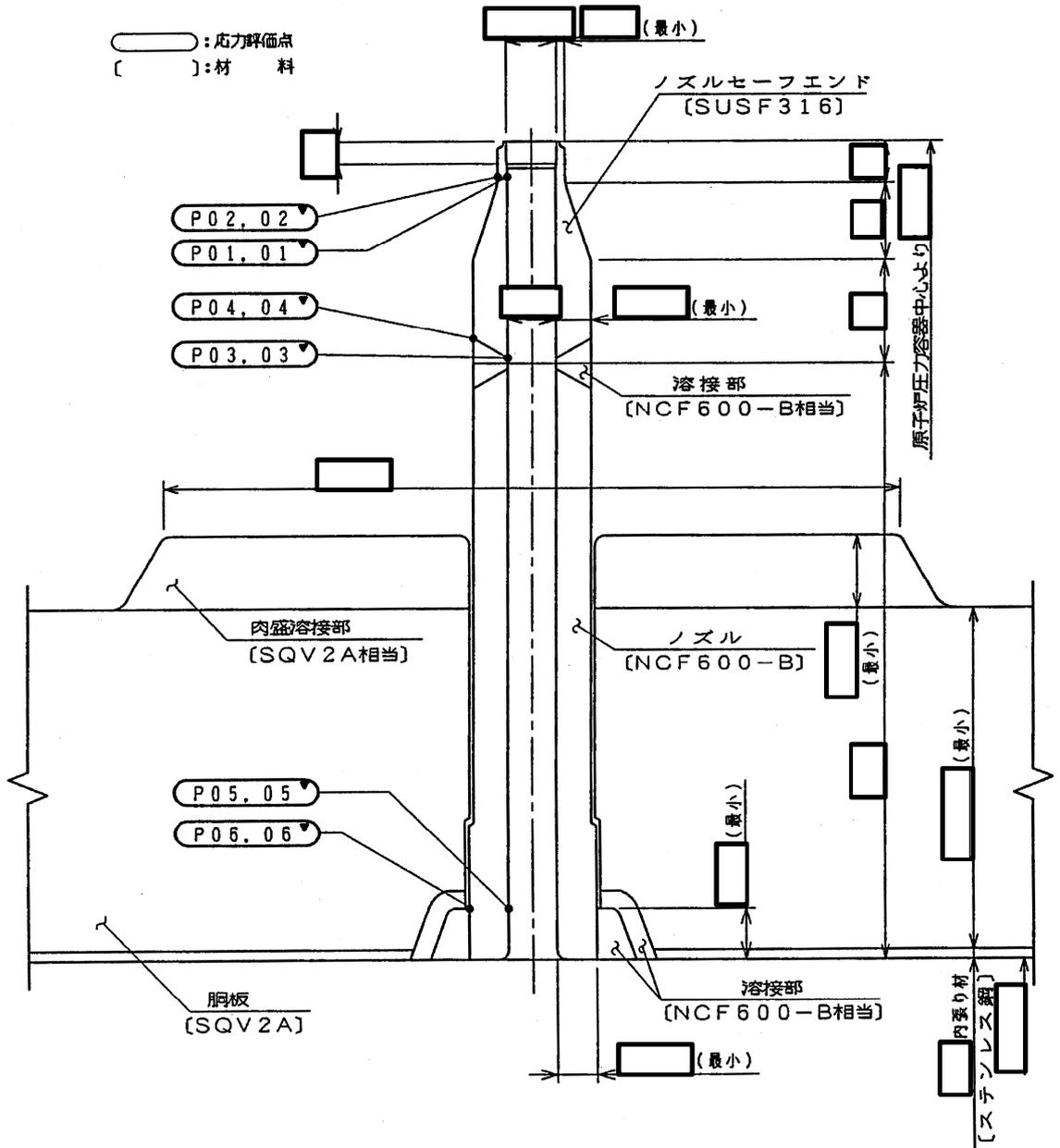


図15-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 15-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次膜＋一次曲げ応力強さ (MPa)			一次＋二次応力強さ (MPa)			疲労解析		
		応力 強さ	許容 応力	応力評価面	応力 強さ	許容 応力	応力評価面	応力 強さ	許容 応力	応力 評価点	疲労*1 累積係数	許容値	応力 評価点
ノズル セーフエンド SUSF316	Ⅲ _A S	80	142	P01' - P02'	153	205	P01' - P02'	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	117	280	P01 - P02	206	403	P01' - P02'	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	—	—	—	—	296	360	P02	0.004	1.0	P02
	Ⅳ _A S	—	—	—	—	—	—	404*2	360	P02			
ノズル NCF600-B	Ⅲ _A S	12	196	P05 - P06	27	295	P05 - P06	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	14	334	P05 - P06	34	501	P05 - P06	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	—	—	—	—	44	492	P06	0.011	1.0	P06'
	Ⅳ _A S	—	—	—	—	—	—	60	492	P06			

注：管台（穴の周辺部）については設計・建設規格 PVB-3510(1)により、応力評価は不要である。

注記*1：疲労累積係数は、運転状態Ⅰ及びⅡに地震荷重 S_d^* 又は地震荷重 S_s のいずれか大きい方を加えた値である。

*2：許容値 $3 \cdot S_m$ を超えるため、設計・建設規格 PVB-3300の簡易弾塑性解析を行う。

15.2 計算条件

15.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1節に示す。

15.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2節に示す。

15.2.3 材料

各部の材料を図15-1に示す。

15.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」の3.4節に示す。

15.2.5 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の4.3節に示す。

15.2.6 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5節に示す。

15.3 応力計算

15.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図15-1に示す。

なお、応力集中を生じる箇所 of 応力集中係数は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)p. に定めるとおりである。

15.3.2 内圧による応力

(1) 荷重条件 (L01)

各運転状態による内圧は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)p. に定めるとおりである。

(2) 計算方法

内圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)p. に定めるとおりである。

15.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L07, L14, L15, L16及びL17)

外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(5)に示す。

(2) 計算方法

外荷重による形状不連続の効果を含まない応力の計算は、「応力解析の方針」の5.1節に示す解析コード「PIPE」により行う。

外荷重による形状不連続の効果を含まない応力の計算は、二次元軸対称の有限要素でモデル化し、「応力解析の方針」の5.1節に示す解析コード「STAX」及び「ASHSD」により行う。

解析においては、胴板との取り合い部で溶接されるため、胴板の一部を含めてモデル化している。拘束条件は、胴板の端部を拘束している。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件を図15-2に示す。また、地震による評価に用いる機器の諸元について表15-2に示す。

15.3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の5.2.2項に定めるとおりである。

15.4 応力強さの評価

15.4.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表15-3に示す。

表15-3より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

15.4.2 一次膜+一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表15-4に示す。

表15-4より、各許容応力状態の一次膜+一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

15.4.3 一次＋二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表15-5に示す。

表15-5より、以下の評価点を除くすべての評価点において $S_n^{\#1}$ 及び $S_n^{\#2}$ は、 $3 \cdot S_m$ 以下であり、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

P02及びP02'

一次＋二次応力強さの最大範囲が $3 \cdot S_m$ を超える応力評価点（P02及びP02'）にあつては、「応力解析の方針」の5.3節に示す簡易弾塑性解析の方法を適用する。

15.5 繰返し荷重の評価

15.5.1 疲労解析

ノズルセーフエンド及びノズルの応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

$S_n^{\#1}$ 又は $S_n^{\#2}$ が $3 \cdot S_m$ を超える応力評価点のうち最も厳しい応力評価点（P02）における疲労累積係数の計算結果を表15-6に示す。また、各応力評価点における疲労累積係数を表15-7に示す。

表15-7より、各応力評価点において疲労累積係数は1.0以下であり、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容値を満足する。

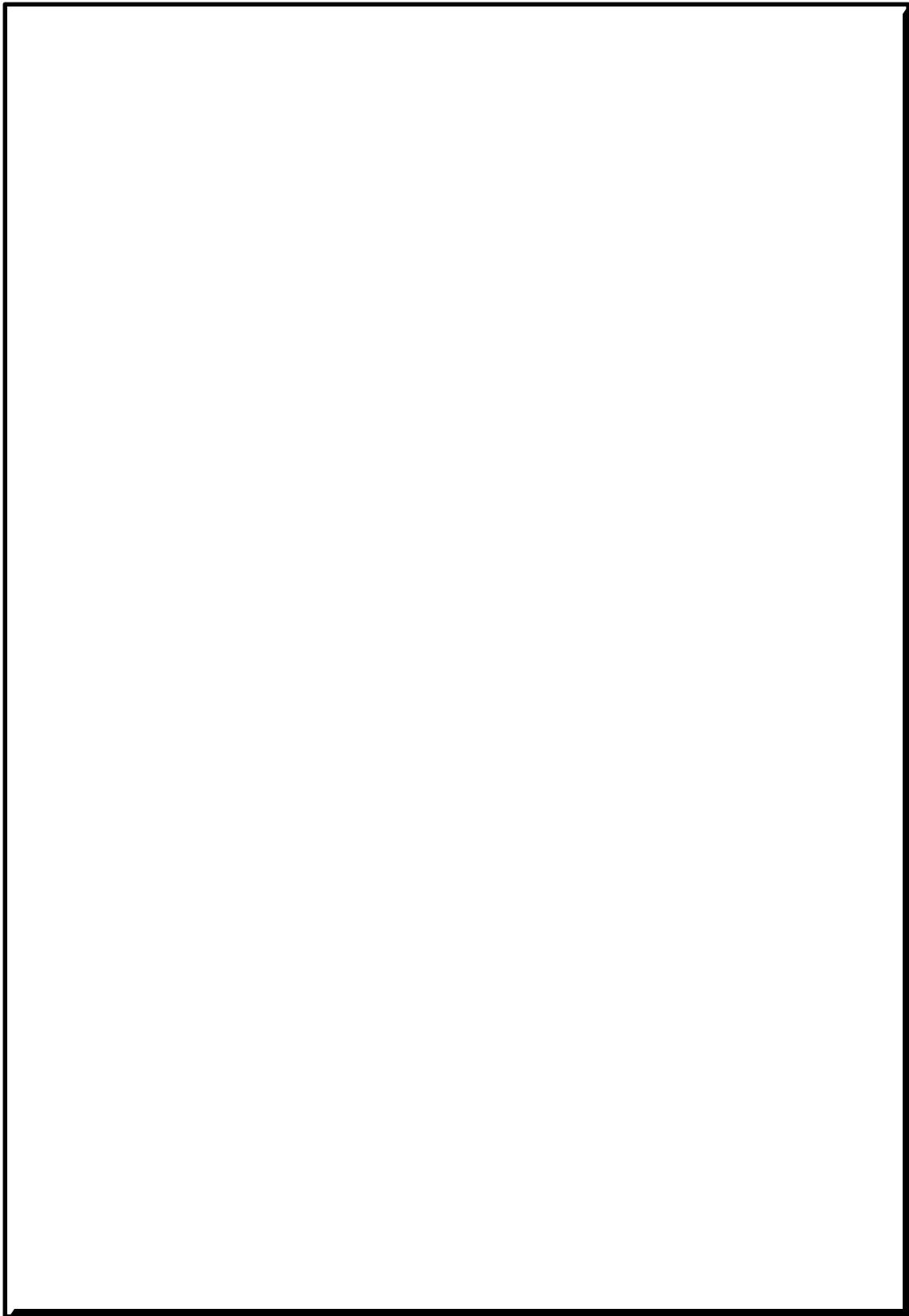


図 15-2(1) 応力計算のモデル

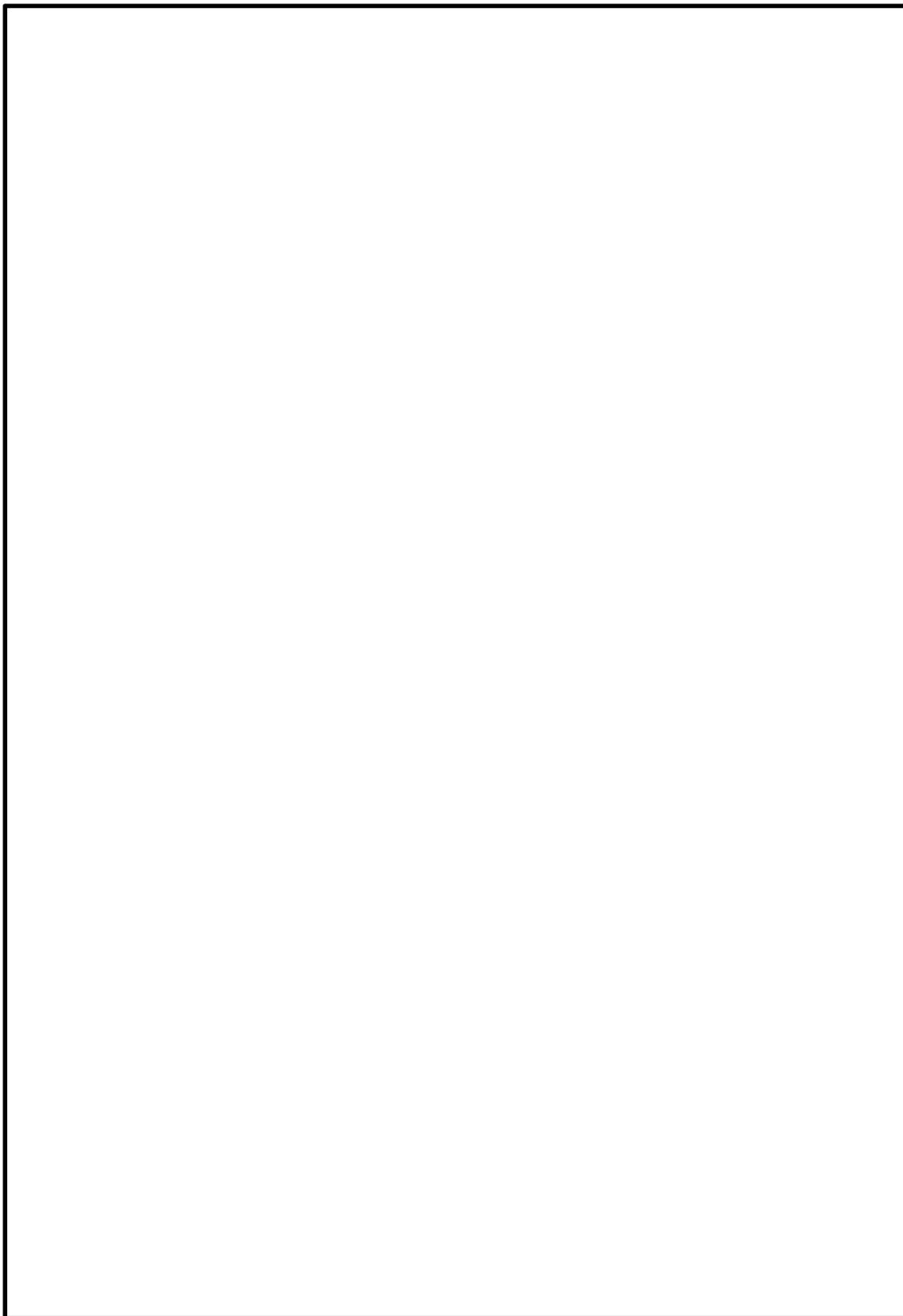


図 15-2(2) 応力計算のモデル

表 15-2 機器諸元

項目		記号	単位	入力値
材質		—	—	SQV2A
		—	—	SUSF316
		—	—	NCF600-B
温度条件		T	℃	
縦弾性係数	SQV2A	E	MPa	
	SUSF316	E	MPa	
	NCF600-B	E	MPa	
ポアソン比		ν	—	
要素数		—	—	
節点数		—	—	

表 15-3 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	79	142	117	280
P01' P02'	80	142	117	280
P03 P04	14	142	19	280
P03' P04'	14	142	19	280
P05 P06	12	196	14	334
P05' P06'	12	196	14	334

表 15-4 一次膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	145	205	192	403
P01' P02'	153	205	206	403
P03 P04	28	214	35	420
P03' P04'	27	214	35	420
P05 P06	27	295	34	501
P05' P06'	27	295	34	501

表 15-5 一次+二次応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価点	一次+二次応力差最大範囲 ($P_L + P_b + Q$)		
	$S_n^{\#1}$	$S_n^{\#2}$	許容応力 $3 \cdot S_m$
P01	156	224	360
P01'	156	224	360
P02	296	404*	360
P02'	296	404*	360
P03	16	24	360
P03'	16	24	360
P04	44	62	360
P04'	44	62	360
P05	10	14	492
P05'	10	14	492
P06	44	60	492
P06'	44	60	492

注記* : 簡易弾塑性解析を行う。

表 15-6 疲労累積係数

応力評価点 — P02

材 料 — SUSF316

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	404	1.229	464	285	316	52800	200	0.004
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.004
疲労累積係数 $U_n =$								0.000
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_s} =$								0.004

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の 5.3.1 項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0 / E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{ MPa}, \quad E = \boxed{} \text{ MPa}$$

表 15-7 疲労累積係数の評価のまとめ

応力評価点	疲労累積係数				許容値
	U_n	U_{S_d}	U_{S_s}	U_f^*	
P01	0.000	0.000	0.001	0.001	1.0
P01'	0.000	0.000	0.001	0.001	1.0
P02	0.000	0.001	0.004	0.004	1.0
P02'	0.000	0.001	0.004	0.004	1.0
P03	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P03'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P04	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P04'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P05	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P05'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P06	0.009	0.001	0.001	0.010	1.0
P06'	0.010	0.001	0.001	0.011	1.0

注記* : 疲労累積係数 U_f は、運転状態Ⅰ及びⅡに地震荷重 S_d^* 又は地震荷重 S_s のいずれか大きい方を加えた値である。

16. 計装ノズル (N14) の応力計算

16.1 一般事項

本章は、計装ノズル (N14) の応力計算について示すものである。

計装ノズル (N14) は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

16.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所の形状・寸法・材料を図16-1に示す。

16.1.2 解析範囲

解析範囲を図16-1に示す。

16.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表16-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、各部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、疲労累積係数が厳しくなる評価点を記載する。

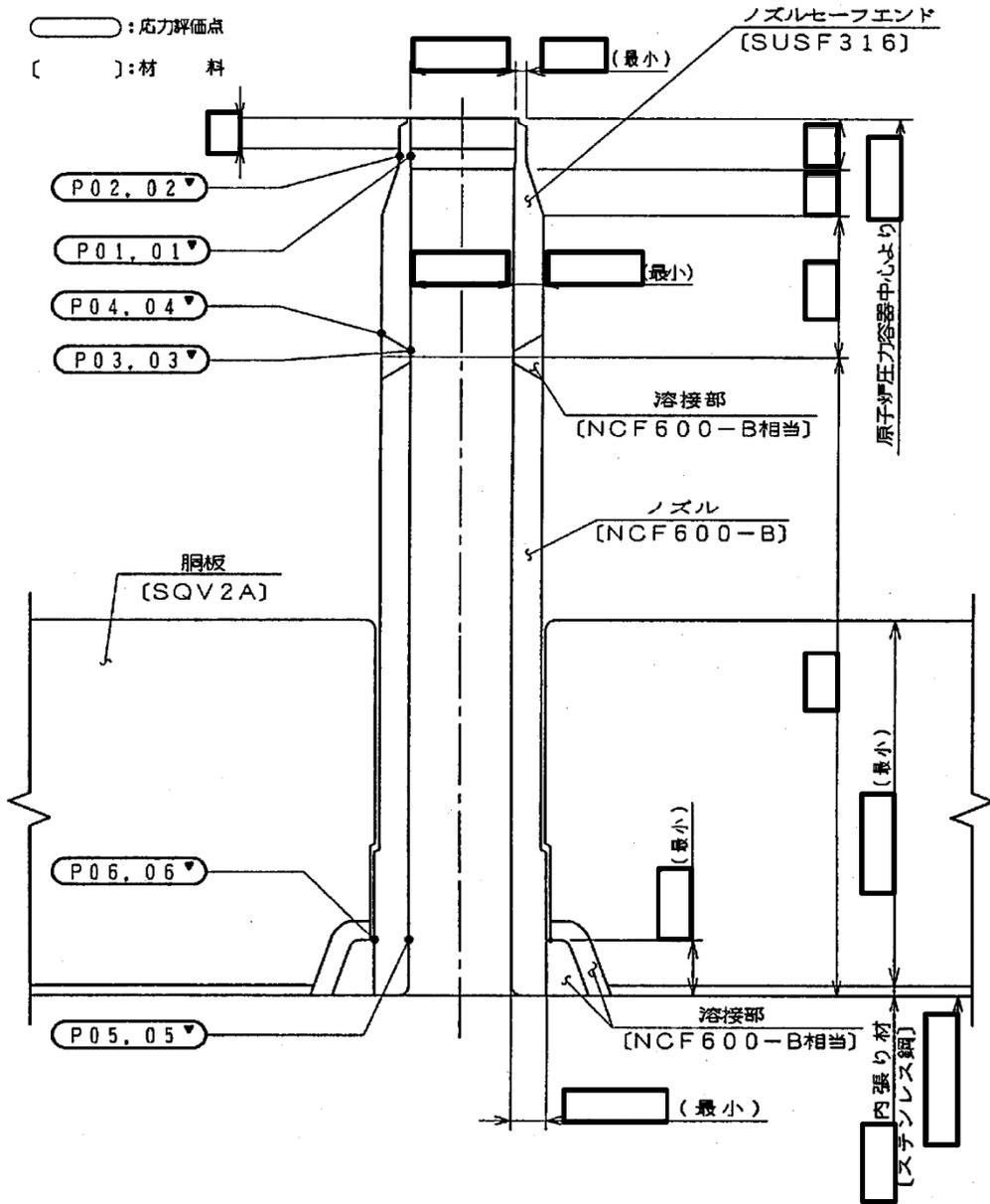


図16-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 16-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次膜+一次曲げ応力強さ (MPa)			一次+二次応力強さ (MPa)			疲労解析		
		応力 強さ	許容 応力	応力評価面	応力 強さ	許容 応力	応力評価面	応力 強さ	許容 応力	応力 評価点	疲労* 累積係数	許容値	応力 評価点
ノズル セーフエンド SUSF316	Ⅲ _A S	47	142	P01 - P02	78	197	P01 - P02	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	48	280	P01 - P02	87	386	P01 - P02	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	—	—	—	—	94	360	P02	0.000	1.0	P02
	Ⅳ _A S	—	—	—	—	—	—	116	360	P02			
ノズル NCF600-B	Ⅲ _A S	16	196	P05 - P06	27	295	P05 - P06	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	16	334	P05 - P06	31	501	P05 - P06	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	—	—	—	—	32	492	P06	0.010	1.0	P06
	Ⅳ _A S	—	—	—	—	—	—	44	492	P06			

注：管台（穴の周辺部）については設計・建設規格 PVB-3510(1)により、応力評価は不要である。

注記*：疲労累積係数は、運転状態Ⅰ及びⅡに地震荷重 S_d^* 又は地震荷重 S_s のいずれか大きい方を加えた値である。

16.2 計算条件

16.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1節に示す。

16.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2節に示す。

16.2.3 材料

各部の材料を図16-1に示す。

16.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」の3.4節に示す。

16.2.5 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の4.3節に示す。

16.2.6 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5節に示す。

16.3 応力計算

16.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図16-1に示す。

なお、応力集中を生じる箇所での応力集中係数は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)p. に定めるとおりである。

16.3.2 内圧による応力

(1) 荷重条件 (L01)

各運転状態による内圧は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)p. に定めるとおりである。

(2) 計算方法

内圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)p. に定めるとおりである。

16.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L07, L14, L15, L16及びL17)

外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(5)に示す。

(2) 計算方法

外荷重による形状不連続の効果を含まない応力の計算は、「応力解析の方針」の5.1節に示す解析コード「PIPE」により行う。

外荷重による形状不連続の効果を含まない応力の計算は、二次元軸対称の有限要素でモデル化し、「応力解析の方針」の5.1節に示す解析コード「STAX」及び「ASHSD」により行う。

解析においては、胴板との取り合い部で溶接されるため、胴板の一部を含めてモデル化している。拘束条件は、胴板の端部を拘束している。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件を図16-2に示す。また、地震による評価に用いる機器の諸元について表16-2に示す。

16.3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の5.2.2項に定めるとおりである。

16.4 応力強さの評価

16.4.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表16-3に示す。

表16-3より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

16.4.2 一次膜+一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表16-4に示す。

表16-4より、各許容応力状態の一次膜+一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

16.4.3 一次+二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表16-5に示す。

表16-5より、すべての評価点において $S_n^{\#1}$ 及び $S_n^{\#2}$ は、 $3 \cdot S_m$ 以下であり、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

16.5 繰返し荷重の評価

16.5.1 疲労解析

ノズルセーフエンド及びノズルの応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

各応力評価点における疲労累積係数を表16-6に示す。

表16-6より、各応力評価点において疲労累積係数は1.0以下であり、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容値を満足する。

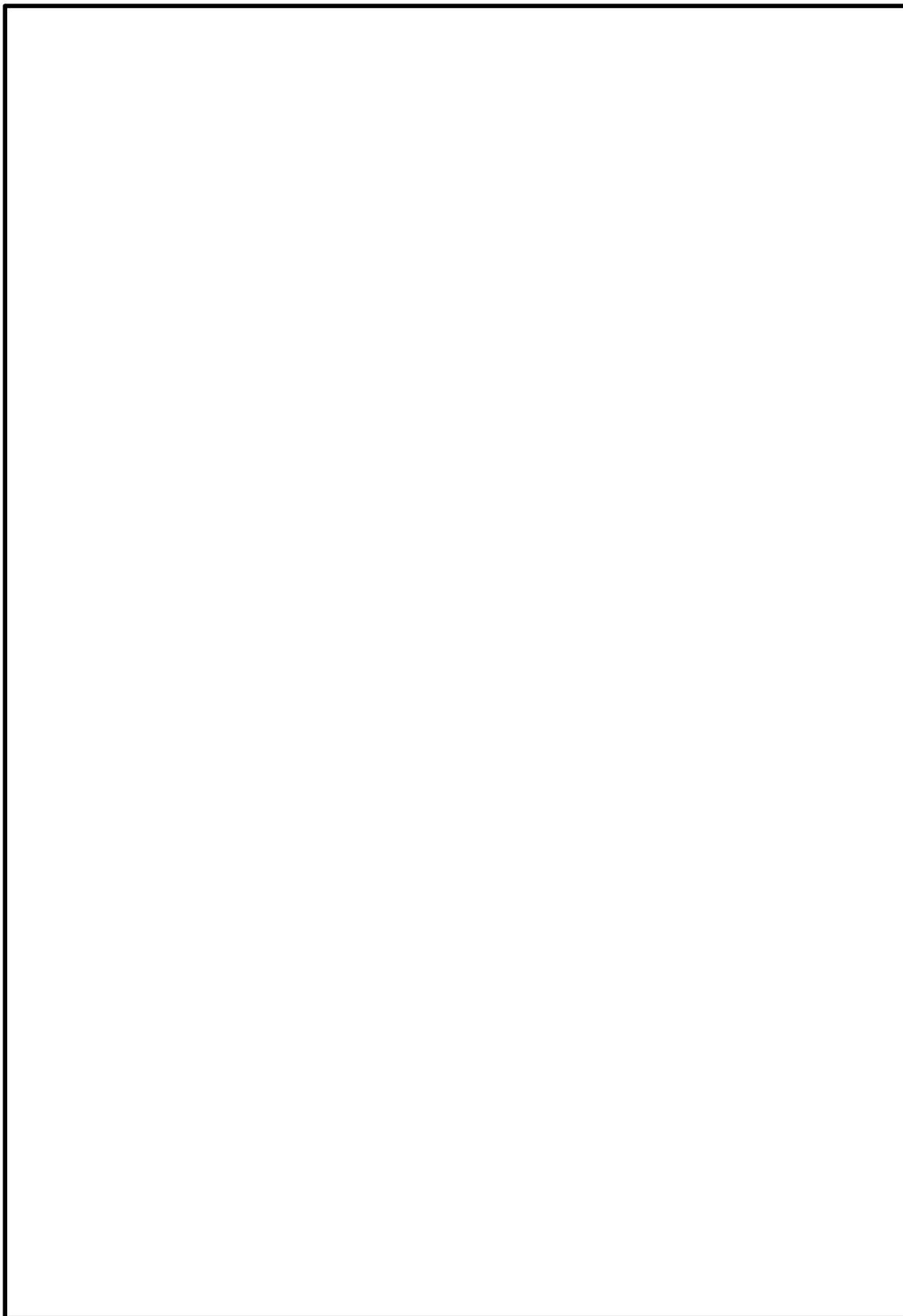


図 16-2(1) 応力計算のモデル

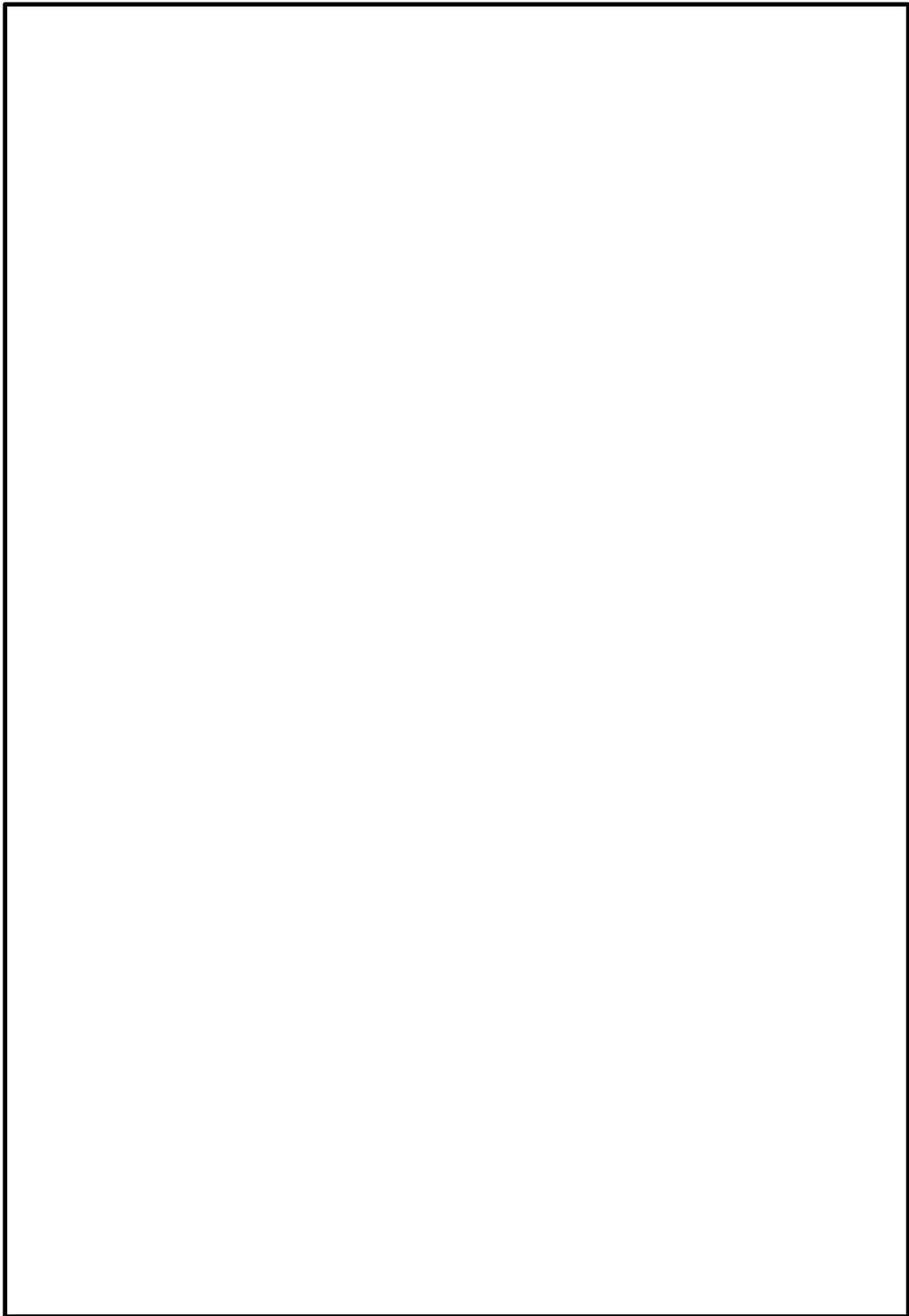


図 16-2(2) 応力計算のモデル

表 16-2 機器諸元

項目		記号	単位	入力値
材質		—	—	SQV2A
		—	—	SUSF316
		—	—	NCF600-B
温度条件		T	℃	
縦弾性係数	SQV2A	E	MPa	
	SUSF316	E	MPa	
	NCF600-B	E	MPa	
ポアソン比		ν	—	
要素数		—	—	
節点数		—	—	

表 16-3 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	47	142	48	280
P01' P02'	47	142	47	280
P03 P04	21	142	21	280
P03' P04'	21	142	21	280
P05 P06	16	196	16	334
P05' P06'	16	196	16	334

表 16-4 一次膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態ⅢA S		許容応力状態ⅣA S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	78	197	87	386
P01' P02'	77	197	86	386
P03 P04	32	212	35	417
P03' P04'	30	212	32	417
P05 P06	27	295	31	501
P05' P06'	26	295	30	501

表 16-5 一次+二次応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価点	一次+二次応力差最大範囲 ($P_L + P_b + Q$)		
	$S_n \# 1$	$S_n \# 2$	許容応力 $3 \cdot S_m$
P01	46	56	360
P01'	46	56	360
P02	94	116	360
P02'	94	116	360
P03	16	20	360
P03'	16	20	360
P04	28	36	360
P04'	28	36	360
P05	10	10	492
P05'	10	10	492
P06	32	44	492
P06'	32	44	492

表 16-6 疲労累積係数の評価のまとめ

応力評価点	疲労累積係数				許容値
	U_n	U_{S_d}	U_{S_s}	U_f^*	
P01	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P01'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P02	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P02'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P03	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P03'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P04	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P04'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P05	0.002	0.000	0.000	0.002	1.0
P05'	0.002	0.000	0.000	0.002	1.0
P06	0.010	0.000	0.000	0.010	1.0
P06'	0.009	0.000	0.000	0.009	1.0

注記* : 疲労累積係数 U_f は、運転状態Ⅰ及びⅡに地震荷重 S_{d^*} 又は地震荷重 S_s のいずれか大きい方を加えた値である。

17. ドレンノズル (N15) の応力計算

17.1 一般事項

本章は、ドレンノズル (N15) の応力計算について示すものである。

ドレンノズル (N15) は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

17.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所の形状・寸法・材料を図17-1に示す。

17.1.2 解析範囲

解析範囲を図17-1に示す。

17.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表17-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、各部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、疲労累積係数が厳しくなる評価点を記載する。

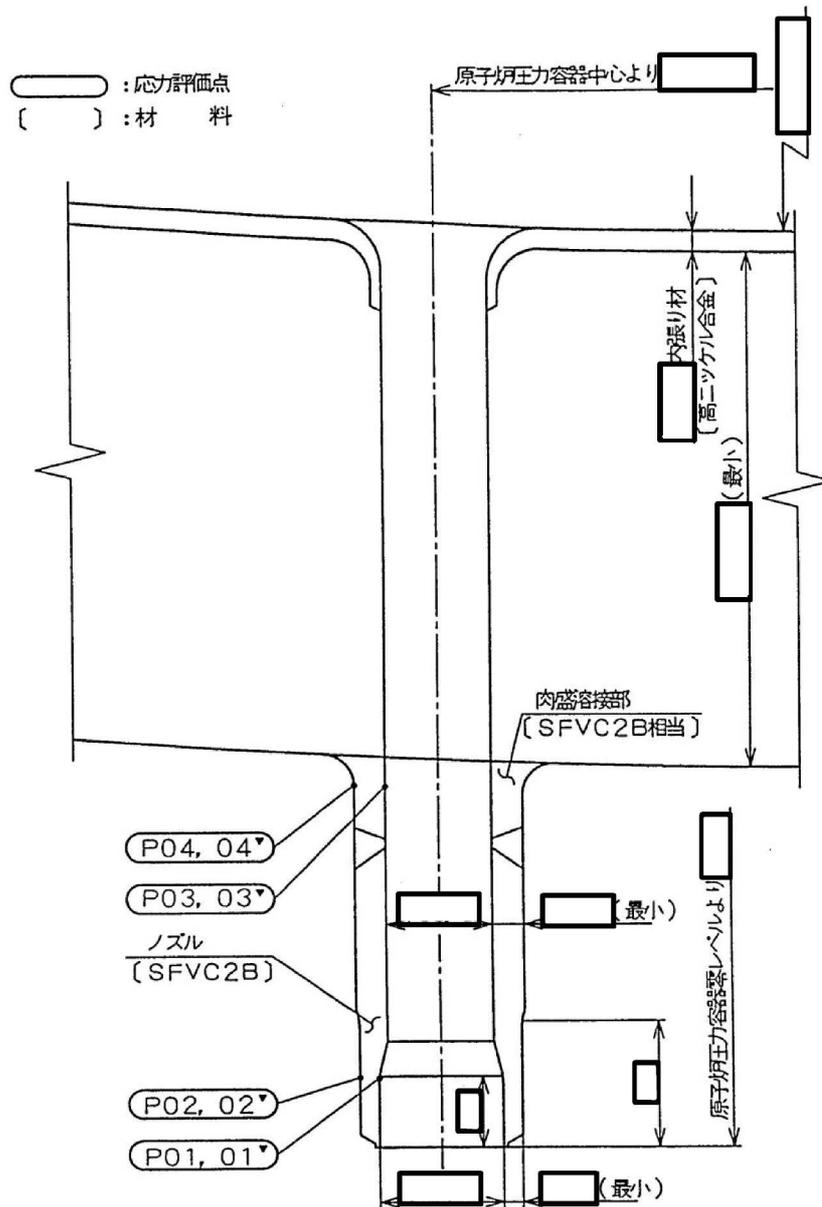


図17-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 17-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次膜+一次曲げ応力強さ (MPa)			一次+二次応力強さ (MPa)			疲労解析		
		応力 強さ	許容 応力	応力評価面	応力 強さ	許容 応力	応力評価面	応力 強さ	許容 応力	応力 評価点	疲労* 累積係数	許容値	応力 評価点
ノズル SFVC2B	Ⅲ _A S	74	188	P01 - P02	121	257	P01' - P02'	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	120	292	P01' - P02'	198	400	P01' - P02'	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	—	—	—	—	172	383	P02	0.012	1.0	P01
	Ⅳ _A S	—	—	—	—	—	—	344	383	P02			
肉盛溶接部 SFVC2B 相当	Ⅲ _A S	39	188	P03 - P04	187	274	P03' - P04'	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	70	292	P03' - P04'	234	426	P03' - P04'	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	—	—	—	—	136	383	P04	0.019	1.0	P04
	Ⅳ _A S	—	—	—	—	—	—	272	383	P04			

注記* : 疲労累積係数は、運転状態Ⅰ及びⅡに地震荷重 S_d^* 又は地震荷重 S_s のいずれか大きい方を加えた値である。

17.2 計算条件

17.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1節に示す。

17.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2節に示す。

17.2.3 材料

各部の材料を図17-1に示す。

17.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」の3.4節に示す。

17.2.5 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の4.3節に示す。

17.2.6 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5節に示す。

17.3 応力計算

17.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図17-1に示す。

なお、応力集中を生じる箇所 of 応力集中係数は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)q. に定めるとおりである。

17.3.2 内圧による応力

(1) 荷重条件 (L01)

各運転状態による内圧は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)q. に定めるとおりである。

(2) 計算方法

内圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)q. に定めるとおりである。

17.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L07, L14, L15, L16及びL17)

外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(5)に示す。

(2) 計算方法

外荷重による形状不連続の効果を含まない応力の計算は、「応力解析の方針」の5.1節に示す解析コード「PIPE」により行う。

外荷重による形状不連続の効果を含まない応力の計算は、二次元軸対称の有限要素でモデル化し、「応力解析の方針」の5.1節に示す解析コード「STAX」及び「ASHSD」により行う。

解析においては、胴板との取り合い部で溶接されるため、胴板の一部を含めてモデル化している。拘束条件は、胴板の端部を拘束している。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件を図17-2に示す。また、地震による評価に用いる機器の諸元について表17-2に示す。

17.3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の5.2.2項に定めるとおりである。

17.4 応力強さの評価

17.4.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表17-3に示す。

表17-3より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

17.4.2 一次膜+一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表17-4に示す。

表17-4より、各許容応力状態の一次膜+一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

17.4.3 一次+二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表17-5に示す。

表17-5より、すべての評価点において $S_n^{\#1}$ 及び $S_n^{\#2}$ は、 $3 \cdot S_m$ 以下であり、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

17.5 繰返し荷重の評価

17.5.1 疲労解析

ノズル及び肉盛溶接部の応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

各応力評価点における疲労累積係数を表17-6に示す。

表17-6より、各応力評価点において疲労累積係数は1.0以下であり、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容値を満足する。

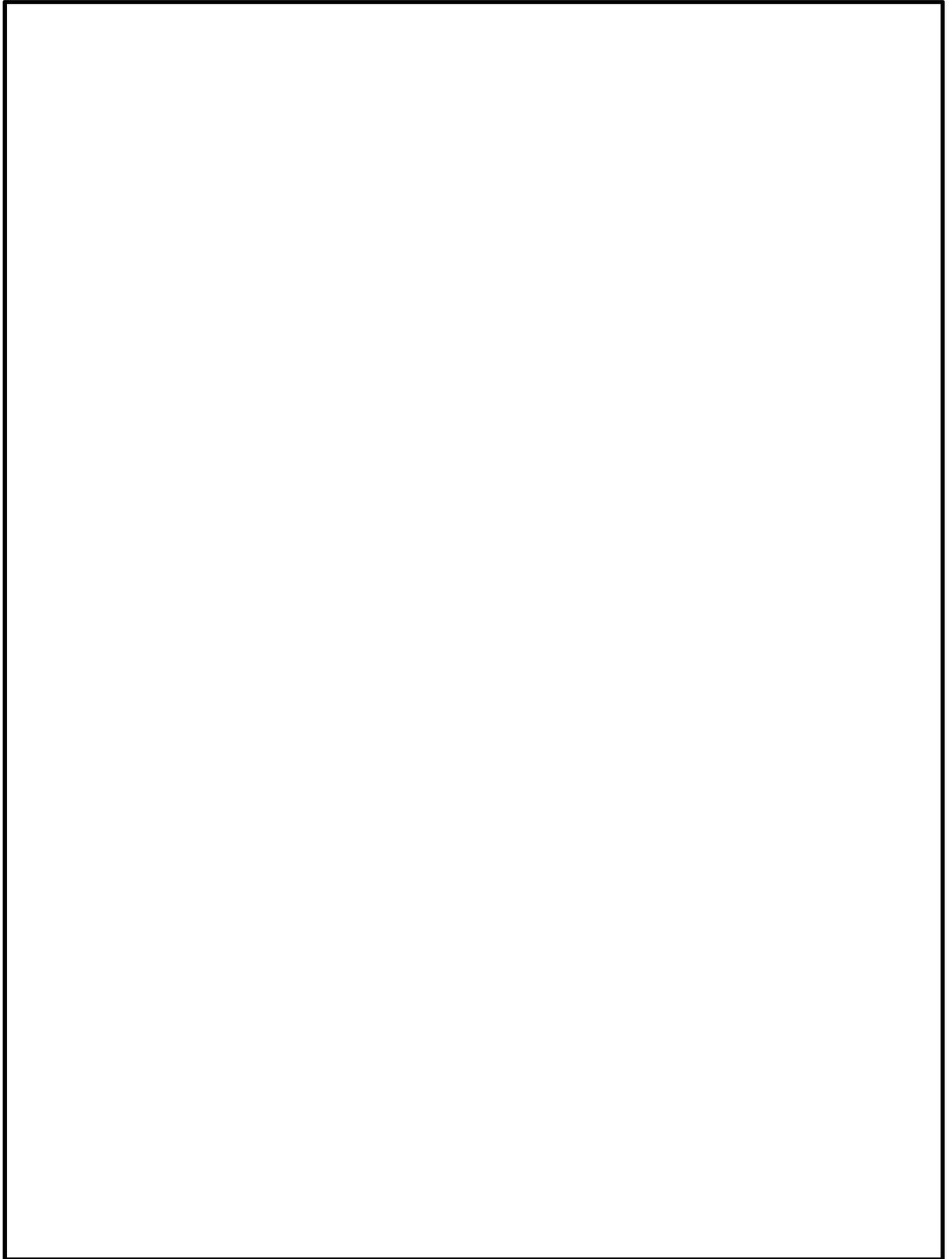


図 17-2 応力計算のモデル

表 17-2 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SFVC2B
温度条件	T	°C	
縦弾性係数	SFVC2B	E	MPa
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	—	
節点数	—	—	

表 17-3 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	74	188	119	292
P01' P02'	73	188	120	292
P03 P04	39	188	69	292
P03' P04'	39	188	70	292

表 17-4 一次膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	120	257	187	400
P01' P02'	121	257	198	400
P03 P04	108	274	116	426
P03' P04'	187	274	234	426

表 17-5 一次+二次応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価点	一次+二次応力差最大範囲 ($P_L + P_b + Q$)		
	$S_n \# 1$	$S_n \# 2$	許容応力 $3 \cdot S_m$
P01	164	322	383
P01'	164	322	383
P02	172	344	383
P02'	172	344	383
P03	60	116	383
P03'	60	116	383
P04	136	272	383
P04'	136	272	383

表 17-6 疲労累積係数の評価のまとめ

応力評価点	疲労累積係数				許容値
	U_n	U_{S_d}	U_{S_s}	U_f^*	
P01	0.003	0.001	0.009	0.012	1.0
P01'	0.003	0.001	0.009	0.012	1.0
P02	0.003	0.001	0.008	0.011	1.0
P02'	0.003	0.001	0.008	0.011	1.0
P03	0.003	0.000	0.000	0.003	1.0
P03'	0.005	0.000	0.000	0.005	1.0
P04	0.008	0.001	0.011	0.019	1.0
P04'	0.000	0.001	0.011	0.011	1.0

注記* : 疲労累積係数 U_f は、運転状態Ⅰ及びⅡに地震荷重 S_d^* 又は地震荷重 S_s のいずれか大きい方を加えた値である。

18. 高圧炉心注水ノズル (N16) の応力計算

18.1 一般事項

本章は、高圧炉心注水ノズル (N16) の応力計算について示すものである。

高圧炉心注水ノズル (N16) は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

18.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所の形状・寸法・材料を図18-1に示す。

18.1.2 解析範囲

解析範囲を図18-1に示す。

18.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表18-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、各部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、疲労累積係数が厳しくなる評価点を記載する。

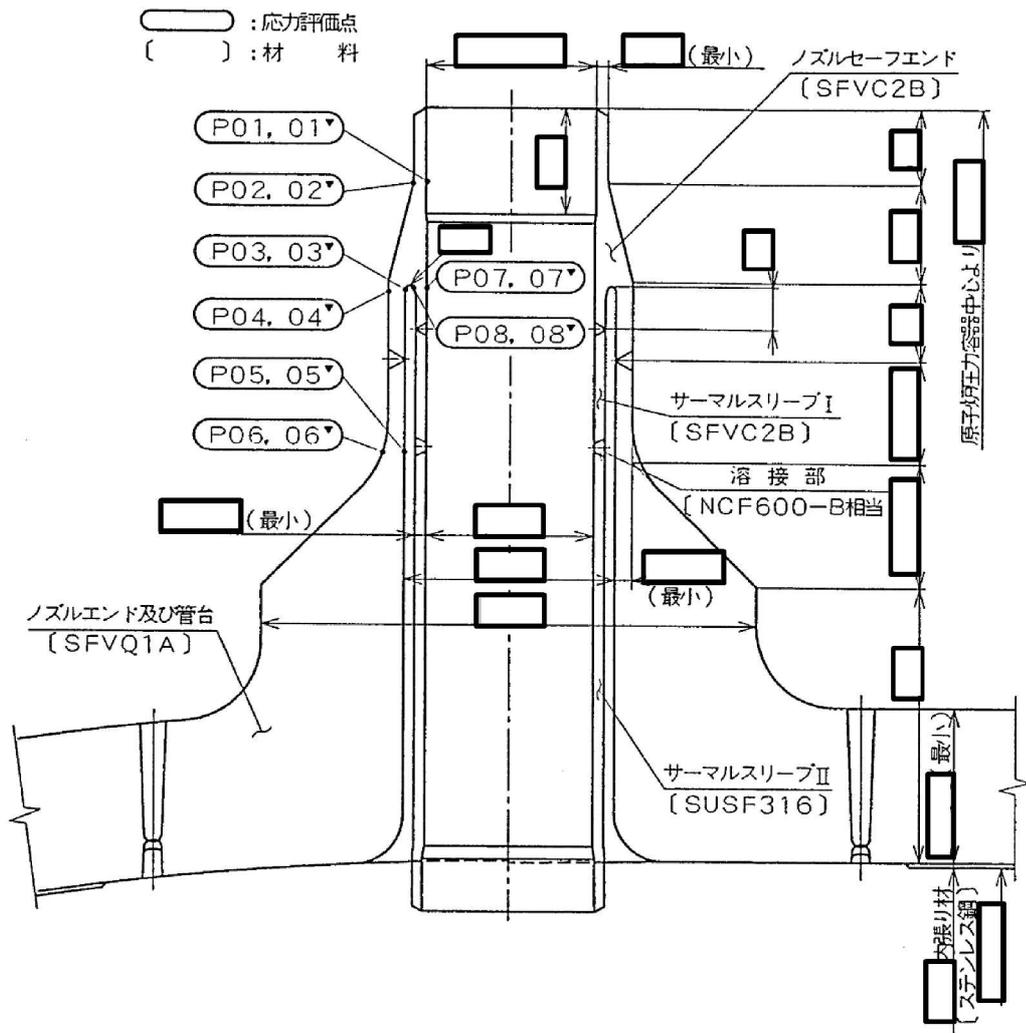


図18-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 18-1 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次膜+一次曲げ応力強さ (MPa)			一次+二次応力強さ (MPa)			疲労解析		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価点	疲労*1 累積係数	許容値	応力 評価点
ノズル セーフエンド SFVC2B	Ⅲ _A S	81	188	P01 - P02	159	252	P01 - P02	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	92	292	P01 - P02	277	391	P01' - P02'	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	—	—	—	—	240	383	P02	0.237	1.0	P03
	Ⅳ _A S	—	—	—	—	—	—	538*2	383	P02			
ノズルエンド SFVQ1A	Ⅲ _A S	73	303	P05 - P06	116	406	P05 - P06	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	78	320	P05 - P06	188	429	P05 - P06	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	—	—	—	—	164	552	P06	0.021	1.0	P06
	Ⅳ _A S	—	—	—	—	—	—	360	552	P06			
ノズル セーフエンド (サーマル スリーブ付根部) SFVC2B	Ⅲ _A S	7	188	P07 - P08	41	248	P07 - P08	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ _A S	9	292	P07 - P08	59	385	P07 - P08	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ _A S	—	—	—	—	—	—	118	383	P08	0.024	1.0	P07
	Ⅳ _A S	—	—	—	—	—	—	228	383	P08			

注：管台（穴の周辺部）については設計・建設規格 PVB-3510(1)により、応力評価は不要である。

注記*1：疲労累積係数は、運転状態Ⅰ及びⅡに地震荷重 S_d^* 又は地震荷重 S_s のいずれか大きい方を加えた値である。

*2：許容値 $3 \cdot S_m$ を超えるため、設計・建設規格 PVB-3300の簡易弾塑性解析を行う。

18.2 計算条件

18.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1節に示す。

18.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2節に示す。

18.2.3 材料

各部の材料を図18-1に示す。

18.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」の3.4節に示す。

18.2.5 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の4.3節に示す。

18.2.6 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5節に示す。

18.3 応力計算

18.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図18-1に示す。

なお、応力集中を生じる箇所での応力集中係数は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)r.に定めるとおりである。

18.3.2 内圧及び差圧による応力

(1) 荷重条件 (L01及びL02)

各運転状態による内圧及び差圧は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)r.に定めるとおりである。

(2) 計算方法

内圧及び差圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)r.に定めるとおりである。

18.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L07, L14, L15, L16及びL17)

外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(5)及び表4-1(6)に示す。

(2) 計算方法

外荷重による形状不連続の効果を含まない応力の計算は、「応力解析の方針」の5.1節に示す解析コード「PIPE」により行う。

外荷重による形状不連続の効果を含まない応力の計算は、二次元軸対称の有限要素でモデル化し、「応力解析の方針」の5.1節に示す解析コード「STAX」及び「ASHSD」により行う。

解析においては、胴板及び炉内配管との取り合い部で溶接されるため、胴板及び炉内配管の一部を含めてモデル化している。拘束条件は、胴板の端部を拘束している。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件を図18-2に示す。また、地震による評価に用いる機器の諸元について表18-2に示す。

18.3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の5.2.2項に定めるとおりである。

18.4 応力強さの評価

18.4.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表18-3に示す。

表18-3より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

18.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表18-4に示す。

表18-4より、各許容応力状態の一次膜＋一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

18.4.3 一次＋二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表18-5に示す。

表18-5より、以下の評価点を除くすべての評価点において $S_n^{\#1}$ 及び $S_n^{\#2}$ は、 $3 \cdot S_m$ 以下であり、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

P02, P02', P03及びP03'

一次＋二次応力強さの最大範囲が $3 \cdot S_m$ を超える応力評価点（P02, P02', P03及びP03'）にあつては、「応力解析の方針」の5.3節に示す簡易弾塑性解析の方法を適用する。

18.5 繰返し荷重の評価

18.5.1 疲労解析

ノズルセーフエンド、ノズルエンド及びノズルセーフエンド（サーマルスリーブ付根部）の応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

$S_n^{\#1}$ 又は $S_n^{\#2}$ が $3 \cdot S_m$ を超える応力評価点のうち最も厳しい応力評価点（P03）における疲労累積係数の計算結果を表18-6に示す。また、各応力評価点における疲労累積係数を表18-7に示す。

表18-7より、各応力評価点において疲労累積係数は1.0以下であり、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容値を満足する。

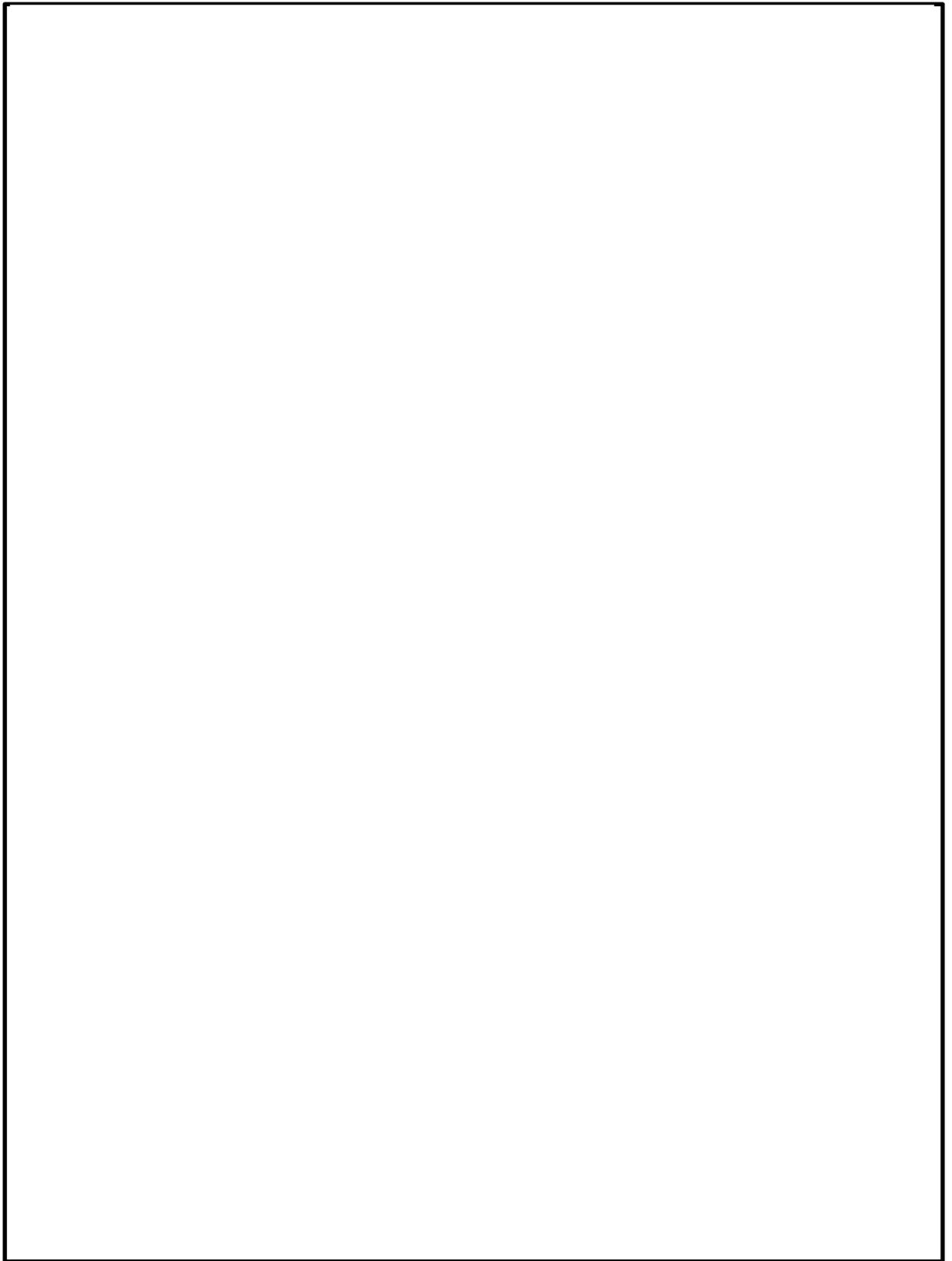


図 18-2(1) 応力計算のモデル

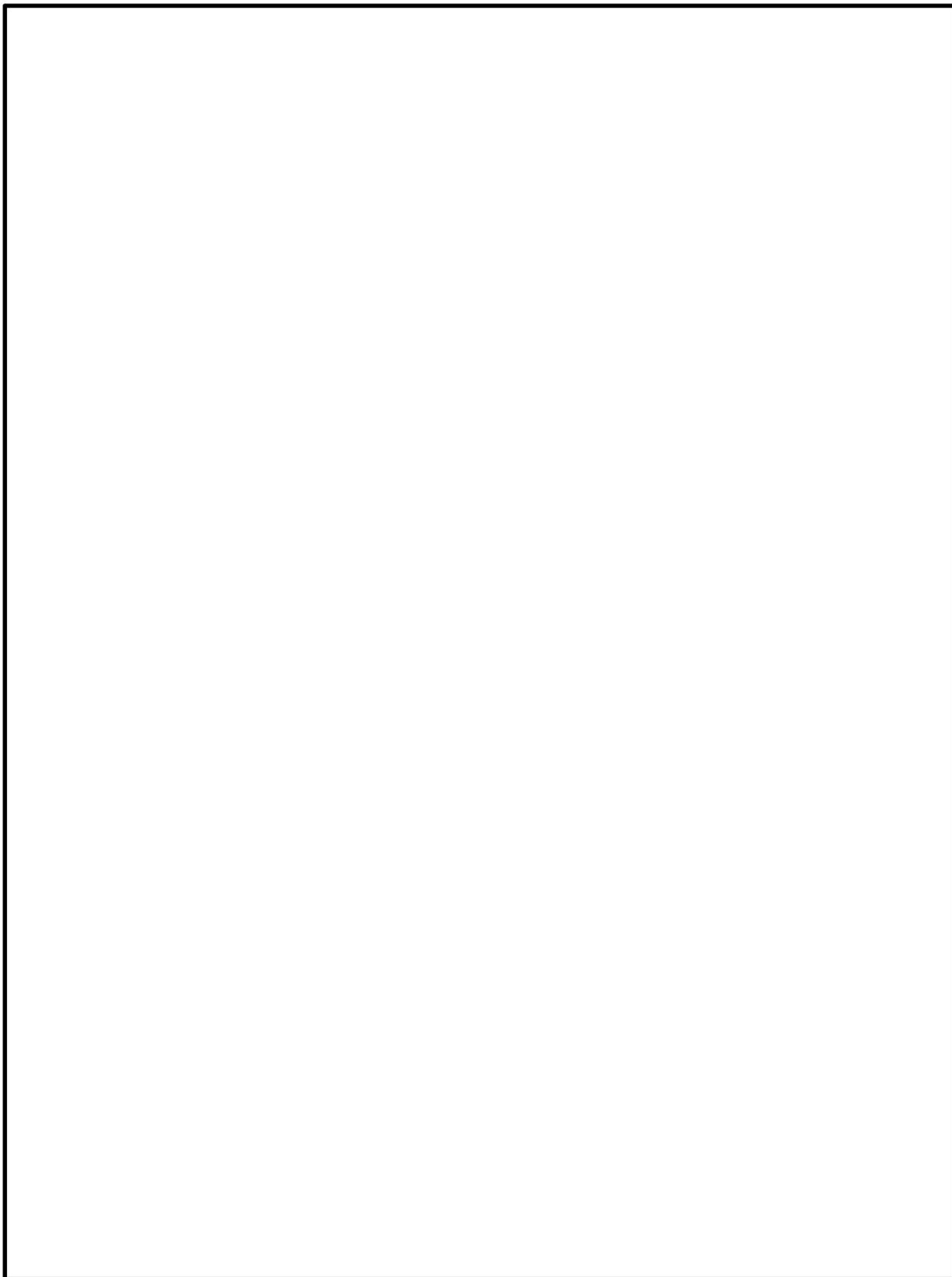


図 18-2(2) 応力計算のモデル

表 18-2 機器諸元

項目		記号	単位	入力値
材質		—	—	SFVQ1A
		—	—	SFVC2B
		—	—	SUSF316
		—	—	NCF600-B
温度条件		T	℃	
縦弾性係数	SFVQ1A	E	MPa	
	SFVC2B	E	MPa	
	SUSF316	E	MPa	
	NCF600-B	E	MPa	
ポアソン比		ν	—	
要素数		—	—	
節点数		—	—	

表 18-3 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	81	188	92	292
P01' P02'	81	188	90	292
P03 P04	73	188	78	292
P03' P04'	73	188	77	292
P05 P06	73	303	78	320
P05' P06'	73	303	77	320
P07 P08	7	188	9	292
P07' P08'	6	188	8	292

表 18-4 一次膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	159	252	276	391
P01' P02'	158	252	277	391
P03 P04	111	252	177	391
P03' P04'	112	252	178	391
P05 P06	116	406	188	429
P05' P06'	116	406	188	429
P07 P08	41	248	59	385
P07' P08'	40	248	58	385

表 18-5 一次+二次応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価点	一次+二次応力差最大範囲 ($P_L + P_b + Q$)		
	$S_n^{\#1}$	$S_n^{\#2}$	許容応力 $3 \cdot S_m$
P01	154	340	383
P01'	154	340	383
P02	240	538*	383
P02'	240	538*	383
P03	200	436*	383
P03'	200	436*	383
P04	102	224	383
P04'	102	224	383
P05	84	186	552
P05'	84	186	552
P06	164	360	552
P06'	164	360	552
P07	28	48	383
P07'	28	48	383
P08	118	228	383
P08'	118	228	383

注記* : 簡易弾塑性解析を行う。

表 18-6 疲労累積係数

応力評価点 — P03

材 料 — SFVC2B

No.	S_n (MPa)	K_e	S_p (MPa)	S_ℓ^{*1} (MPa)	$S_\ell'^{*2}$ (MPa)	N_a	N_c	N_c / N_a
1	436	1.379	772	532	592	902	200	0.222
疲労累積係数 $U_{S_s} =$								0.222
疲労累積係数 $U_n =$								0.015
疲労累積係数 $U_f = U_n + U_{S_s} =$								0.237

注：疲労累積係数の求め方は、「応力解析の方針」の5.3.1項（疲労解析）に示す。

注記*1：設計・建設規格 PVB-3315(1)又は(2)により求めた値である。

*2： S_ℓ に (E_0 / E) を乗じた値である。

$$E_0 = \boxed{} \text{ MPa}, \quad E = \boxed{} \text{ MPa}$$

表 18-7 疲労累積係数の評価のまとめ

応力評価点	疲労累積係数				許容値
	U_n	U_{S_d}	U_{S_s}	U_f^*	
P01	0.000	0.001	0.008	0.008	1.0
P01'	0.000	0.001	0.008	0.008	1.0
P02	0.007	0.005	0.211	0.218	1.0
P02'	0.002	0.005	0.211	0.213	1.0
P03	0.015	0.008	0.222	0.237	1.0
P03'	0.007	0.008	0.222	0.229	1.0
P04	0.001	0.000	0.002	0.003	1.0
P04'	0.001	0.000	0.002	0.003	1.0
P05	0.000	0.000	0.001	0.001	1.0
P05'	0.000	0.000	0.001	0.001	1.0
P06	0.002	0.002	0.019	0.021	1.0
P06'	0.000	0.002	0.019	0.019	1.0
P07	0.024	0.000	0.000	0.024	1.0
P07'	0.024	0.000	0.000	0.024	1.0
P08	0.003	0.001	0.007	0.010	1.0
P08'	0.000	0.001	0.007	0.007	1.0

注記* : 疲労累積係数 U_f は、運転状態 I 及び II に地震荷重 S_d^* 又は地震荷重 S_s のいずれか大きい方を加えた値である。

VI-2-3-3-2 原子炉压力容器附属構造物の耐震性についての計算書

VI-2-3-3-2-1 原子炉压力容器付属構造物の耐震計算結果

目 次

1. 概要	1
2. 耐震評価条件整理	1
3. 技術基準規則第 5 条の要求事項の変更に伴う評価対象設備の耐震計算	3
3.1 耐震計算の概要	3

1. 概要

本資料は、原子炉本体のうち原子炉圧力容器付属構造物の耐震計算の手法及び条件の整理について説明するものである。

2. 耐震評価条件整理

原子炉本体のうち原子炉圧力容器付属構造物に対して、設計基準対象施設の耐震クラス、重大事故等対処設備の設備分類を整理した。既設の設計基準対象施設については、耐震評価における手法及び条件について、既に認可を受けた実績との差異の有無を整理した。また、重大事故等対処設備のうち、設計基準対象施設であるものについては、重大事故等対処設備の評価条件と設計基準対象施設の評価条件の差異の有無を整理した。結果を表1に示す。

原子炉本体のうち原子炉圧力容器付属構造物の耐震計算は表1に示す計算書に記載することとする。

表1 耐震評価条件整理一覧表 (1/1)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉本体	原子炉圧力容器	原子炉圧力容器 付属構造物	原子炉圧力容器 スタビライザ	S	無	VI-2-3-3-2-2	—	—	—
			制御棒駆動機構 ハウジング	S	無	VI-2-3-3-1-3	—	—	—
			中性子束計測 ハウジング	S	—	—*1	—	—	—
			制御棒駆動機構ハウ ジングレストレント ビーム	S	無	VI-2-3-3-2-3	—	—	—
			原子炉冷却材再循環 ポンプモータケーシ ング	S	無	VI-2-3-3-2-1	—	—	—
			主蒸気流量制限器	S	無	VI-2-3-3-1-3			

注記*1：結果が厳しくなる制御棒駆動機構ハウジングを代表として評価するため、評価対象機器としない。

3. 技術基準規則第5条の要求事項の変更に伴う評価対象設備の耐震計算

3.1 耐震計算の概要

本章は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、原子炉圧力容器付属構造物のうち、技術基準規則第5条の要求事項の変更に伴う評価対象設備である原子炉冷却材再循環ポンプモーターケーシングが設計用地震力に対して十分な構造強度評価を有していることを説明するものである。原子炉冷却材再循環ポンプモーターケーシングの計算結果を次ページ以降に示す。

VI-2-3-3-2-1(1) 原子炉压力容器付属構造物の耐震計算結果

目 次 (全体目次)

1. 概要	1-1
2. 原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシングの応力計算	2-1

目 次

(原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシング)

2. 原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシングの応力計算	2-1
2.1 一般事項	2-1
2.1.1 記号の説明	2-1
2.1.2 形状・寸法・材料	2-1
2.1.3 解析範囲	2-1
2.1.4 計算結果の概要	2-1
2.2 計算条件	2-4
2.2.1 設計条件	2-4
2.2.2 運転条件	2-4
2.2.3 材料	2-4
2.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態	2-4
2.2.5 荷重の組合せ及び応力評価	2-4
2.2.6 許容応力	2-4
2.3 応力計算	2-4
2.3.1 応力評価点	2-4
2.3.2 内圧による応力	2-4
2.3.3 外荷重による応力	2-5
2.3.4 応力の評価	2-5
2.4 応力強さの評価	2-6
2.4.1 一次一般膜応力強さの評価	2-6
2.4.2 一次膜＋一次曲げ応力強さの評価	2-6
2.4.3 一次＋二次応力強さの評価	2-6
2.5 繰返し荷重の評価	2-7
2.5.1 疲労解析	2-7
2.6 特別な応力の評価	2-7
2.6.1 支圧応力に対する評価	2-7
2.6.2 座屈に対する評価	2-8

図 表 目 次

(原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシング)

図2-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2-2
図2-2	応力計算のモデル	2-10
表2-1	計算結果の概要	2-3
表2-2	機器諸元	2-12
表2-3	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	2-13
表2-4	一次膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ	2-14
表2-5	一次+二次応力強さの評価のまとめ	2-15
表2-6	疲労累積係数の評価のまとめ	2-16
表2-7	支圧応力及び座屈に対する評価に用いる荷重	2-17
表2-8	支圧応力に対する評価	2-17
表2-9	座屈に対する評価	2-17

1. 概要

本計算書は、原子炉圧力容器附属構造物の応力計算書である。

なお、本計算書の機器は、VI-2-3-3-1-1「原子炉圧力容器の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

本計算書は、原子炉圧力容器附属構造物であって、設計基準対象施設に分類される下記の機器について、構造強度評価の結果を示すものである。

- ・原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシング

注：本計算書においては、平成5年6月17日付け4資庁第14561号にて認可された工事計画の添付書類（「応力解析の方針」の参照図書(1)）を「既工認」という。

2. 原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシングの応力計算

2.1 一般事項

本章は、原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシング（以下「ケーシング」という。）の応力計算について示すものである。

ケーシングは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。

以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

2.1.1 記号の説明

記号の説明を「応力解析の方針」の2.4節に示す。

さらに、本章において、以下の記号を用いる。

記号	記号の説明	単位
A_n	応力評価面の断面積	mm^2
I_n	応力評価面の断面二次モーメント	mm^4
D_o	応力評価面の外径	mm
V_1	ストレッチチューブ支圧面に作用する鉛直力	N
R_{i1}	支圧荷重 V_1 が作用する面の内半径	mm
t_1	支圧荷重 V_1 が作用する面の幅	mm
A_1	支圧荷重 V_1 が作用する面積	mm^2
R_i	ケーシングの内半径	mm
t	ケーシングの板厚	mm
A	ケーシングの断面積	mm^2
Z	ケーシングの断面係数	mm^3
σ_{ca}	許容応力	MPa
F	ストレッチチューブからの反力	N

2.1.2 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所形状・寸法・材料を図2-1に示す。

2.1.3 解析範囲

解析範囲を図2-1に示す。

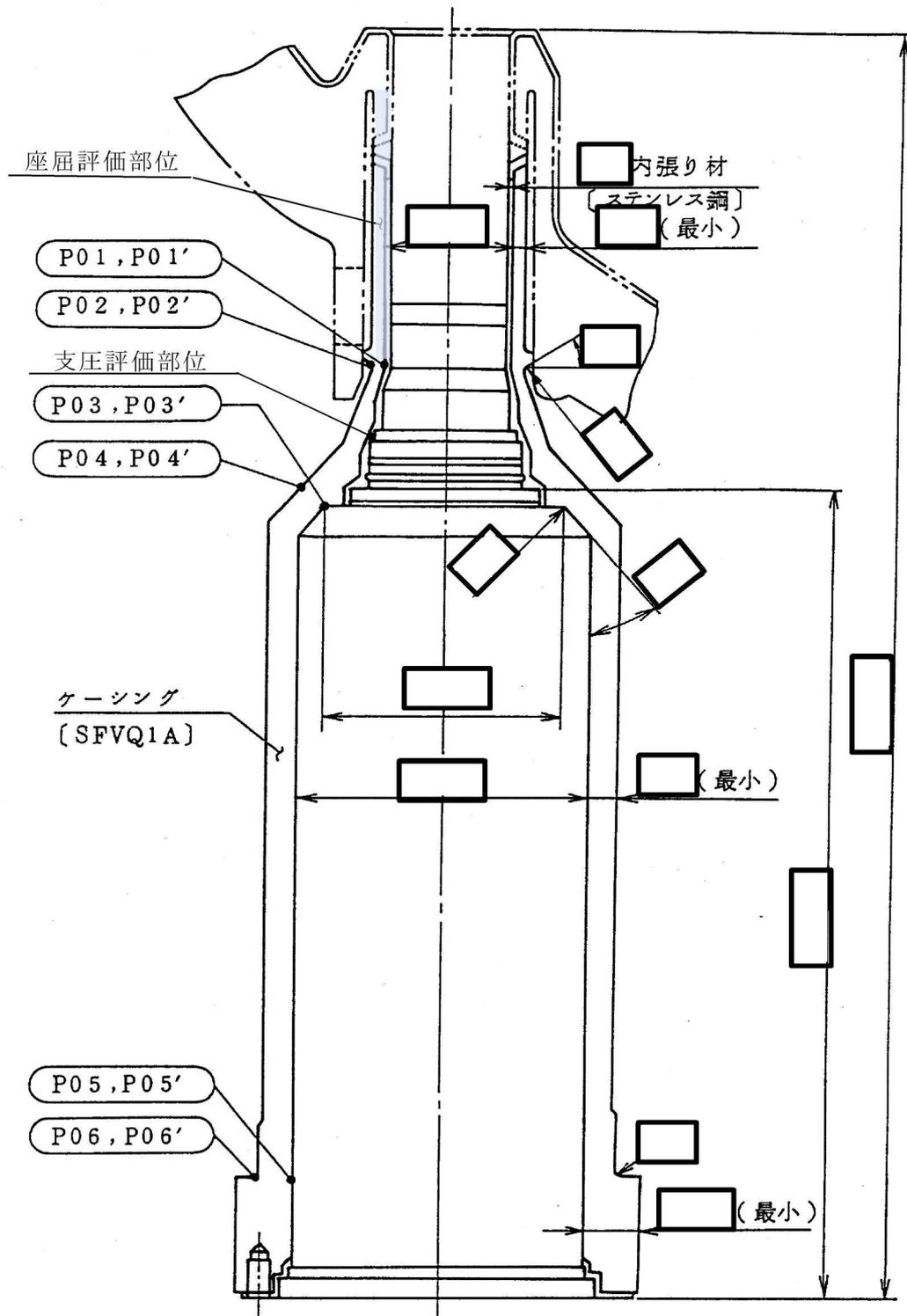
2.1.4 計算結果の概要

計算結果の概要を表2-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部に着目し、各部分ごとに数点の評価点を設けて評価を行い、疲労累積係数が厳しくなる評価点を記載する。

○ : 応力評価点

[] : 材 料



K6 ① VI-2-3-3-2-1(1) R0

図2-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 2-1(1) 計算結果の概要

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ (MPa)			一次膜＋一次曲げ応力強さ (MPa)			一次＋二次応力強さ (MPa)			疲労解析		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価点	疲労* 累積係数	許容値	応力評価点
ケーシング SFVQ1A	Ⅲ A S	54	303	P05-P06	134	418	P01-P02	—	—	—	—	—	—
	Ⅳ A S	54	320	P05-P06	194	442	P01-P02	—	—	—	—	—	—
	Ⅲ A S	—	—	—	—	—	—	247	552	P02	0.435	1.0	P03
	Ⅳ A S	—	—	—	—	—	—	413	552	P02			

注記*：疲労累積係数は、運転状態Ⅰ及びⅡに地震荷重 S_d^* 又は地震荷重 S_s のいずれか大きい方を加えた値である。

表 2-1(2) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	許容応力状態	支圧応力に対する評価		座屈に対する評価	
		支圧応力	許容応力	圧縮応力	許容応力
ケーシング SFVQ1A	Ⅲ A S	64	303	123	165
	Ⅳ A S	70	481	183	207

2.2 計算条件

2.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1節に示す。

2.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2節に示す。

2.2.3 材料

各部の材料を図2-1に示す。

2.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」の3.4節に示す。

2.2.5 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の4.3節に示す。

2.2.6 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5節に示す。

2.3 応力計算

2.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図2-1に示す。

なお、応力集中を生じる箇所の応力集中係数は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)u.に定めるとおりである。

2.3.2 内圧による応力

(1) 荷重条件 (L01)

各運転状態による内圧は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)u.に定めるとおりである。

(2) 計算方法

内圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)u.に定めるとおりである。

2.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L07, L11, L12, L14及びL16)

外荷重を「応力解析の方針」の表4-1(8)に示す。

(2) 計算方法

外荷重による応力の計算は，二次元軸対称の有限要素でモデル化し，「応力解析の方針」の5.1節に示す解析コード「STAX」及び「ASHSD2」により行う。

解析においては原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔に溶接されるため，原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔及び下部鏡板の一部を含めてモデル化している。拘束条件は，下部鏡板端部の変位を拘束した条件とする。

応力計算のモデル及び仮定した境界条件を図2-2に示す。また，地震による評価に用いる機器の諸元について表2-2に示す。

外荷重による形状不連続の効果を含まない応力は，外荷重と各応力評価断面の断面形状により次式で求める。

a. 一次一般膜応力

$$\sigma t = \frac{V}{A_n}$$

$$\tau t = \frac{H}{A_n}$$

b. 一次膜＋一次曲げ応力

$$\sigma t = \frac{V}{A_n} + \frac{M}{I_n} \cdot \frac{D_o}{2}$$

$$\tau t = \frac{H}{A_n}$$

c. 一次＋二次応力及び一次＋二次＋ピーク応力の水平力によるせん断応力

$$\tau t = \frac{H}{A_n}$$

2.3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め，応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は，「応力解析の方針」の5.2.2項に定めるとおりである。

2.4 応力強さの評価

2.4.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表2-3に示す。

表2-3より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

2.4.2 一次膜+一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表2-4に示す。

表2-4より、各許容応力状態の一次膜+一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

2.4.3 一次+二次応力強さの評価

地震荷重のみにおける評価を表2-5に示す。

表2-5より、すべての評価点において $S_n^{\#1}$ 及び $S_n^{\#2}$ は、 $3 \cdot S_m$ 以下であり、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容応力を満足する。

2.5 繰返し荷重の評価

2.5.1 疲労解析

ケーシングの応力評価点について、詳細な繰返し荷重の評価を行う。

(1) 疲労累積係数

各応力評価点における疲労累積係数を表2-6に示す。

表2-6より、各応力評価点において疲労累積係数は1.0以下であり、「応力解析の方針」の3.5節に示す許容値を満足する。

2.6 特別な応力の評価

2.6.1 支圧応力に対する評価

ケーシングに作用する支圧荷重として、ストレッチチューブ支圧面に作用する鉛直力 (V_1) がある。したがって、この支圧荷重により発生する支圧応力の評価を行う。

なお、支圧荷重は母材に直接作用するものとして計算する。

(1) 計算データ

支圧荷重 V_1 が作用する面の内半径 $R_{i1} =$ mm

支圧荷重 V_1 が作用する面の幅 $t_1 =$ mm

支圧荷重 V_1 が作用する面積

$$A_1 = \pi \cdot \{(R_{i1} + t_1)^2 - R_{i1}^2\} = \pi \times \text{$$

$$= \text{ mm}^2$$

(2) 荷重

ケーシングに作用する鉛直力を「応力解析の方針」の表4-1(8)に示す。

(3) 支圧応力

計算データ（断面性状）を基に、表2-7に示す各許容応力状態での鉛直力により生じる支圧応力を表2-8に示す。

(4) 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.5節に示す。

(5) 支圧応力に対する評価

各許容応力状態における支圧応力に対する評価を表2-8に示す。

表2-8より、各許容応力状態における支圧応力は、許容応力を満足する。

2.6.2 座屈に対する評価

ケーシングには、作用する鉛直力及びモーメントにより、圧縮応力が生じる。したがって、これらの荷重の組合せにより発生する圧縮応力の評価を行う。

(1) 計算データ

ケーシングの内半径 $R_i = \boxed{}$ mm

ケーシングの板厚 $t = \boxed{}$ mm (くされ代を除いた値)

ケーシングの断面積

$$A = \pi \cdot \{(R_i + t)^2 - R_i^2\} = \pi \times \boxed{} \boxed{} \text{ mm}^2$$

ケーシングの断面係数

$$Z = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{(R_i + t)^4 - R_i^4}{R_i + t} = \frac{\pi}{4} \times \frac{\boxed{}}{\boxed{}} \\ = \boxed{} \text{ mm}^3$$

(2) 荷重

ケーシングに作用する鉛直力及びモーメントを「応力解析の方針」の表4-1(8)に示す。

(3) 圧縮応力

計算データ（断面性状）を基に、表2-7に示す各許容応力状態の荷重によってケーシングに発生する圧縮応力を表2-9に示す。

(4) 許容応力

各許容応力状態における許容応力の計算は、設計・建設規格 PVB-3117を準用して計算する。

a. 許容応力状態ⅢAS

許容応力状態ⅢASにおける許容応力 σ_{ca} は、次のように得られる。

$$\sigma_{ca} = 1.2 \text{MIN}[S_m, B]$$

ここで、

$$S_m = 184 \text{ MPa}$$

$$B = 138 \text{ MPa}$$

$\boxed{}$ °C における値)

このうちB値は、設計・建設規格 PVB-3117より、次のようにして求める。

設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1より

$$A = \frac{0.125}{R_i / t} = \frac{0.125}{\boxed{}} = 0.0248047$$

を用いて，設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図6より

$$B = 138 \text{ MPa}$$

よって，許容応力 σ_{ca} は，

$$\sigma_{ca} = 1.2 \cdot B = 1.2 \times 138 = 165 \text{ MPa}$$

b. 許容応力状態IVAS

許容応力状態IVASにおける許容応力 σ_{ca} は，次のように得られる。

$$\sigma_{ca} = 1.5 \text{MIN}[S_m, B]$$

よって，許容応力 σ_{ca} は，

$$\sigma_{ca} = 1.5 \cdot B = 1.5 \times 138 = 207 \text{ MPa}$$

(5) 座屈に対する評価

各許容応力状態における座屈に対する評価を表2-9に示す。

表2-9より，各許容応力状態における圧縮応力は，許容応力を満足するため，座屈は発生しない。

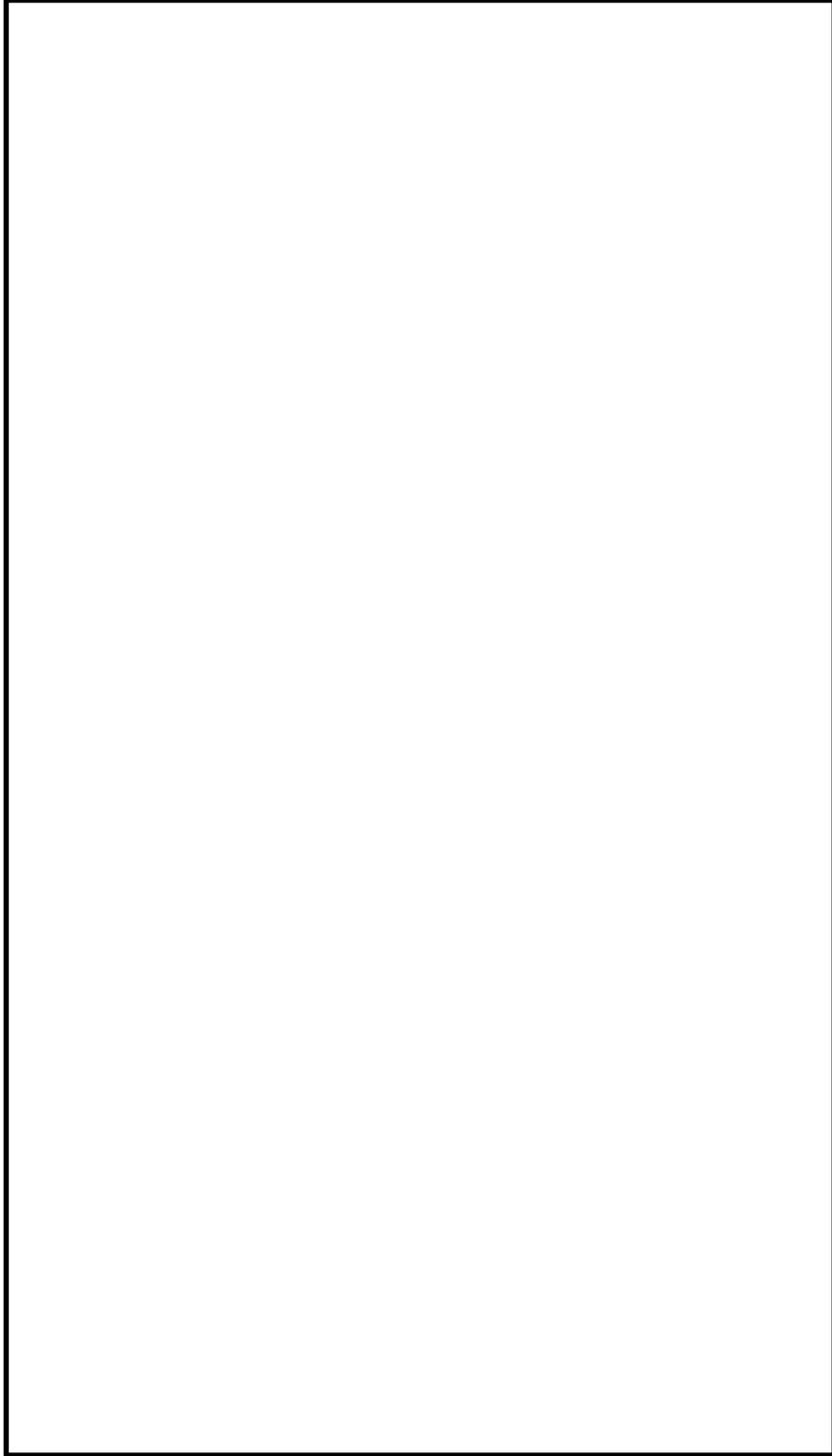


図 2-2 (1) 応力計算のモデル

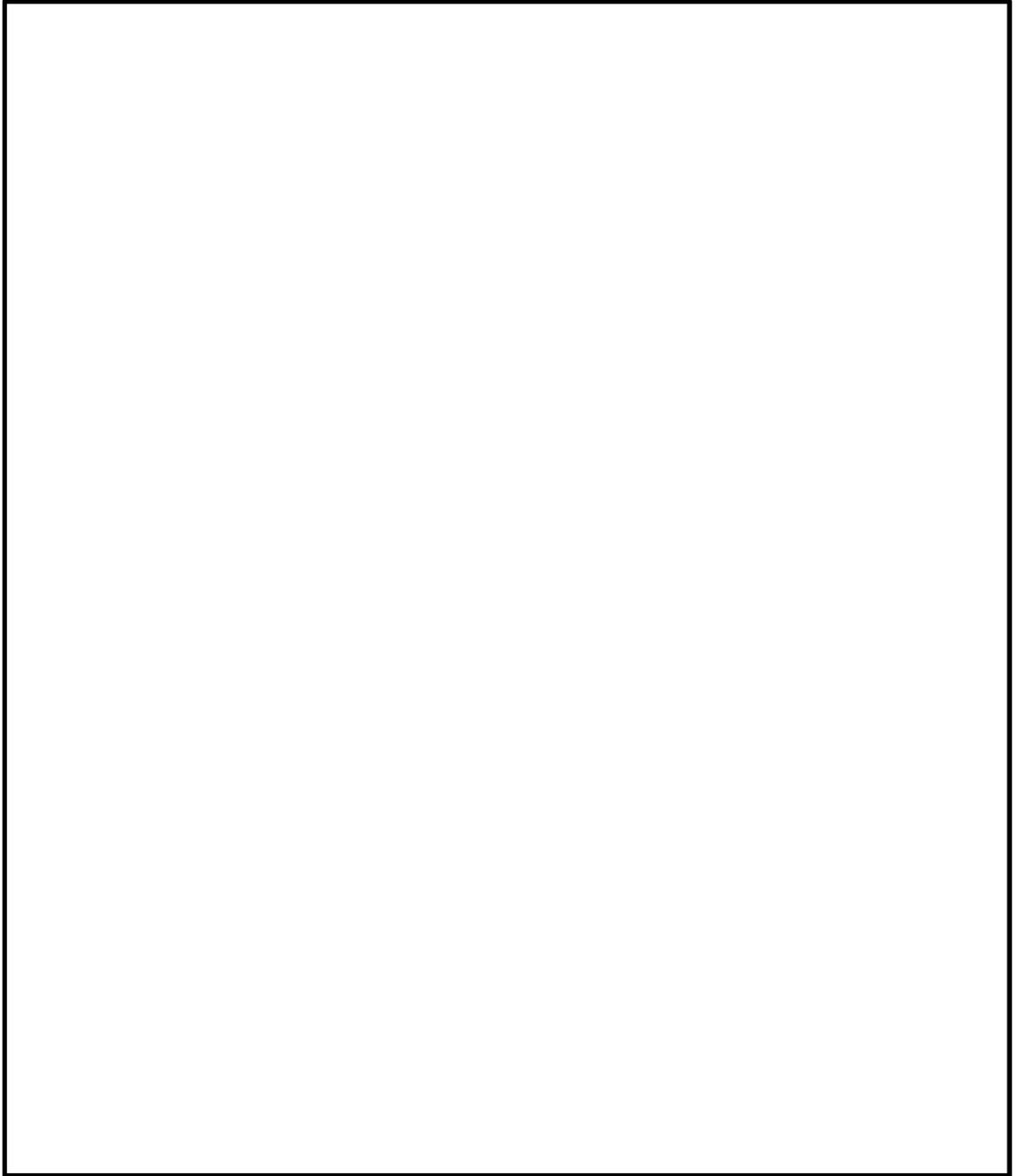


図 2-2 (2) 応力計算のモデル

表 2-2 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SFVQ1A
温度条件	T	℃	302
縦弾性係数	SFVQ1A	E	MPa
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	—	
節点数	—	—	

表2-3 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ _A S		許容応力状態Ⅳ _A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	51	303	53	320
P01' P02'	51	303	52	320
P05 P06	54	303	54	320
P05' P06'	54	303	54	320

表2-4 一次膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ _{AS}		許容応力状態Ⅳ _{AS}	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	134	418	194	442
P01' P02'	132	418	192	442
P03 P04	67	423	67	447
P03' P04'	67	423	67	447
P05 P06	71	415	71	439
P05' P06'	72	415	73	439

表2-5 一次+二次応力強さの評価のまとめ

(単位 : MPa)

応力評価点	一次+二次応力差最大範囲 ($P_L + P_b + Q$)		
	$S_{n\#1}$	$S_{n\#2}$	許容応力 $3 \cdot S_m$
P01	88	147	552
P01'	88	147	552
P02	247	413	552
P02'	247	413	552
P03	34	58	552
P03'	34	58	552
P04	24	39	552
P04'	24	39	552
P05	7	12	552
P05'	7	12	552
P06	17	29	552
P06'	17	29	552

表2-6 疲労累積係数の評価のまとめ

応力評価点	疲労累積係数				許容値
	U_n	U_{S_d}	U_{S_s}	U_f^*	
P01	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P01'	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0
P02	0.000	0.011	0.056	0.056	1.0
P02'	0.000	0.011	0.056	0.056	1.0
P03	0.435	0.000	0.000	0.435	1.0
P03'	0.435	0.000	0.000	0.435	1.0
P04	0.012	0.000	0.000	0.012	1.0
P04'	0.012	0.000	0.000	0.012	1.0
P05	0.204	0.000	0.000	0.204	1.0
P05'	0.204	0.000	0.000	0.204	1.0
P06	0.225	0.000	0.000	0.225	1.0
P06'	0.226	0.000	0.000	0.226	1.0

注記*：疲労累積係数 U_f は、運転状態Ⅰ及びⅡに地震荷重 S_d^* 又は地震荷重 S_s のいずれか大きい方を加えた値である。

表2-7 支圧応力及び座屈に対する評価に用いる荷重

許容応力状態	支圧	座屈	
	鉛直力*1 V ₁ (kN)	鉛直力*2 V (kN)	モーメント M (kN・m)
III _A S			
IV _A S			

注記*1 : V₁はストレッチチューブ支圧面に作用する鉛直力を示す。

*2 : Vはケーシングに作用する鉛直力を示す。

ストレッチチューブからの反力Fを考慮した値。

表2-8 支圧応力に対する評価

(単位 : MPa)

許容応力状態	支圧応力	許容応力
III _A S	64	303
IV _A S	70	481

表2-9 座屈に対する評価

(単位 : MPa)

許容応力状態	圧縮応力	許容応力
III _A S	123	165
IV _A S	183	207

VI-2-3-3-2-2 原子炉压力容器スタビライザの応力計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 構造計画	2
2.2 評価方針	4
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 構造強度評価	8
4.1 構造強度評価方法	8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	8
4.2.2 許容応力	8
4.2.3 許容応力評価条件	8
4.2.4 設計荷重	8
4.3 計算方法	9
4.4 応力の評価	9
5. 参照図書	10

図 表 目 次

図 2-1	スタビライザの耐震評価フロー	4
図 3-1	スタビライザの形状・寸法・材料	11
図 3-2	スタビライザの応力評価点	12
図 4-1	応力計算のモデル	13
表 2-1	構造計画	3
表 2-2	表示する数値の丸め方	6
表 4-1	荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）	14
表 4-2	許容応力（クラス 1 支持構造物）	15
表 4-3	許容応力評価条件	16
表 4-4	スタビライザに加わる荷重	17
表 4-5	機器諸元	18
表 4-6	評価結果まとめ	19

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、原子炉圧力容器スタビライザ（以下「スタビライザ」という。）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

スタビライザは設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

注：本計算書においては、平成5年6月17日付け4資庁第14561号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）を「既工認」という。

2. 一般事項

2.1 構造計画

スタビライザの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>スタビライザは、原子炉遮蔽壁に設置されたソールプレートに溶接される。</p>	<p>ブラケット、ナット、ロッド、ヨーク及び皿ばねで構成される、原子炉圧力容器が揺れた場合にこれを支持するためのものであり、原子炉圧力容器外周に8個等間隔に配置されている。</p>	<p>概略構造図</p> <p>A部拡大図</p> <p>B~B断面</p> <p>C~C断面</p>

2.2 評価方針

スタビライザの応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所に作用する設計用地震力による応力が許容限界内に収まることを、「4. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

スタビライザの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

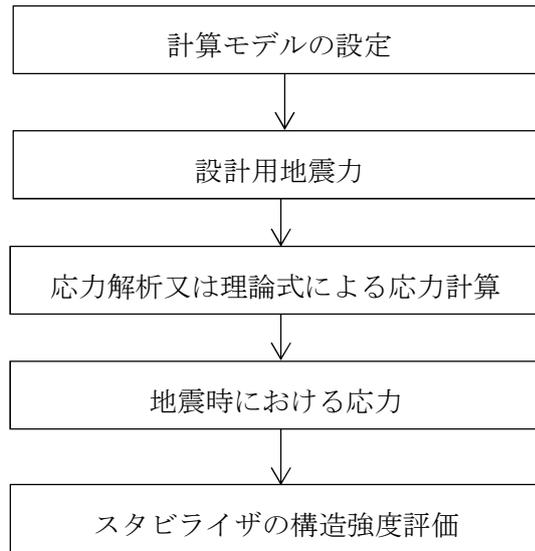


図 2-1 スタビライザの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
D	死荷重	—
d	ロッドのネジ部直径	mm
F _o	初期締付荷重	N
f _b	許容曲げ応力	MPa
f _s	許容せん断応力	MPa
f _t	許容引張応力	MPa
H ₁	スタビライザ全体に加わる S _d *地震時の水平地震荷重	N
H ₂	スタビライザ全体に加わる S _s 地震時の水平地震荷重	N
l ₁	ブラケットの幅	mm
l ₂	ブラケットの高さ	mm
M	地震及び死荷重以外で地震と組み合わせすべきプラントの運転状態（地震との組み合わせが独立な運転状態Ⅳ、Ⅴは除く）で設備に作用している機械的荷重	—
P	地震と組み合わせすべきプラントの運転状態（地震との組み合わせが独立な運転状態Ⅳ、Ⅴは除く）における圧力荷重	—
S	許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 又は表 6 に規定される値	MPa
S _d	弾性設計用地震動 S _d により定まる地震力	—
S _d *	弾性設計用地震動 S _d により定まる地震力又は S クラス設備に適用される静的地震力のいずれか大きい方の地震力	—
S _s	基準地震動 S _s により定まる地震力	—
S _u	設計引張強さ 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に規定される値	MPa
S _y	設計降伏点 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に規定される値	MPa
S _y (R T)	40°Cにおける設計降伏点 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に規定される値	MPa
t	ブラケットの厚さ	mm

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-2 に示すとおりである。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における許容応力は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図 3-1 に示す。

なお、スタビライザの応力評価点は、スタビライザを構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を図 3-2 に示す。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

- (1) スタビライザは、原子炉遮蔽壁に設置されたソールプレート上に溶接され、原子炉压力容器の水平地震荷重を原子炉压力容器スタビライザブラケット（以下「スタビライザブラケット」という。）からヨーク、ロッド、皿ばね、ブラケットの順に伝えられ、ソールプレートを介して、原子炉遮蔽壁に伝達させる構造である。スタビライザの耐震評価は、VI-2-2-4「原子炉本体の基礎の地震応答計算書」により求めた水平地震荷重、若しくはその条件を包絡する様に定めた保守的な水平地震荷重を用いて、参照図書(1)に示す既工認の手法に従い、「4.3 計算方法」に示す手法により構造強度評価を行う。
- (2) 構造強度評価に用いる寸法は、公称値を用いる。
- (3) 概略構造図を表 2-1 に示す。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

スタビライザの荷重の組合せ及び許容応力状態を表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

スタビライザの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 に示す。

4.2.3 許容応力評価条件

スタビライザの許容応力評価条件を表 4-3 に示す。

4.2.4 設計荷重

(1) 最高使用温度

最高使用温度は、既工認からの変更はなく、参照図書(1)に定めるとおりである。

(2) スタビライザに加わる荷重及び設計用地震力

スタビライザに加わる荷重を表 4-4 に示す。

スタビライザの評価に用いる設計用地震力は、水平地震荷重として、VI-2-2-4「原子炉本体の基礎の地震応答計算書」により求めた水平地震荷重、若しくはその条件を包絡する様に定めた保守的な水平地震荷重を用いる。

なお、鉛直地震を考慮してもスタビライザとスタビライザブラケットの鉛直方向の干渉は無く、また、鉛直地震時のスタビライザの質量による鉛直地震荷重は小さく無視できるため、鉛直地震荷重に対する評価は行わない。

(3) ロッド及びブラケットに加わる荷重

ロッド及びブラケットに加わる荷重条件の考え方は、既工認から変更はなく、参照図書(1)に定めるとおりである。

4.3 計算方法

(1) ロッド

ロッドの応力の計算は、既工認から変更はなく、参照図書(1)に定めるとおりである。

(2) ブラケット

ブラケットの応力の計算は、二次元線対称の有限要素でモデル化し、解析コード「MSC NASTRAN」により行う。

ブラケットは、中心にロッド貫通孔がある左右対称な構造であることから、既工認と同様に1/2モデルにより解析を行う。拘束条件は、ブラケットの溶接部を拘束している。

応力計算のモデル及び境界条件を図4-1に示す。また、地震による評価に用いる機器の諸元について表4-5に示す。

なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

4.4 応力の評価

各許容応力状態における評価を表4-6に示す。

表4-6より、各許容応力状態の各応力は、「4.2.2 許容応力」に示す許容応力を満足する。

5. 参照図書

- (1) 柏崎刈羽原子力発電所第6号機 第5回工事計画認可申請書 添付書類
IV-3-1-4-1 「原子炉圧力容器スタビライザの応力計算書」

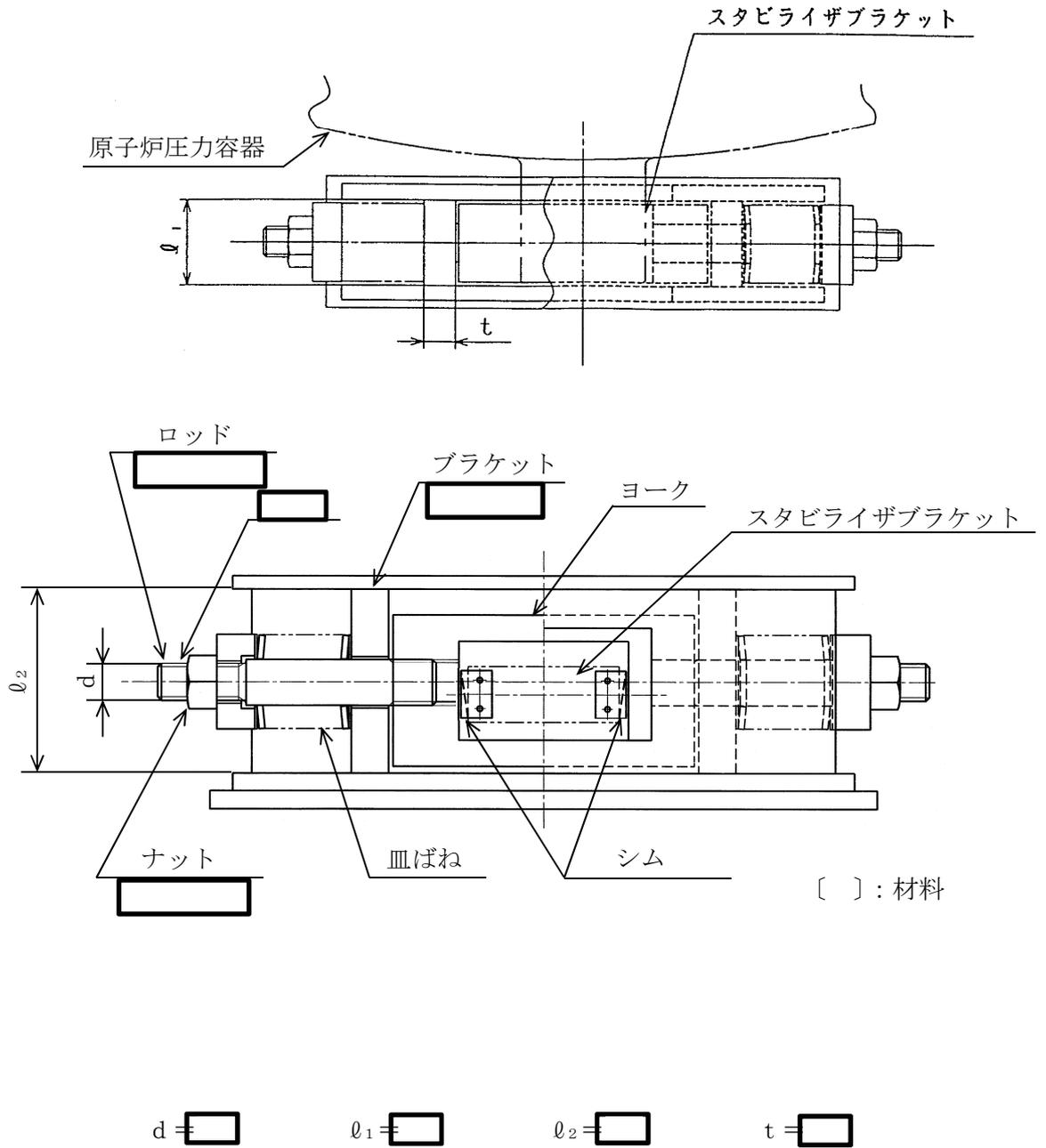


図 3-1 スタビライザの形状・寸法・材料 (単位: mm)

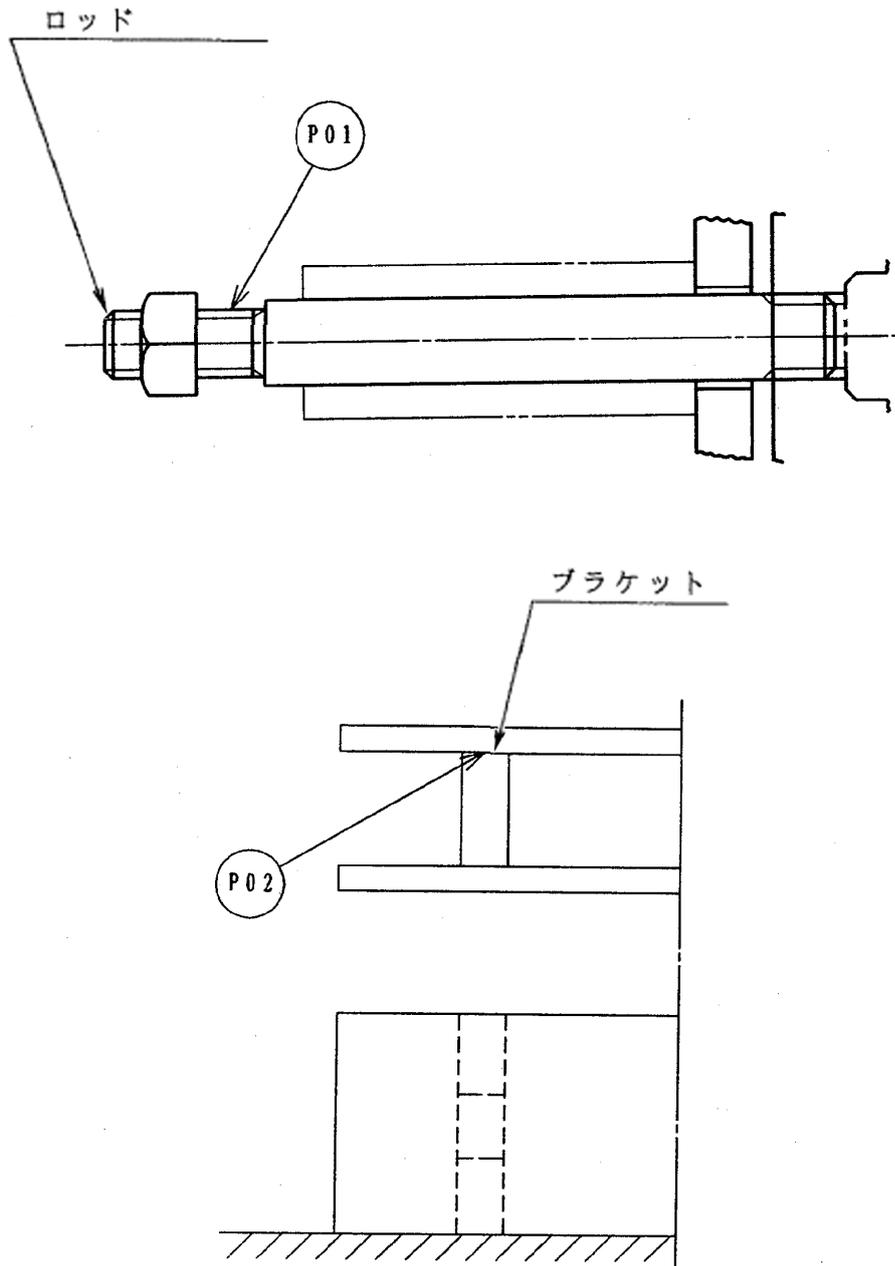


図 3-2 スタビライザの応力評価点

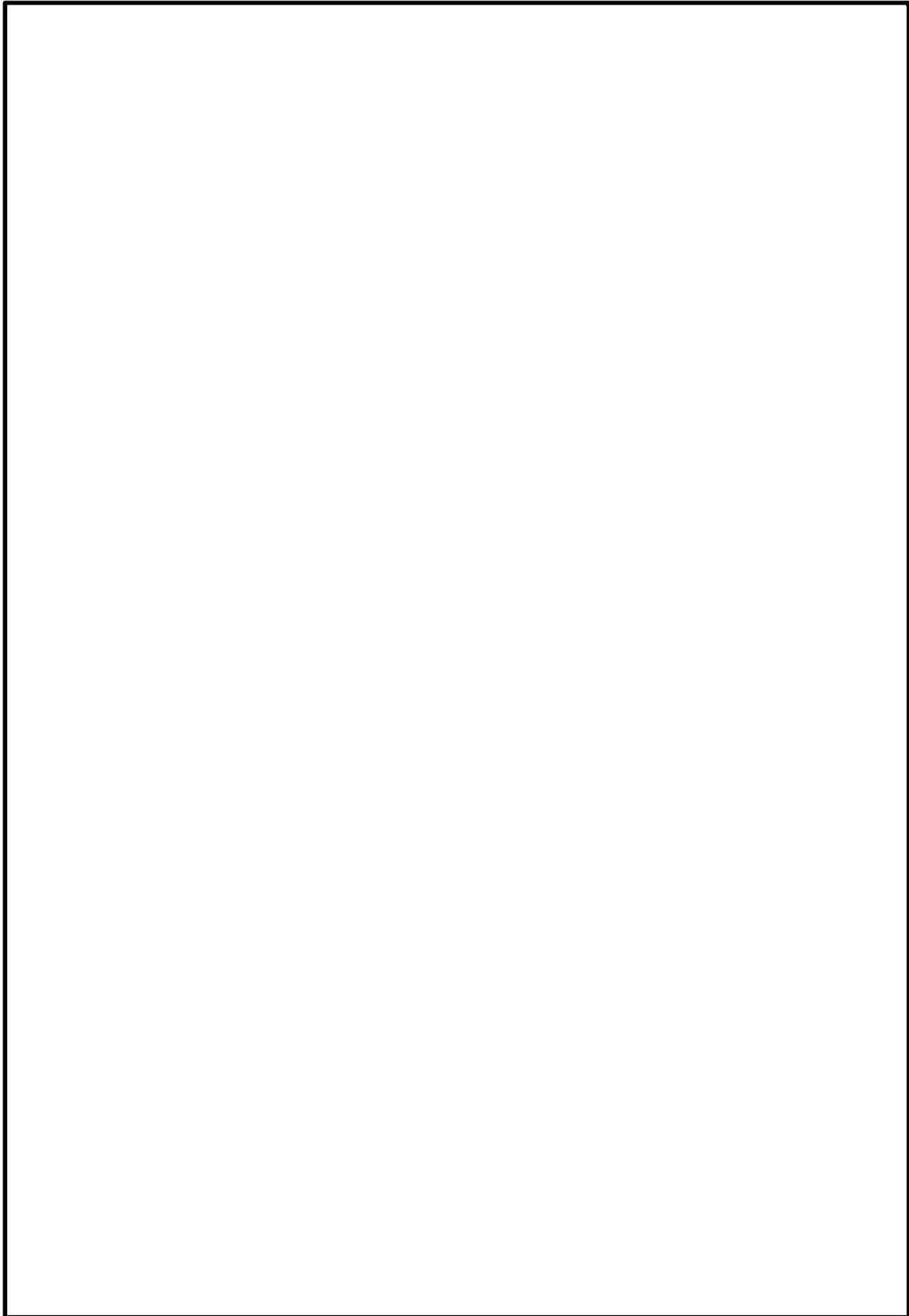


図 4-1 応力計算のモデル

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉本体	原子炉圧力容器 附属構造物	スタビライザ	S	—*	$D + P + M + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P + M + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス1支持構造物の荷重の組合せ及び許容限界を準用する。

表4-2 許容応力（クラス1支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)		許容限界*1, *2 (ボルト等)
	一次応力		一次応力
	せん断	曲げ	引張り
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_t$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_t^*$

注記*1 : 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

*2 : 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3 許容応力評価条件

評価部位	材料		温度条件 (°C)	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
ロッド	棒鋼		最高温度	—			—
ブラケット	鋼板		最高温度	—			—

表 4-4 スタビライザに加わる荷重

種別	記号	荷重(N)
初期締付荷重	F ₀	
スタビライザ全体に加わる S _d *地震時の 水平地震荷重	H ₁	
スタビライザ全体に加わる S _s 地震時の 水平地震荷重	H ₂	

表 4-5 機器諸元

項目		記号	単位	入力値
材質		—	—	SM400A
温度条件		T	°C	
縦弾性係数	SM400A	E	MPa	
ポアソン比		ν	—	
要素数		—	—	
節点数		—	—	

表 4-6 評価結果まとめ

(単位 : MPa)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		Ⅳ _A S	
				算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
スタビライザ	P01	ロッド	引張応力	236	513	238	513
	P02	ブラケット	曲げ応力	95	172	95	207
			せん断応力	27	86	28	103

VI-2-3-3-2-3 制御棒駆動機構ハウジングレストレントビームの
応力計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 構造計画	2
2.2 評価方針	4
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 地震応答解析及び構造強度評価	8
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	8
4.2.2 許容応力	8
4.2.3 許容応力評価条件	8
4.2.4 設計荷重	8
4.3 解析モデル及び諸元	8
4.4 固有周期	9
4.5 設計用地震力	9
4.6 計算方法	9
4.6.1 水平地震荷重による応力	9
4.6.2 鉛直地震荷重による応力	9
4.6.3 死荷重による応力	9
4.7 計算条件	10
4.8 応力の評価	10
5. 参照図書	11

図 表 目 次

図 2-1	CRD ハウジングレストレントビームの耐震評価フロー	4
図 3-1	CRD ハウジングレストレントビームの形状・寸法・材料	12
図 3-2	CRD ハウジングレストレントビームの応力評価点	13
図 4-1	解析モデル	17
図 4-2	振動モード図	19
表 2-1	構造計画	3
表 2-2	表示する数値の丸め方	6
表 4-1	荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）	14
表 4-2	許容応力（クラス 1 支持構造物）	15
表 4-3	許容応力評価条件	16
表 4-4	機器諸元	17
表 4-5	固有周期	18
表 4-6	設計用地震力（水平方向）	20
表 4-7	設計用地震力（鉛直方向）	20
表 4-8	評価結果まとめ	21

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、制御棒駆動機構ハウジング（以下「CRD ハウジング」という。）レストレントビームが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

CRD ハウジングレストレントビームは設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

注：本計算書においては、平成5年6月17日付け4資庁第14561号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）を「既工認」という。

2. 一般事項

2.1 構造計画

CRD ハウジングレストレントビームの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>CRDハウジングレストレイントビームは原子炉本体の基礎に支持される。 CRDハウジングレストレイントビームはサポートビームにボルト固定され、サポートビームは原子炉本体の基礎に溶接される。</p>	<p>CRDハウジングレストレイントビームはCRDハウジングを円周状に取り囲む様に設置された、H形断面を持つ構造部材（以下「H鋼」という。）とそれをつなぎ合わせるプレートにより構成される鋼製の支持構造物である。</p>	<p style="text-align: center;">概略構造図</p> <p>The diagrams illustrate the construction of the CRD housing restraint beam. The side view shows the beam supporting the CRD housing. The circular cross-section shows the beam's connection to support beams and the reactor core base. The A-A cross-section shows the H-beam and bolted plate assembly.</p> <p>Labels in the diagrams include: CRDハウジングレストレイントビーム, プレート, CRDハウジング, サポートビーム, H鋼, 原子炉本体の基礎, and A~A断面.</p> <p style="text-align: right;">(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

CRDハウジングレストレントビームの応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所に作用する設計用地震力による応力が許容限界に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

CRDハウジングレストレントビームの耐震評価フローを図2-1に示す。

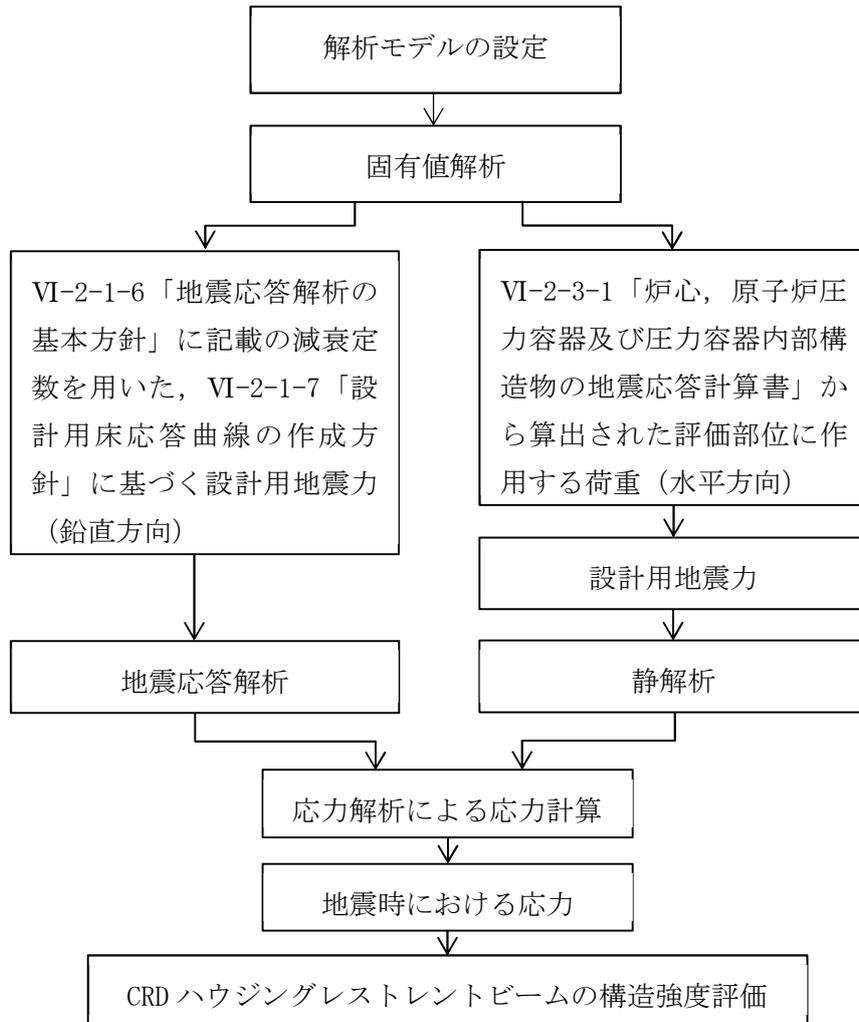


図2-1 CRDハウジングレストレントビームの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
C _v	鉛直方向設計震度	—
D	死荷重	—
E	縦弾性係数	MPa
f _b	許容曲げ応力	MPa
f _c	許容圧縮応力	MPa
f _s	許容せん断応力	MPa
ℓ ₁	CRDハウジングレストレントビームの内のり寸法	mm
ℓ ₂	CRDハウジングレストレントビームの高さ	mm
M	地震及び死荷重以外で地震と組み合わせべきプラントの運転状態（地震との組合せが独立な運転状態Ⅳ、Ⅴは除く）で設備に作用している機械的荷重	—
m ₀	質量	kg
P	地震と組み合わせべきプラントの運転状態（地震との組合せが独立な運転状態Ⅳ、Ⅴは除く）における圧力荷重	—
S	許容引張応力 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5 又は表6に規定される値	MPa
S _d	弾性設計用地震動S _d により定まる地震力	—
S _d *	弾性設計用地震動S _d により定まる地震力又はSクラス設備に適用される静的地震力のいずれか大きい方の地震力	—
S _s	基準地震動S _s により定まる地震力	—
S _u	設計引張強さ 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に規定される値	MPa
S _y	設計降伏点 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に規定される値	MPa
S _y (R T)	40℃における設計降伏点 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に規定される値	MPa
T	温度	℃
t ₁	プレートの厚さ	mm
ν	ポアソン比	—

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表2-2に示すとおりである。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
縦弾性係数	MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記*：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における許容応力は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

本計算書で解析する箇所の形状・寸法・材料を図3-1に示す。

なお、CRDハウジングレストレントビームの応力評価点は、CRDハウジングレストレントビームを構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、以下の理由に基づき発生応力が大きくなる部位であるプレートを選定する。選定した応力評価点を図3-2に示す。

- (1) CRDハウジングレストレントビームに発生する応力は水平地震荷重による応力が支配的である。水平地震荷重は、分担するCRDハウジングの本数に比例した荷重であることから、中心部である 90° - 270° 、 0° - 180° に最大荷重が作用する。
- (2) CRDハウジングレストレントビームを構成する部材としてプレートとH鋼があるが、プレートはH鋼と比較して断面積及び断面係数が小さいため、発生応力が大きくなる。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

(1) CRDハウジングレストレントビームは、原子炉本体の基礎の内周側に固定され、CRDハウジングの水平地震荷重を原子炉本体の基礎に伝達する構造である。

CRDハウジングレストレントビームの耐震評価は、「4.5 設計用地震力」に示す水平地震荷重及び鉛直地震力を用いて、参照図書(1)に示す既工認の手法に従い、「4.6 計算方法」に示す手法により構造強度評価を行う。

(2) 構造強度評価に用いる寸法は、公称値を用いる。

(3) 概略構造図を表2-1に示す。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を表4-1に示す。

4.2.2 許容応力

許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-2のとおりとする。

4.2.3 許容応力評価条件

許容応力評価条件を表4-3に示す。

4.2.4 設計荷重

(1) 最高使用温度及び死荷重

最高使用温度及び死荷重は、既工認から変更はなく、参照図書(1)に定めるとおりである。

4.3 解析モデル及び諸元

CRDハウジングレストレントビームの解析モデルを図4-1に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元について表4-4に示す。なお、解析においては原子炉本体の基礎との取り合い部で溶接されるため、サポートビームを含めてCRDハウジングレストレントビームをモデル化している。一方、CRDハウジングレストレントビームのうち内側のCRDハウジングが接する部材は、水平地震荷重に対し、CRDハウジングレストレントビームの変形を抑制し、応力を低減する方向に作用するため、保守的にモデル化しないものとする。

(1) 3次元はり要素による有限要素解析手法を適用する。

(2) 拘束条件は、原子炉本体の基礎の内周側の固定部を固定条件とする。

(3) 解析コードは「MSC NASTRAN」を使用し、固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。

なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

4.4 固有周期

固有値解析の結果を表 4-5 に、振動モード図を図 4-2 に示す。固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。また、水平方向は 6 次モード以降に卓越し、固有周期は 0.05 秒以下であることを確認した。

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-6 及び表 4-7 に示す。

CRD ハウジングレストレントビームに加わる地震荷重 S_d^* 及び地震荷重 S_s での水平地震荷重は、VI-2-3-1「炉心，原子炉圧力容器及び圧力容器内部構造物の地震応答計算書」において、CRD ハウジングレストレントビームがばね要素としてモデル化されているため、ばね反力として求めた水平地震荷重，若しくはその条件を包絡する様に定めた保守的な水平地震荷重を用いる。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的地震力」及び「基準地震動 S_s 」による鉛直地震力は、「4.4 固有周期」に示すとおり鉛直方向で柔構造であることから、VI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

4.6 計算方法

応力計算方法は、既工認から変更はなく、参照図書(1)に示すとおりである。

以下の荷重を用いて応力評価断面の断面性能により各荷重による応力を算出し、適切に組み合わせることにより計算する。

4.6.1 水平地震荷重による応力

表 4-6 に示す水平地震荷重を「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルに入力し、静解析により得られる荷重（軸力，モーメント，せん断力）を用いる。

4.6.2 鉛直地震荷重による応力

表 4-7 に示す鉛直地震力を「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルに入力し、固有周期に応じたスペクトルモーダル解析と、動的地震力及び静的地震力を用いた静解析により得られる荷重（モーメント，せん断力）を用いる。

4.6.3 死荷重による応力

「4.2.4 (1) 最高使用温度及び死荷重」に示す死荷重を「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルに入力し、静解析により得られる荷重（モーメント，せん断力）を用いる。

4.7 計算条件

応力解析に用いる荷重を「4.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「4.5 設計用地震力」に示す。

4.8 応力の評価

各許容応力状態における評価を表 4-8 に示す。

表 4-8 より、各許容応力状態の各応力は、「4.2.2 許容応力」に示す許容応力を満足する。

5. 参照図書

- (1) 柏崎刈羽原子力発電所第6号機 第5回工事計画認可申請書 添付書類
IV-3-1-4-2 「制御棒駆動機構ハウジングレストレントビームの応力計算書」

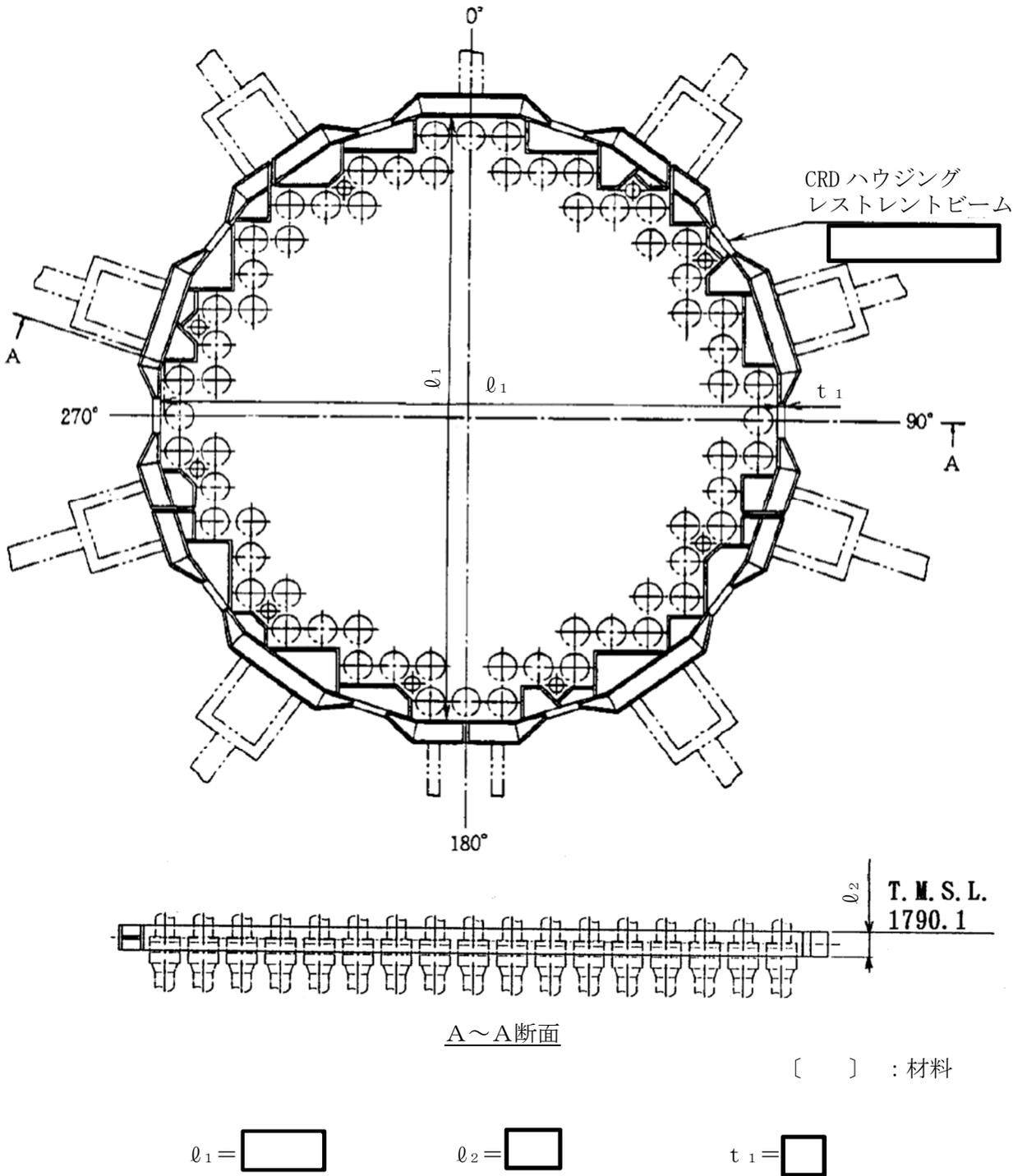


図 3-1 CRD ハウジングレストレイントビームの形状・寸法・材料 (単位 : mm)

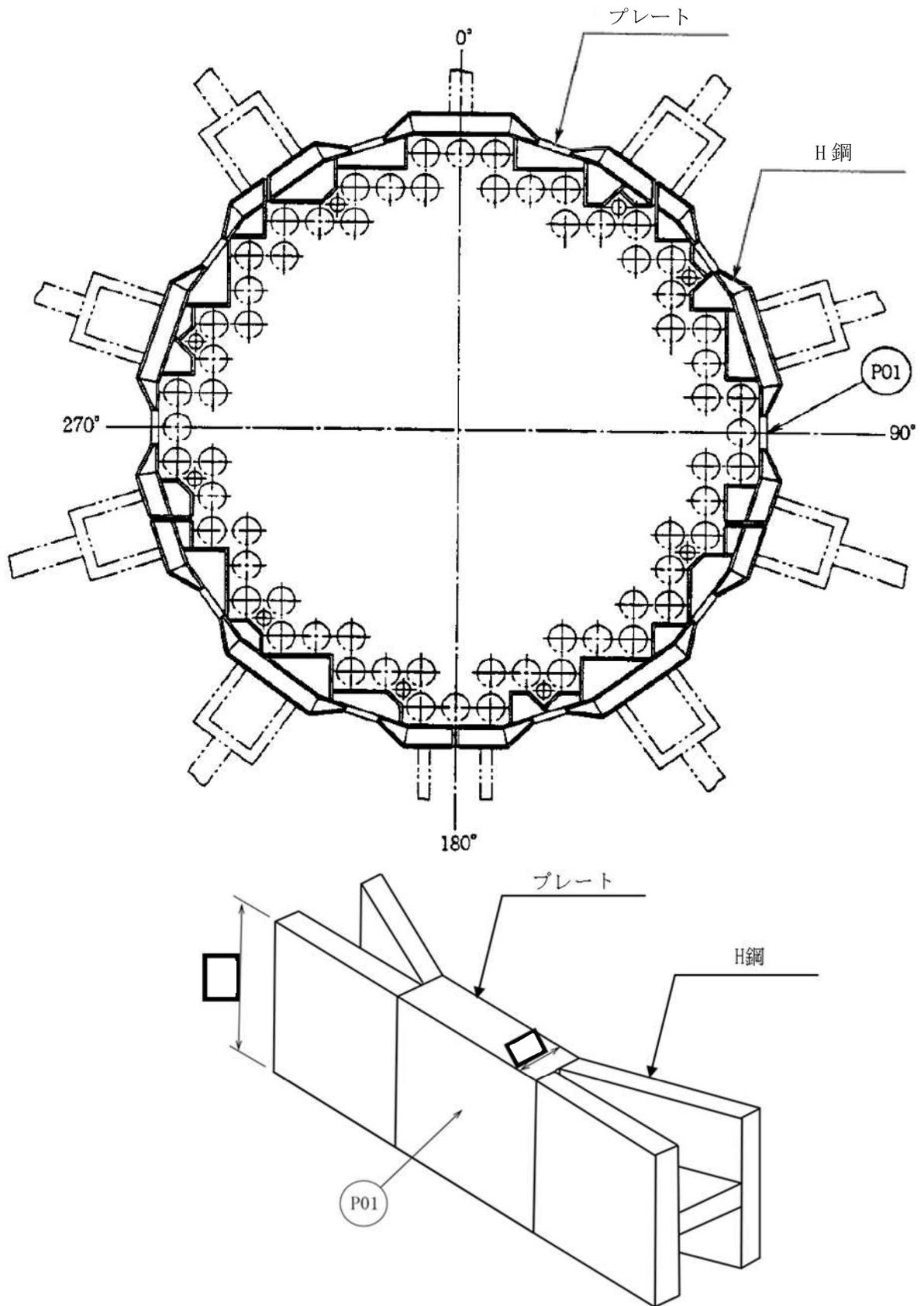


図3-2 CRDハウジングレストレイントビームの応力評価点 (単位: mm)

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度 分類	機器等 の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉本体	原子炉圧力 容器付属 構造物	CRDハウジング レストレント ビーム	S	—*	D + P + M + S _d *	Ⅲ _A S
					D + P + M + S _s	Ⅳ _A S

注記*：クラス1支持構造物の荷重の組合せ及び許容限界を準用する。

表4-2 許容応力（クラス1支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等以外)		
	一次応力		
	せん断	圧縮	曲げ
ⅢAS	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$
ⅣAS	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$

注記*1 : 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*2 : 当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3 許容応力評価条件

評価部位	材料		温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
			周囲環境 温度	171	—			—
プレート	鋼板							

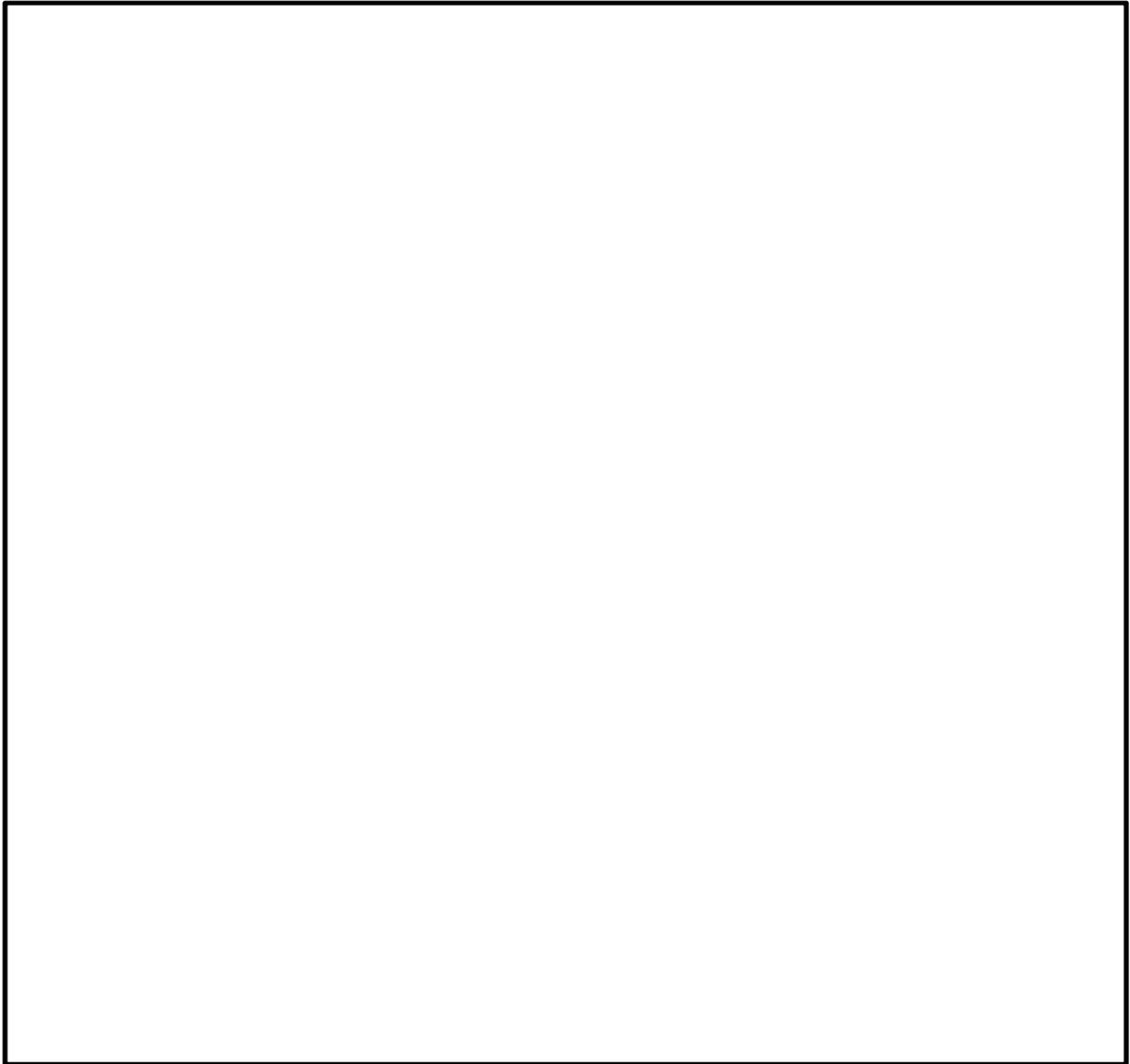


図 4-1 解析モデル

表 4-4 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
質量	m _o	kg	
温度条件	T	℃	57
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	—	
節点数	—	—	

表 4-5 固有周期

モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*		
			X	Y	Z
1次	鉛直				
2次	鉛直				
3次	鉛直				
4次	鉛直				
5次	鉛直				
6次	鉛直				

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



1次モード



2次モード



3次モード

図 4-2 振動モード図

表 4-6 設計用地震力（水平方向）

	地震荷重 S _d *	地震荷重 S _s
水平地震荷重(N)		

表 4-7 設計用地震力（鉛直方向）

据付場所及び 床面高さ(m)		原子炉本体基礎 T.M.S.L. 1.8					
固有周期(s)		水平：0.05 以下 鉛直： <input type="text"/> *1					
減衰定数(%)		水平：— 鉛直：1.0*2					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		*3 応答鉛直 震度	応答水平震度		*4 応答鉛直 震度
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次		—	—		—	—	
2 次		—	—		—	—	
3 次		—	—		—	—	
4 次		—	—		—	—	
5 次		—	—		—	—	
6 次		—	—		—	—	
動的地震力*5		—	—	0.71	—	—	1.40
静的地震力*6		—	—	0.29	—	—	—

注記*1：1次固有周期について記載

*2：溶接構造物に適用される減衰定数

*3：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線（S_d）より得られる震度を示す。

*4：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線（S_s）より得られる震度を示す。

*5：S_s 又は S_d に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

*6：静的震度（1.2・C_v）を示す。

表 4-8 評価結果まとめ

(単位：MPa)

評価対象 設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		Ⅳ _A S	
				算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
CRDハウジング レストレント ビーム	P01	プレート	圧縮応力	8		11	
			曲げ応力	91		133	
			せん断応力	3		4	

VI-2-3-3-3 原子炉压力容器内部構造物の耐震性についての計算書

VI-2-3-3-3-1 原子炉压力容器内部構造物の応力解析の方針

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 構造計画	2
2.2 評価方針	4
2.3 適用基準	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 計算条件	7
3.1 評価対象機器	7
3.2 形状及び寸法	7
3.3 荷重の組合せ及び許容応力状態	7
3.4 許容応力	7
3.5 許容応力評価条件	8
3.6 溶接部の継手効率	8
4. 荷重条件	9
4.1 設計条件	9
4.2 運転条件	9
4.3 荷重の組合せ及び応力評価	9
5. 応力評価の手順	10
5.1 応力の評価	10
5.1.1 主応力	10
5.1.2 応力強さ	10
5.1.3 一次応力強さ	10
5.2 特別な応力の評価	11
5.2.1 純せん断応力の評価	11
5.2.2 支圧応力の評価	11
6. 評価結果の添付	12
6.1 応力評価結果	12
7. 引用文献	13
8. 参照図書	13
添付1 溶接部の継手効率	28

図 表 目 次

図2-1	原子炉压力容器内部構造物の耐震評価フロー	4
図3-1	全体断面図	14
表2-1	原子炉压力容器内部構造物の構造計画	3
表2-2	表示する数値の丸め方	6
表3-1	荷重の組合せ及び許容応力状態	15
表3-2	許容応力（炉内構造物）	17
表3-3	許容応力評価条件	18
表4-1	外荷重	19
表4-2	荷重の組合せ	27

1. 概要

本書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、原子炉圧力容器内部構造物に関する応力解析の方針を説明するものである。

なお、本書においては、設計用地震力に対する評価について記載するものとし、設計用地震力を除く荷重による原子炉圧力容器内部構造物の応力評価は、平成5年6月17日付け4資庁第14561号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

注1：本書に記載していない特別な内容がある場合は、VI-2-3-3-3-2「原子炉圧力容器内部構造物の耐震計算結果」及びVI-2-3-3-3-3「原子炉圧力容器内部構造物の応力計算書」（以下「計算書」という。）に示す。

注2：図表は、原則として巻末に示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉圧力容器内部構造物の構造計画を表 2-1 に示す。

原子炉圧力容器内部構造物は、下記の機器により構成される。

- (1) 蒸気乾燥器
- (2) 気水分離器及びスタンドパイプ
- (3) シュラウドヘッド
- (4) 給水スパージャ
- (5) 高圧炉心注水スパージャ
- (6) 低圧注水スパージャ
- (7) 高圧炉心注水系配管（原子炉圧力容器内部）
- (8) 中性子束計測案内管

表 2-1 原子炉圧力容器内部構造物の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>蒸気乾燥器，給水スパージャ及び低圧注水スパージャは，原子炉圧力容器内部に取り付けられたブラケットにより支持される。</p> <p>高圧炉心注水スパージャ及び高圧炉心注水系配管は，上部格子板に支持される。</p> <p>また，気水分離器及びスタンドパイプは，シュラウドヘッドに溶接により接続され，シュラウドヘッドは，上部格子板上にボルトによりフランジ接続される。</p> <p>中性子束計測案内管は，下部を中性子束計測ハウジングに溶接され，上部は炉心支持板により水平方向を支持される。</p>	<p>原子炉圧力容器内部構造物は蒸気乾燥器，気水分離器及びスタンドパイプ，シュラウドヘッド，給水スパージャ，高圧炉心注水スパージャ，低圧注水スパージャ，高圧炉心注水系配管及び中性子束計測案内管により構成される。</p>	

2.2 評価方針

原子炉圧力容器内部構造物の構造強度評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」及び「3. 計算条件」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容応力に基づき、「2.1 構造計画」にて示す原子炉圧力容器内部構造物の各機器の計算書にて設定する箇所において、「4. 荷重条件」にて設定した荷重に基づく応力が許容限界内に収まることを、「5. 応力評価の手順」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を計算書に示す。

原子炉圧力容器内部構造物の耐震評価フローを図2-1に示す。

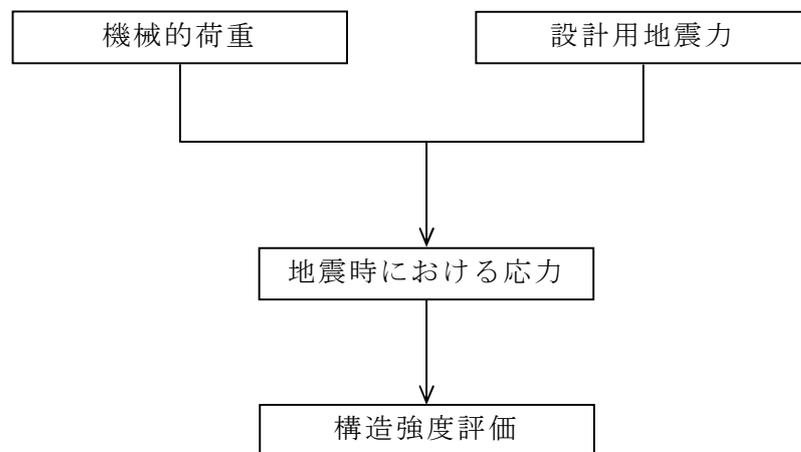


図2-1 原子炉圧力容器内部構造物の耐震評価フロー

2.3 適用基準

適用基準を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

注：本書及び計算書において、設計・建設規格の条項は「設計・建設規格 ○○○-△△△△(◇)a. (a)」として示す。

2.4 記号の説明

本書及び計算書において、以下の記号を使用する。ただし、本書添付及び計算書中に別途記載ある場合は、この限りでない。

なお、計算書における記号の字体及び大きさについては、本書と異なる場合がある。

記号	記号の説明	単位
F_L	軸力	N
F_S	せん断力	N
H	水平力	N
M	モーメント	N・mm
P_b	一次曲げ応力	MPa
P_m	一次一般膜応力	MPa
S_{12}	主応力差 $\sigma_1 - \sigma_2$	MPa
S_{23}	主応力差 $\sigma_2 - \sigma_3$	MPa
S_{31}	主応力差 $\sigma_3 - \sigma_1$	MPa
S_d^*	弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力又は S クラス施設に適用される静的地震力のいずれか大きい方の地震力	—
S_m	設計応力強さ 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 1 に定める値	MPa
S_s	基準地震動 S_s により定まる地震力	—
S_u	設計引張強さ 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_y	設計降伏点 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40℃における設計降伏点	MPa
T	ねじりモーメント	N・mm
V	鉛直力	N
η	溶接部の継手効率	—
σ_1	主応力	MPa
σ_2	主応力	MPa
σ_3	主応力	MPa
σ_ℓ	軸方向応力	MPa
σ_r	半径方向応力	MPa
σ_t	周方向応力	MPa
$\tau_{\ell r}$	せん断応力	MPa
τ_{rt}	せん断応力	MPa
$\tau_{t\ell}$	せん断応力	MPa

記号	記号の説明	単位
Ⅲ A S	設計・建設規格の供用状態C相当の許容応力を基準として、それに地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態	—
Ⅳ A S	設計・建設規格の供用状態D相当の許容応力を基準として、それに地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態	—
V A S	運転状態V（重大事故等時の状態）相当の応力評価を行う許容応力状態を基本として、それに地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態	—

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
応力強さ	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における許容応力は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 計算条件

3.1 評価対象機器

応力評価を行う機器は、次のとおりである。(表 2-1 及び図 3-1 参照)

機器名称		評価対象	
		耐震性についての計算書 (許容応力状態に対する評価)	
		Ⅲ A S, Ⅳ A S	V A S
(1)	蒸気乾燥器	○	×*
(2)	気水分離器及びスタンドパイプ	○	×*
(3)	シュラウドヘッド	○	×*
(4)	給水スパージャ	○	○
(5)	高圧炉心注水スパージャ	○	○
(6)	低圧注水スパージャ	○	○
(7)	高圧炉心注水系配管 (原子炉压力容器内部)	○	○
(8)	中性子束計測案内管	○	×*

注：「○」は評価対象，「×」は評価対象外を示す。

注記*：設計基準対象施設としてのみ申請する機器。

3.2 形状及び寸法

各部の形状及び寸法は、計算書に示す。

3.3 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉压力容器内部構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1(1)に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-1(2)に示す。また、各許容応力状態で考慮する荷重は、4章に示すとおりである。

3.4 許容応力

原子炉压力容器内部構造物の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 3-2 に示す。

3.5 許容応力評価条件

- (1) 許容応力状態Ⅲ A S 及び許容応力状態Ⅳ A S の一次応力の評価には，運転状態Ⅰ及びⅡにおける流体の最高温度 に対する許容応力を用いる。
- (2) 許容応力状態Ⅴ A S の一次応力の評価には，運転状態Ⅴにおける流体の最高温度 を上回る運転状態Ⅲにおける流体の最高温度 に対する許容応力を用いる。
- (3) 原子炉圧力容器内部構造物の許容応力評価条件を表 3-3 に示す。
なお，各機器で使用される材料は，計算書に示す。

3.6 溶接部の継手効率

- (1) 溶接部の継手効率は，継手の種類と分類及び継手に適用する検査の種類により，設計・建設規格 CSS-3150 に従って定める。溶接部の継手効率を添付 1 に示す。
- (2) 溶接部の許容応力は，材料の許容応力に継手効率を乗じたものとし，計算書に示す。

4. 荷重条件

原子炉圧力容器内部構造物は、以下の荷重条件に耐えることを確認する。
各機器の応力評価には、本章に示す荷重を考慮する。

4.1 設計条件

設計条件は既工認からの変更はなく、参照図書(1)f.に定めるとおりである。

4.2 運転条件

運転条件及び記号は、既工認からの変更はなく、参照図書(1)f.に定めるとおりである。

各機器の応力評価において考慮する外荷重の値を表4-1に示す。

表4-1において考慮する設計用地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」及びVI-2-3-1「炉心、原子炉圧力容器及び圧力容器内部構造物の地震応答計算書」により求めた荷重、若しくはそれらの条件を包絡する様に定めた保守的な荷重とする。

4.3 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価項目の対応を表4-2に示す。表4-2及び計算書において、荷重の種類と記号は以下のとおりである。

なお、荷重の組合せについては、機器ごとに適切に組み合わせる。

荷重	記号
(1) 差圧*	[L02]
(2) 死荷重	[L04]
(3) 活荷重（流体反力）	[L08]
(4) 配管又は機器の地震時の慣性力による地震荷重 S_d^* （一次荷重）	[L14]
(5) 配管又は機器の地震時の慣性力による地震荷重 S_s （一次荷重）	[L16]

注：L08は、L04として考慮する。

注記*：許容応力状態Ⅲ_AS及び許容応力状態Ⅳ_ASの応力評価には、運転状態Ⅰ及びⅡにおける差圧を用いる。

また、許容応力状態Ⅴ_ASの応力評価には、重大事故等時の運転状態を考慮して設定した差圧を用いることとし、計算書に示す。

5. 応力評価の手順

応力評価の手順について述べる。

5.1 応力の評価

外荷重による応力は表 4-1 に示す外荷重より計算する。

5.1.1 主応力

計算した応力は、応力の分類ごとに重ね合わせ、組合せ応力を求める。

組合せ応力は、一般に σ_t , σ_ℓ , σ_r , $\tau_{t\ell}$, $\tau_{\ell r}$, τ_{rt} の 6 成分を持つが、主応力 σ は、引用文献(1)の 1・3・6 項により、次式を満足する 3 根 σ_1 , σ_2 , σ_3 として計算する。

$$\begin{aligned} & \sigma^3 - (\sigma_t + \sigma_\ell + \sigma_r) \cdot \sigma^2 + (\sigma_t \cdot \sigma_\ell + \sigma_\ell \cdot \sigma_r + \sigma_r \cdot \sigma_t - \tau_{t\ell}^2 \\ & - \tau_{\ell r}^2 - \tau_{rt}^2) \cdot \sigma - \sigma_t \cdot \sigma_\ell \cdot \sigma_r + \sigma_t \cdot \tau_{\ell r}^2 + \sigma_\ell \cdot \tau_{rt}^2 \\ & + \sigma_r \cdot \tau_{t\ell}^2 - 2 \cdot \tau_{t\ell} \cdot \tau_{\ell r} \cdot \tau_{rt} = 0 \end{aligned}$$

上式により主応力を求める。

5.1.2 応力強さ

以下の 3 つの主応力差の絶対値で最大のものを応力強さとする。

$$S_{12} = \sigma_1 - \sigma_2$$

$$S_{23} = \sigma_2 - \sigma_3$$

$$S_{31} = \sigma_3 - \sigma_1$$

5.1.3 一次応力強さ

許容応力状態Ⅲ_AS, 許容応力状態Ⅳ_AS 及び許容応力状態Ⅴ_AS において生じる一次一般膜応力及び一次一般膜+一次曲げ応力の応力強さが、3.4 節に示す許容応力を満足することを示す。

5.2 特別な応力の評価

5.2.1 純せん断応力の評価

純せん断荷重を受ける部分は、設計・建設規格 CSS-3114 により評価する。解析箇所を以下に示す。評価方法は参照図書(1)g.に示し、許容応力は表 3-2 に示す。

- (1) 蒸気乾燥器の耐震用ブロック

5.2.2 支圧応力の評価

支圧荷重を受ける部分は、設計・建設規格 CSS-3115 により評価する。解析箇所を以下に示す。評価方法は参照図書(1)g.に示し、許容応力は表 3-2 に示す。

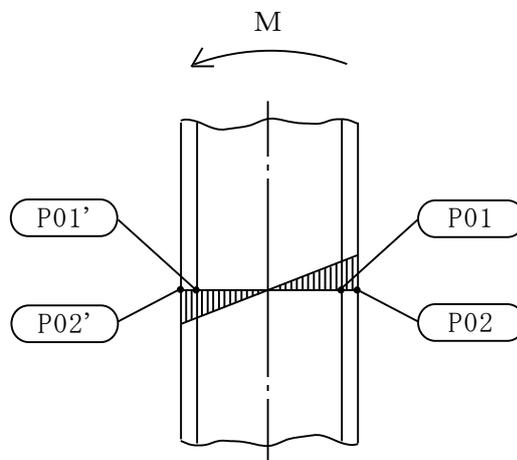
- (1) 蒸気乾燥器の耐震用ブロック

6. 評価結果の添付

応力評価点番号は、機器ごとに記号 P01 からの連番とする。奇数番号を内面の点、偶数番号を外面の点として、計算書の形状・寸法・材料・応力評価点を示す図において定義する。

なお、軸対称モデル解析において、非軸対称な外荷重による応力評価を行った場合、荷重の入力方位と応力評価点の方位の関係により応力に極大値と極小値が生じる。外荷重による応力が極大となる方位の応力評価点は〔例 P01〕と表し、極小となる方位の応力評価点にはプライム（'）を付けて〔例 P01'〕と表す。

一次応力の評価は、内外面の応力評価点を含む断面（応力評価面）について行う。



6.1 応力評価結果

- (1) 次の応力評価結果は、全応力評価点（面）について添付する。
 - a. 一次一般膜応力強さの評価のまとめ
 - b. 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ
- (2) 次の特別な評価は、対象となるすべての部位について評価し、結果を記載する。
 - a. 純せん断応力
 - b. 支圧応力

7. 引用文献

文献番号は、本書及び計算書において共通である。

- (1) 機械工学便覧 α3 (日本機械学会)

8. 参照図書

- (1) 柏崎刈羽原子力発電所第6号機 第5回工事計画認可申請書 添付書類
 - a. IV-2-2-3 給水スパーージャの耐震性についての計算書
 - b. IV-2-2-4 高圧炉心注水スパーージャの耐震性についての計算書
 - c. IV-2-2-5 低圧注水スパーージャの耐震性についての計算書
 - d. IV-2-2-6 高圧炉心注水系配管（原子炉压力容器内部）の耐震性についての計算書
 - e. IV-2-2-7 中性子束計測案内管の耐震性についての計算書
 - f. IV-3-1-3-1 压力容器内部構造物の応力解析の方針
 - g. IV-3-1-3-2 蒸気乾燥器の応力計算書
 - h. IV-3-1-3-3 シュラウドヘッドの応力計算書
 - i. IV-3-1-3-4 気水分離器の応力計算書
 - j. IV-3-1-3-5 給水スパーージャの応力計算書
 - k. IV-3-1-3-6 高圧炉心注水スパーージャの応力計算書
 - l. IV-3-1-3-7 低圧注水スパーージャの応力計算書
 - m. IV-3-1-3-8 高圧炉心注水系配管（原子炉压力容器内部）の応力計算書
 - n. IV-3-1-3-9 中性子束計測案内管の応力計算書

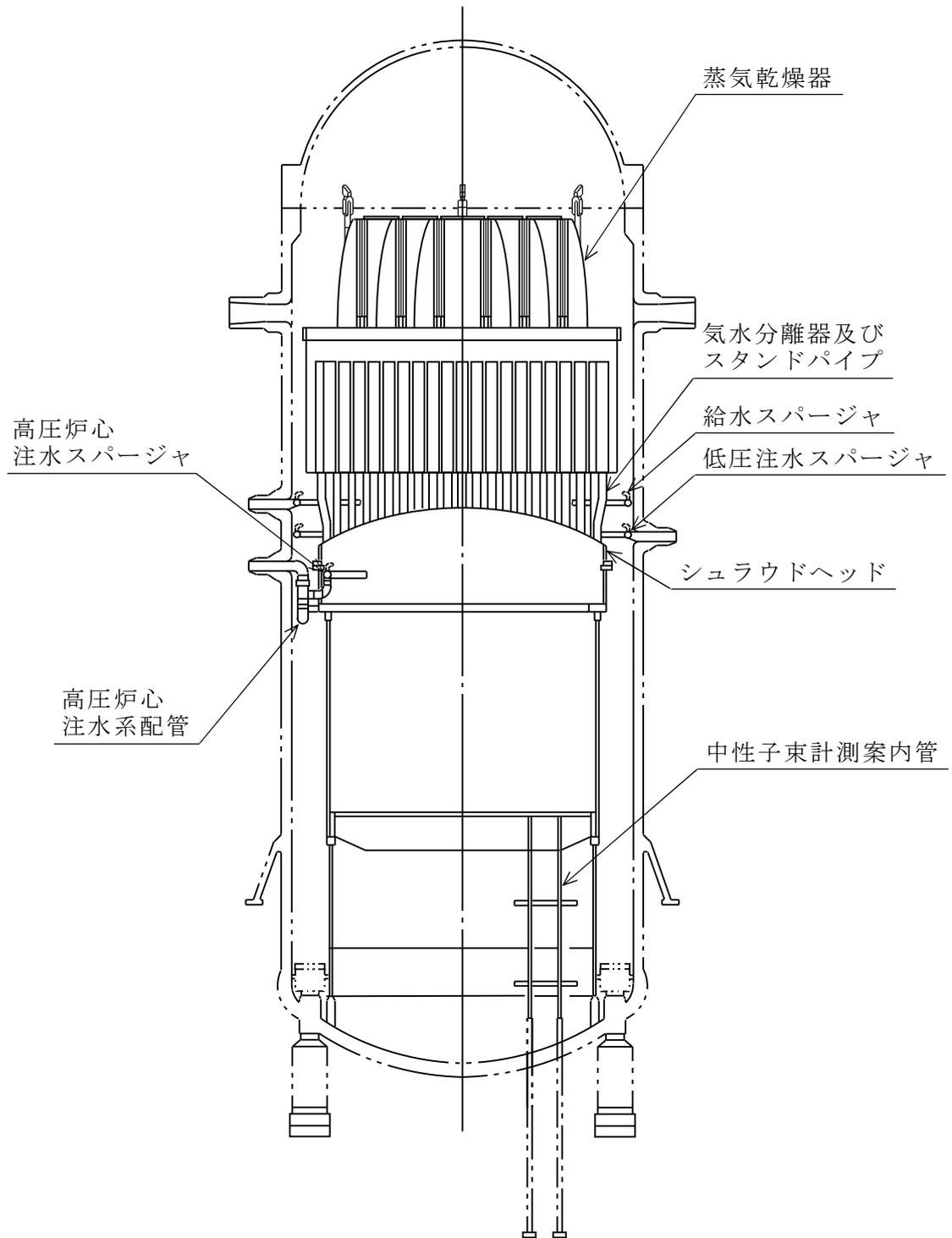


図 3-1 全体断面図

表 3-1(1) 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度 分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉 本体	原子炉 压力容器 内部 構造物	蒸気乾燥器 気水分離器及び スタンドパイプ シュラウドヘッド 給水スパージャ 高圧炉心注水 スパージャ	S	—	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ A S
		低圧注水スパージャ 高圧炉心注水系配管 中性子束計測案内管			$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ A S

[記号の説明]

D : 死荷重

P_D : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む。）又は当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重M_D : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む。）又は当該設備に設計上定められた機械的荷重S_d* : 弾性設計用地震動S_dにより定まる地震力又はSクラス施設に適用される静的地震力のいずれか大きい方の地震力S_s : 基準地震動S_sにより定まる地震力

表 3-1(2) 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉 本体	原子炉 圧力容器 内部 構造物	給水スパーージャ 高圧炉心注水 スパーージャ 低圧注水スパーージャ 高圧炉心注水系配管	常設耐震/ 防止 常設/緩和	—	$D + P_D + M_D + S_s$	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとしてIVAS の許容限界を用いる。)

[記号の説明]

- D : 死荷重
- P_D : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む。）又は当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重
- M_D : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む。）又は当該設備に設計上定められた機械的荷重
- S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力
- P_{SAD} : 重大事故等時の状態（運転状態Ⅴ）における運転状態等を考慮して当該設備に設計上定められた設計圧力による荷重
- M_{SAD} : 重大事故等時の状態（運転状態Ⅴ）における運転状態等を考慮して当該設備に設計上定められた機械的荷重

注記* : 「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

表 3-2 許容応力（炉内構造物）

許容応力状態	許容限界*			
	一次一般膜応力	一次一般膜＋一次曲げ応力	純せん断応力	支圧応力
ⅢAS	$1.5 \cdot S_m$	左欄の 1.5 倍の値	$0.9 \cdot S_m$	$1.5 \cdot S_y$
ⅣAS	$2/3 \cdot S_u$	左欄の 1.5 倍の値	$1.2 \cdot S_m$	$2 \cdot S_y$
ⅤAS (ⅤASとしてⅣAS の許容限界を用いる。)	ただし、オーステナイト系 ステンレス鋼及び高ニッケル 合金については $2/3 \cdot S_u$ と $2.4 \cdot S_m$ の小さい方。			

注記*：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-3(1) 許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部位	材料	温度条件 (°C)	S_m (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (R T) (MPa)	
原子炉 圧力容器 内部 構造物	オーステナイ ト系ステンレ ス鋼及び高ニ ッケル合金	SUS316L	流体の最高温度				
		SUS316LTP	流体の最高温度				
		SUS316LTP 相当	流体の最高温度				
		SUSF316L	流体の最高温度				
		SUSF316L 相当	流体の最高温度				
		GXM1 相当	流体の最高温度				
			流体の最高温度				
			流体の最高温度				

表 3-3(2) 許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部位	材料	温度条件 (°C)	S_m (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (R T) (MPa)	
原子炉 圧力容器 内部 構造物	オーステナイ ト系ステンレ ス鋼及び高ニ ッケル合金	SUS316LTP	流体の最高温度				
		SUS316LTP 相当	流体の最高温度				
		SUSF316L	流体の最高温度				
		SUSF316L 相当	流体の最高温度				
			流体の最高温度				

表 4-1(1) 外荷重

蒸気乾燥器外荷重

記号	荷重名称	鉛直力		水平力	
		V_1^{*1} (kN)	V_2^{*2} (kN)	H_1^{*3} (kN)	H_2^{*4} (kN)
L04	死荷重				
L14	地震荷重 S d *				
L16	地震荷重 S s				

--	--	--	--	--	--

表 4-1(2) 外荷重

気水分離器及びスタンドパイプ外荷重

記号	荷重名称	荷重 作用点	鉛直力	水平力	モーメント
			V (kN)	H (kN)	M* (kN・m)
L04	死荷重	A			
L14	地震荷重 S _d *	A			
L16	地震荷重 S _s	A			

K6 ① VI-2-3-3-3-1 R0

表 4-1(3) 外荷重

シュラウドヘッド外荷重

記号	荷重名称	荷重 作用点	鉛直力	水平力	モーメント
			V (kN)	H (kN)	M (kN・m)
L04	死荷重	A			
L14	地震荷重 S _d *	A			
L16	地震荷重 S _s	A			

表 4-1(4) 外荷重

給水スパージャ外荷重

記号	荷重名称	荷重 作用点	軸力	せん断力	ねじり モーメント	曲げ モーメント
			F_L (N)	F_S (N)	T (N·m)	M (N·m)
L04	死荷重	A				
		B				
L14	地震荷重 S_d^*	A				
		B				
L16	地震荷重 S_s	A				
		B				



表 4-1(5) 外荷重

高压炉心注水スパージャ外荷重

記号	荷重名称	荷重 作用点	軸力	せん断力	ねじり モーメント	曲げ モーメント
			F_L (N)	F_s (N)	T (N·m)	M (N·m)
L04	死荷重					
L14	地震荷重 S_d^*					
L16	地震荷重 S_s					

K6 ① VI-2-3-3-3-1 R0

表 4-1(6) 外荷重

低圧注水スパージャ外荷重

記号	荷重名称	荷重 作用点	軸力	せん断力	ねじり モーメント	曲げ モーメント
			F_L (N)	F_s (N)	T (N·m)	M (N·m)
L04	死荷重	A				
		B				
L14	地震荷重 S_d^*	A				
		B				
L16	地震荷重 S_s	A				
		B				

K6 ① VI-2-3-3-3-1 R0

表 4-1(7) 外荷重

高压炉心注水系配管外荷重

記号	荷重名称	荷重 作用点	軸力	せん断力	ねじり モーメント	曲げ モーメント
			F_L (N)	F_s (N)	T (N·m)	M (N·m)
L04	死荷重	A				
		B				
		C				
L14	地震荷重 S_d^*	A				
		B				
		C				
L16	地震荷重 S_s	A				
		B				
		C				

K6 ① VI-2-3-3-3-1 R0

表 4-1(8) 外荷重

中性子束計測案内管外荷重

記号	荷重名称	荷重 作用点	軸力	せん断力	ねじり モーメント	曲げ モーメント
			F_L (N)	F_s (N)	T (N·m)	M (N·m)
L04	死荷重	A				
		B				
L14	地震荷重 S_d^*	A				
		B				
L16	地震荷重 S_s	A				
		B				

K6 ① VI-2-3-3-3-1 R0

表 4-2 荷重の組合せ

許容応力状態	荷重の組合せ	応力評価
Ⅲ A S	L02+L04+L14	P_m $P_m + P_b$
Ⅳ A S	L02+L04+L16	P_m $P_m + P_b$
V A S	L02+L04+L16	P_m $P_m + P_b$

添付 1 溶接部の継手効率

原子炉压力容器内部構造物の主な溶接部の継手効率は、設計・建設規格 CSS-3150 に従い、付表-1 のとおりに定められる。

付表-1

継手の箇所	継手の分類	継手の種類	検査の種類*	継手効率 η
気水分離器及び スタンドパイプ	管と鏡板の周継手			
シュラウド ヘッド	鏡板と胴の周継手			
	胴とフランジの周継手			
給水スパージャ	サーマルスリーブと ティーの周継手			
	ティーとヘッダの周継手			
高圧炉心注水 スパージャ	ティーと接続管の周継手			
	ティーとヘッダの周継手			
低圧注水 スパージャ	サーマルスリーブと ティーの周継手			
	ティーとヘッダの周継手			
高圧炉心注水系 配管	サーマルリングと 上部格子板の周継手			
	管と管の周継手			
中性子束計測 案内管	管と管の周継手			

注記*：検査の種類を示す記号は次のとおりである。

- P T + R T：設計・建設規格 CSS-3150 に定める A の検査
- P P T：設計・建設規格 CSS-3150 に定める C の検査
- P T：設計・建設規格 CSS-3150 に定める E の検査

VI-2-3-3-3-2 原子炉压力容器内部構造物の耐震計算結果

目 次

1. 概要	1
2. 耐震評価条件整理	1
3. 技術基準規則第 5 条の要求事項の変更に伴う評価対象設備の耐震計算	4
3.1 耐震計算の概要	4

1. 概要

本資料は、原子炉本体のうち原子炉圧力容器内部構造物の耐震計算の手法及び条件の整理について説明するものである。

2. 耐震評価条件整理

原子炉本体のうち原子炉圧力容器内部構造物に対して、設計基準対象施設の耐震クラス、重大事故等対処設備の設備分類を整理した。既設の設計基準対象施設については、耐震評価における手法及び条件について、既に認可を受けた実績との差異の有無を整理した。また、重大事故等対処設備のうち、設計基準対象施設であるものについては、重大事故等対処設備の評価条件と設計基準対象施設の評価条件の差異の有無を整理した。結果を表1に示す。

原子炉本体のうち原子炉圧力容器内部構造物の耐震計算は表1に示す計算書に記載することとする。

表1 耐震評価条件整理一覧表 (1/2)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉本体	原子炉圧力容器	原子炉圧力容内部構造物	蒸気乾燥器ユニット	S	無	VI-2-3-3-3-2	—	—	—
			蒸気乾燥器ハウジング	S	無	VI-2-3-3-3-2	—	—	—
			気水分離器	S	無	VI-2-3-3-3-2	—	—	—
			スタンドパイプ	S	無	VI-2-3-3-3-2	—	—	—
			シュラウドヘッド	S	無	VI-2-3-3-3-2	—	—	—

表1 耐震評価条件整理一覧表 (2/2)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉本体	原子炉圧力容器	原子炉圧力容器内部構造物	給水スパージャ	S	無	VI-2-3-3-3-3	—	—	—
			高圧炉心注水スパー ジャ	S	無	VI-2-3-3-3-3	—	—	—
			低圧注水スパージャ	S	無	VI-2-3-3-3-3	—	—	—
			高圧炉心注水系配管 (原子炉圧力容器内 部)	S	無	VI-2-3-3-3-3	—	—	—
			中性子束計測案内管	S	無	VI-2-3-3-3-2	—	—	—

3. 技術基準規則第5条の要求事項の変更に伴う評価対象設備の耐震計算

3.1 耐震計算の概要

本章は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、原子炉圧力容器内部構造物のうち、技術基準規則第5条の要求事項の変更に伴う評価対象設備である蒸気乾燥器ユニット及び蒸気乾燥器ハウジング、気水分離器、スタンドパイプ、シュラウドヘッド、中性子束計測案内管が設計用地震力に対して十分な構造強度評価を有していることを説明するものである。蒸気乾燥器ユニット及び蒸気乾燥器ハウジング、気水分離器、スタンドパイプ、シュラウドヘッド、中性子束計測案内管の計算結果を次ページ以降に示す。

VI-2-3-3-3-2(1) 原子炉压力容器内部構造物の耐震計算結果

目 次（全体構成）

1. 概要	1-1
2. 蒸気乾燥器の応力計算	2-1
3. 気水分離器及びスタンドパイプの応力計算	3-1
4. シュラウドヘッドの応力計算	4-1
5. 中性子束計測案内管の応力計算	5-1

目 次
(蒸気乾燥器)

2. 蒸気乾燥器の応力計算	2-1
2.1 一般事項	2-1
2.1.1 形状・寸法・材料	2-1
2.1.2 解析範囲	2-1
2.1.3 計算結果の概要	2-1
2.2 計算条件	2-7
2.2.1 設計条件	2-7
2.2.2 運転条件	2-7
2.2.3 材料	2-7
2.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態	2-7
2.2.5 荷重の組合せ及び応力評価	2-7
2.2.6 許容応力	2-7
2.3 応力計算	2-8
2.3.1 応力評価点	2-8
2.3.2 差圧による応力	2-8
2.3.3 外荷重による応力	2-8
2.3.4 応力の評価	2-8
2.4 応力強さの評価	2-9
2.4.1 一次一般膜応力強さの評価	2-9
2.4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	2-9
2.5 特別な応力の評価	2-10
2.5.1 純せん断応力の評価	2-10
2.5.2 支圧応力の評価	2-10

図 表 目 次
(蒸気乾燥器)

図 2-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2-2
表 2-1	計算結果の概要	2-5
表 2-2	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	2-11
表 2-3	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	2-11
表 2-4	純せん断応力の評価	2-12
表 2-5	支圧応力の評価	2-12

目 次
(気水分離器及びスタンドパイプ)

3.	気水分離器及びスタンドパイプの応力計算	3-1
3.1	一般事項	3-1
3.1.1	形状・寸法・材料	3-1
3.1.2	解析範囲	3-1
3.1.3	計算結果の概要	3-1
3.2	計算条件	3-5
3.2.1	設計条件	3-5
3.2.2	運転条件	3-5
3.2.3	材料	3-5
3.2.4	荷重の組合せ及び許容応力状態	3-5
3.2.5	荷重の組合せ及び応力評価	3-5
3.2.6	許容応力	3-5
3.3	応力計算	3-6
3.3.1	応力評価点	3-6
3.3.2	差圧による応力	3-6
3.3.3	外荷重による応力	3-6
3.3.4	応力の評価	3-6
3.4	応力強さの評価	3-7
3.4.1	一次一般膜応力強さの評価	3-7
3.4.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	3-7

図 表 目 次
(気水分離器及びスタンドパイプ)

図 3-1	形状・寸法・材料・応力評価点	3-2
表 3-1	計算結果の概要	3-4
表 3-2	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	3-8
表 3-3	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	3-8

目 次
(シュラウドヘッド)

4. シュラウドヘッドの応力計算	4-1
4.1 一般事項	4-1
4.1.1 形状・寸法・材料	4-1
4.1.2 解析範囲	4-1
4.1.3 計算結果の概要	4-1
4.2 計算条件	4-4
4.2.1 設計条件	4-4
4.2.2 運転条件	4-4
4.2.3 材料	4-4
4.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態	4-4
4.2.5 荷重の組合せ及び応力評価	4-4
4.2.6 許容応力	4-4
4.3 応力計算	4-5
4.3.1 応力評価点	4-5
4.3.2 差圧による応力	4-5
4.3.3 外荷重による応力	4-5
4.3.4 応力の評価	4-5
4.4 応力強さの評価	4-6
4.4.1 一次一般膜応力強さの評価	4-6
4.4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	4-6

図 表 目 次
(シュラウドヘッド)

図 4-1	形状・寸法・材料・応力評価点	4-2
表 4-1	計算結果の概要	4-3
表 4-2	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	4-7
表 4-3	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	4-7

目 次
(中性子束計測案内管)

5.	中性子束計測案内管の応力計算	5-1
5.1	一般事項	5-1
5.1.1	形状・寸法・材料	5-1
5.1.2	解析範囲	5-1
5.1.3	計算結果の概要	5-1
5.2	計算条件	5-5
5.2.1	設計条件	5-5
5.2.2	運転条件	5-5
5.2.3	材料	5-5
5.2.4	荷重の組合せ及び許容応力状態	5-5
5.2.5	荷重の組合せ及び応力評価	5-5
5.2.6	許容応力	5-5
5.3	外荷重の条件	5-6
5.3.1	計算方法	5-6
5.3.2	解析モデル	5-6
5.3.3	設計震度	5-6
5.3.4	計算結果	5-6
5.4	応力計算	5-7
5.4.1	応力評価点	5-7
5.4.2	差圧による応力	5-7
5.4.3	外荷重による応力	5-7
5.4.4	応力の評価	5-7
5.5	応力強さの評価	5-8
5.5.1	一次一般膜応力強さの評価	5-8
5.5.2	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	5-8

図 表 目 次
(中性子束計測案内管)

図 5-1	形状・寸法・材料・応力評価点	5-2
図 5-2	解析モデル	5-9
表 5-1	計算結果の概要	5-4
表 5-2	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	5-10
表 5-3	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	5-10

1. 概要

本計算書は、原子炉压力容器内部構造物の耐震計算結果に関するものである。

本計算書の各機器は、原子炉压力容器内部構造物であるため、VI-2-3-3-3-1「原子炉压力容器内部構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

本計算書は、原子炉压力容器内部構造物であって、設計基準対象施設に分類される下記の機器について、構造強度評価の結果を示すものである。

- ・ 蒸気乾燥器
- ・ 気水分離器及びスタンドパイプ
- ・ シュラウドヘッド
- ・ 中性子束計測案内管

なお、原子炉压力容器内部構造物であって、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備に分類される下記の機器については、VI-2-3-3-3-3「原子炉压力容器内部構造物の応力計算書」に構造強度評価の結果を示す。

- ・ 給水スパーージャ
- ・ 高圧炉心注水スパーージャ
- ・ 低圧注水スパーージャ
- ・ 高圧炉心注水系配管（原子炉压力容器内部）

注：本計算書においては、平成5年6月17日付け4資庁第14561号にて認可された工事計画の添付書類（「応力解析の方針」の参照図書(1)）を「既工認」という。

2. 蒸気乾燥器の応力計算

2.1 一般事項

本章は、蒸気乾燥器の応力計算について示すものである。

蒸気乾燥器は、設計基準対象施設においてSクラス施設に分類される。

以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

2.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所の形状・寸法・材料を図2-1に示す。

2.1.2 解析範囲

解析範囲を図2-1に示す。

2.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表2-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。

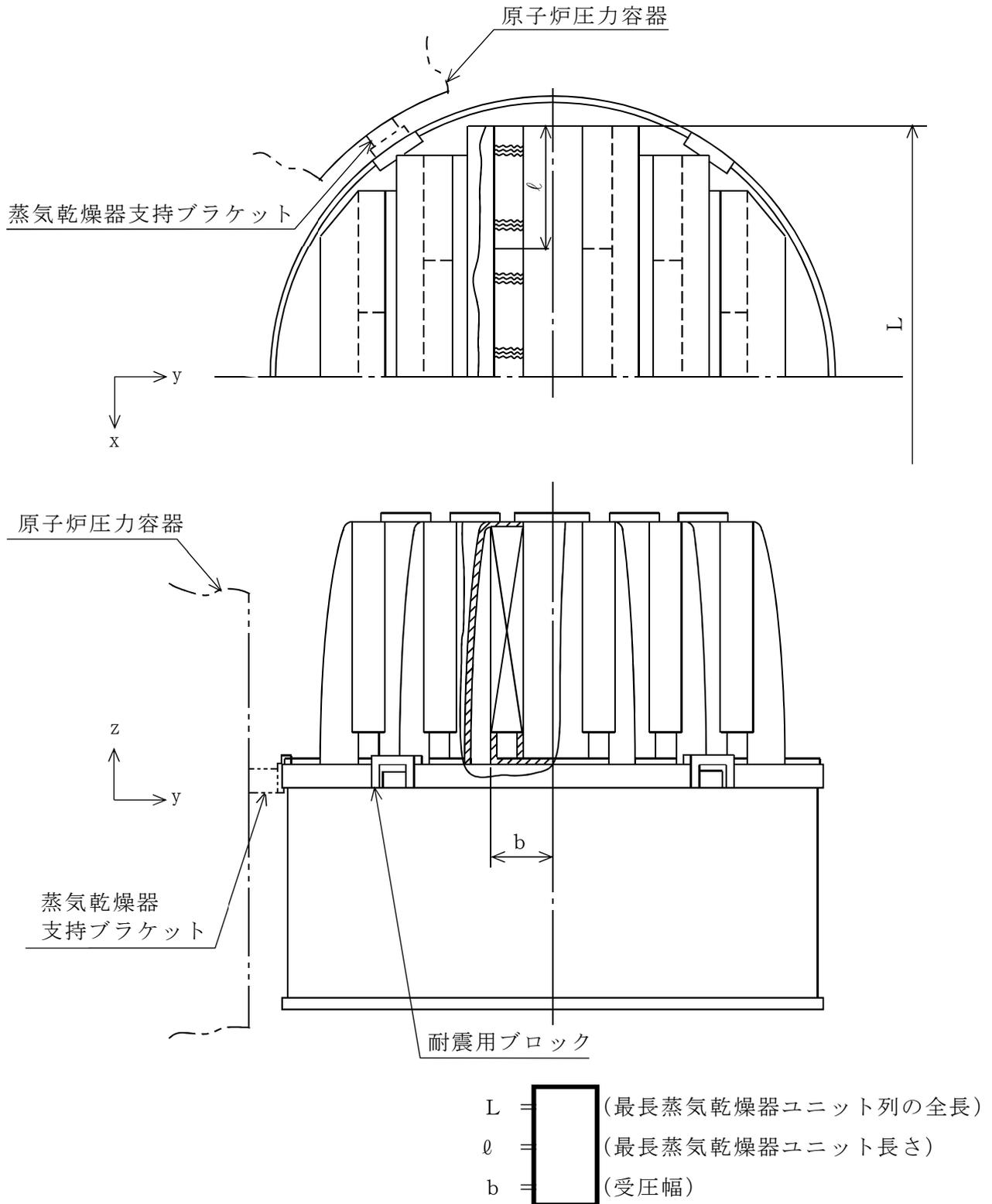


図 2-1(1) 形状・寸法・材料・応力評価点 (蒸気乾燥器) (単位: mm)

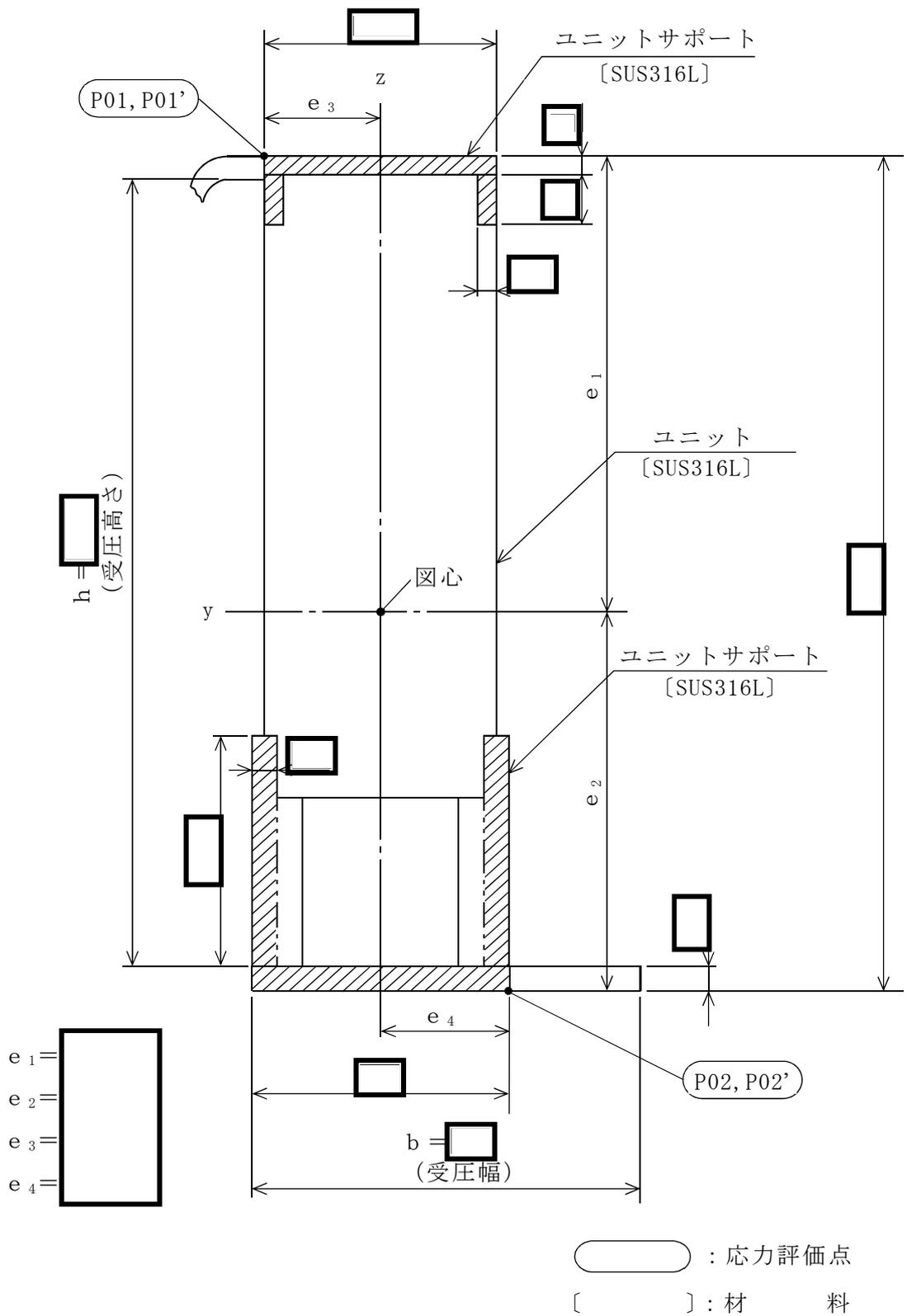
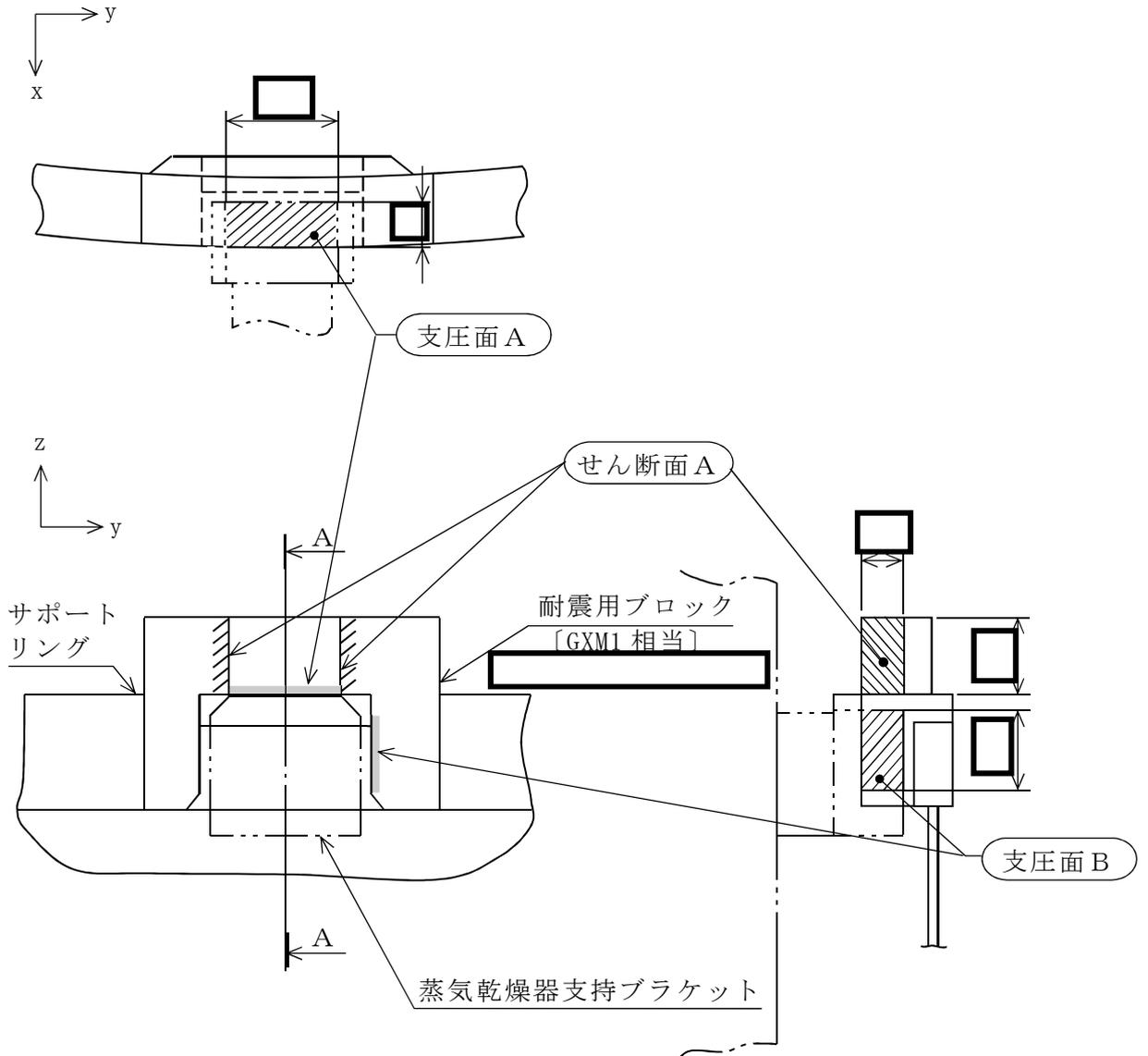


図 2-1(2) 形状・寸法・材料・応力評価点

(ユニット及びユニットサポート) (単位: mm)



A～A断面図

○ : 応力評価面
 [] : 材 料

図 2-1(3) 形状・寸法・材料・応力評価点 (耐震用ブロック) (単位: mm)

表 2-1(1) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価点
ユニット サポート SUS316L	Ⅲ A S	3	142	P01-P02	11	213	P01'
	Ⅳ A S	4	228	P01-P02	18	342	P01'

表 2-1(2) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	許容応力状態	純せん断応力	
		平均せん断応力	許容応力
耐震用ブロック せん断面A GXM1相当	Ⅲ A S	21	181
	Ⅳ A S	30	242

表 2-1(3) 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	許容応力状態	支圧応力	
		平均支圧応力	許容応力
耐震用ブロック 支圧面A GXM1相当	Ⅲ A S	14	390
	Ⅳ A S	19	520
耐震用ブロック 支圧面B GXM1相当	Ⅲ A S	26	390
	Ⅳ A S	51	520

2.2 計算条件

2.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1節に示す。

2.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2節に示す。

2.2.3 材料

各部の材料を図2-1に示す。

2.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」の3.3節に示す。

2.2.5 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の4.3節に示す。

2.2.6 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.4節に示す。

2.3 応力計算

2.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 2-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)g. に定めるとおりである。

2.3.2 差圧による応力

(1) 荷重条件 (L02)

各運転状態による差圧は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)g. に定めるとおりである。

(2) 計算方法

差圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)g. に定めるとおりである。

なお、水平方向荷重による応力は等分布荷重を受ける両端固定ばりに、鉛直方向荷重による応力は等分布荷重を受ける両端支持ばりにモデル化し、各荷重と応力評価断面の断面性状により計算する。

2.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

外荷重を「応力解析の方針」の表 4-1(1)に示す。

(2) 計算方法

外荷重による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)g. に定めるとおりである。

なお、水平方向荷重による応力は等分布荷重を受ける両端固定ばりに、鉛直方向荷重による応力は等分布荷重を受ける両端支持ばりにモデル化し、各荷重と応力評価断面の断面性状により計算する。

2.3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の 5.1.2 項に定めるとおりである。

2.4 応力強さの評価

2.4.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 2-2 に示す。

表 2-2 より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の 3.4 節に示す許容応力を満足する。

2.4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 2-3 に示す。

表 2-3 より、各許容応力状態の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の 3.4 節に示す許容応力を満足する。

2.5 特別な応力の評価

2.5.1 純せん断応力の評価

(1) 計算方法

純せん断応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)g.に定めるとおりである。

なお、鉛直力による純せん断応力は、鉛直力と応力評価断面の断面性状により計算する。

(2) 純せん断応力の評価

各許容応力状態における評価を表2-4に示す。

表2-4より、各許容応力状態の平均せん断応力は、「応力解析の方針」の3.4節に示す許容応力を満足する。

2.5.2 支圧応力の評価

(1) 計算方法

支圧応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)g.に定めるとおりである。

なお、鉛直力及び水平力による支圧応力は、鉛直力及び水平力と各応力評価面の断面性状により計算する。

(2) 支圧応力の評価

各許容応力状態における評価を表2-5に示す。

表2-5より、各許容応力状態の平均支圧応力は、「応力解析の方針」の3.4節に示す許容応力を満足する。

表 2-2 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	3	142	4	228
P01' P02'	2	142	1	228

表 2-3 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価点	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01	4	213	10	342
P01'	11	213	18	342
P02	4	213	7	342
P02'	3	213	6	342

表 2-4 純せん断応力の評価

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態	平均せん断応力	許容応力
せん断面 A	Ⅲ A S	21	181
	Ⅳ A S	30	242

表 2-5 支圧応力の評価

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態	平均支圧応力	許容応力
支圧面 A	Ⅲ A S	14	390
	Ⅳ A S	19	520
支圧面 B	Ⅲ A S	26	390
	Ⅳ A S	51	520

3. 気水分離器及びスタンドパイプの応力計算

3.1 一般事項

本章は、気水分離器及びスタンドパイプの応力計算について示すものである。

気水分離器及びスタンドパイプは、設計基準対象施設においてSクラス施設に分類される。

以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

3.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所形状・寸法・材料を図3-1に示す。

3.1.2 解析範囲

解析範囲を図3-1に示す。

3.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表3-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。

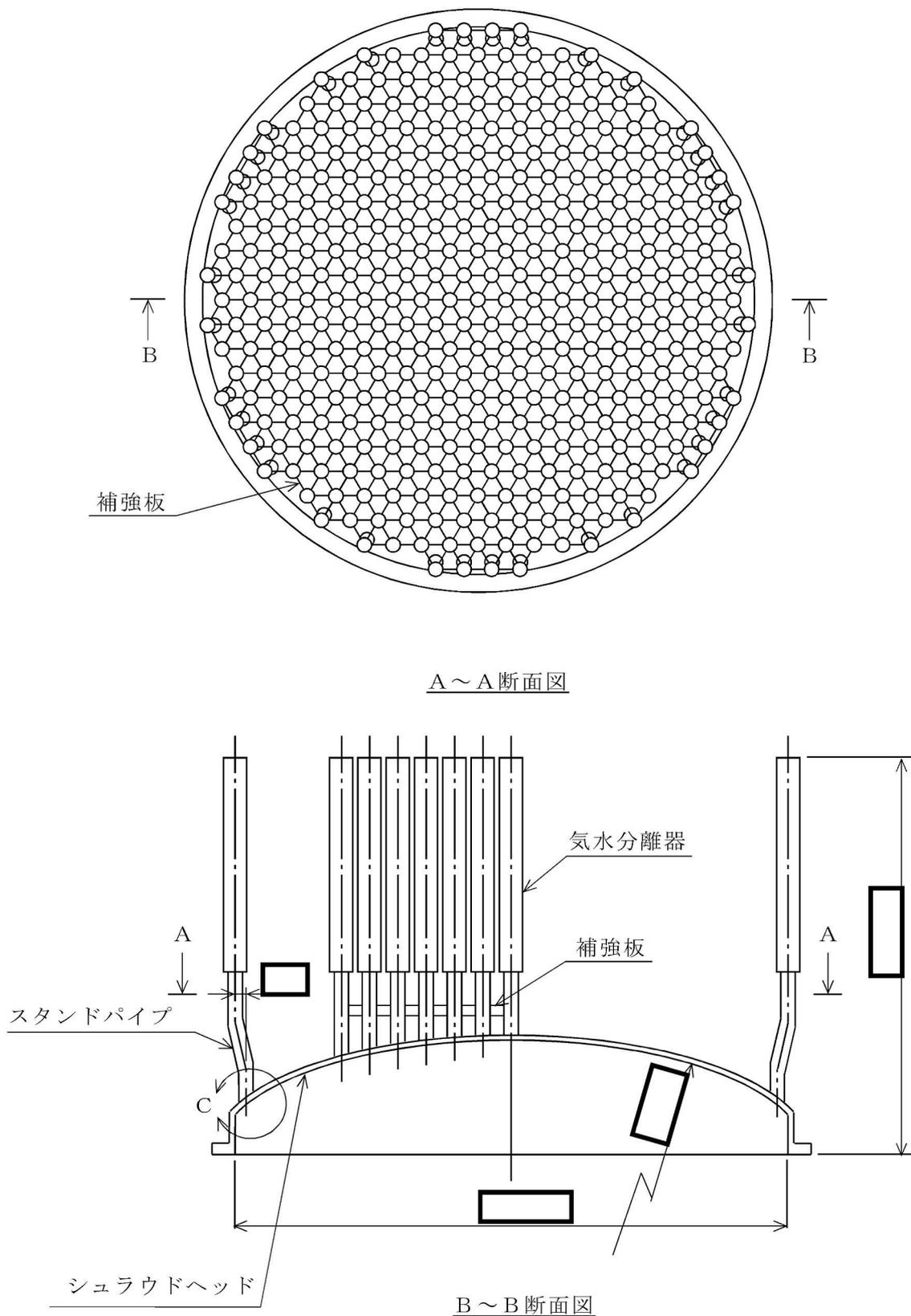
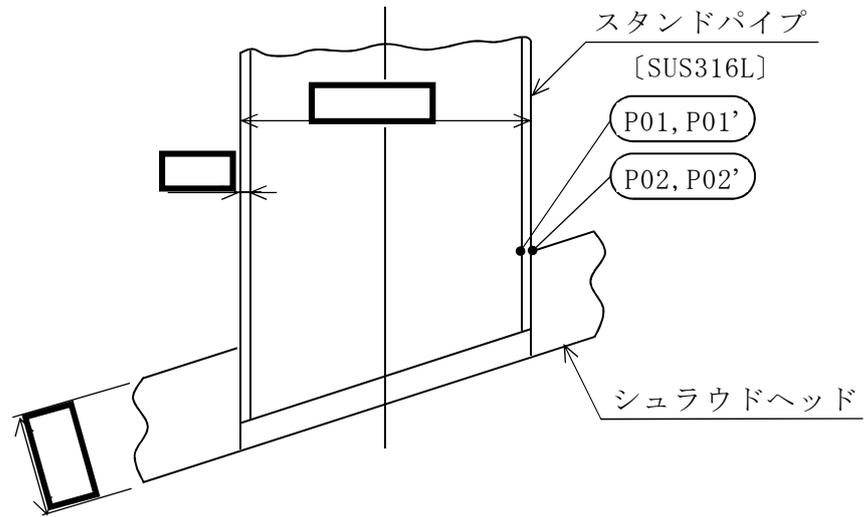


図 3-1(1) 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)



C部詳細図

○ : 応力評価点
[] : 材 料

図 3-1(2) 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 3-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
スタンド パイプ SUS316L	Ⅲ A S	4	85*	P01'-P02'	75	128*	P01'-P02'
	Ⅳ A S	5	136*	P01'-P02'	99	205*	P01'-P02'

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

3.2 計算条件

3.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1節に示す。

3.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2節に示す。

3.2.3 材料

材料を図3-1に示す。

3.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」の3.3節に示す。

3.2.5 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の4.3節に示す。

3.2.6 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.4節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の3.6節に示す。

3.3 応力計算

3.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 3-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)i.に定めるとおりである。

3.3.2 差圧による応力

(1) 荷重条件 (L02)

各運転状態による差圧は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)i.に定めるとおりである。

(2) 計算方法

差圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)i.に定めるとおりである。

なお、差圧による応力は、内圧を受ける円筒にモデル化し、差圧と応力評価断面の断面性状により計算する。

3.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

外荷重を「応力解析の方針」の表 4-1(2)に示す。

(2) 計算方法

外荷重による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)i.に定めるとおりである。

なお、外荷重による応力は、外荷重と応力評価断面の断面性状により計算する。

3.3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の 5.1.2 項に定めるとおりである。

3.4 応力強さの評価

3.4.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 3-2 に示す。

表 3-2 より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

3.4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 3-3 に示す。

表 3-3 より、各許容応力状態の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

表 3-2 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	4	85*	4	136*
P01' P02'	4	85*	5	136*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 3-3 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	73	128*	97	205*
P01' P02'	75	128*	99	205*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

4. シュラウドヘッドの応力計算

4.1 一般事項

本章は、シュラウドヘッドの応力計算について示すものである。

シュラウドヘッドは、設計基準対象施設においてSクラス施設に分類される。

以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

4.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所の形状・寸法・材料を図4-1に示す。

4.1.2 解析範囲

解析範囲を図4-1に示す。

4.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表4-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。

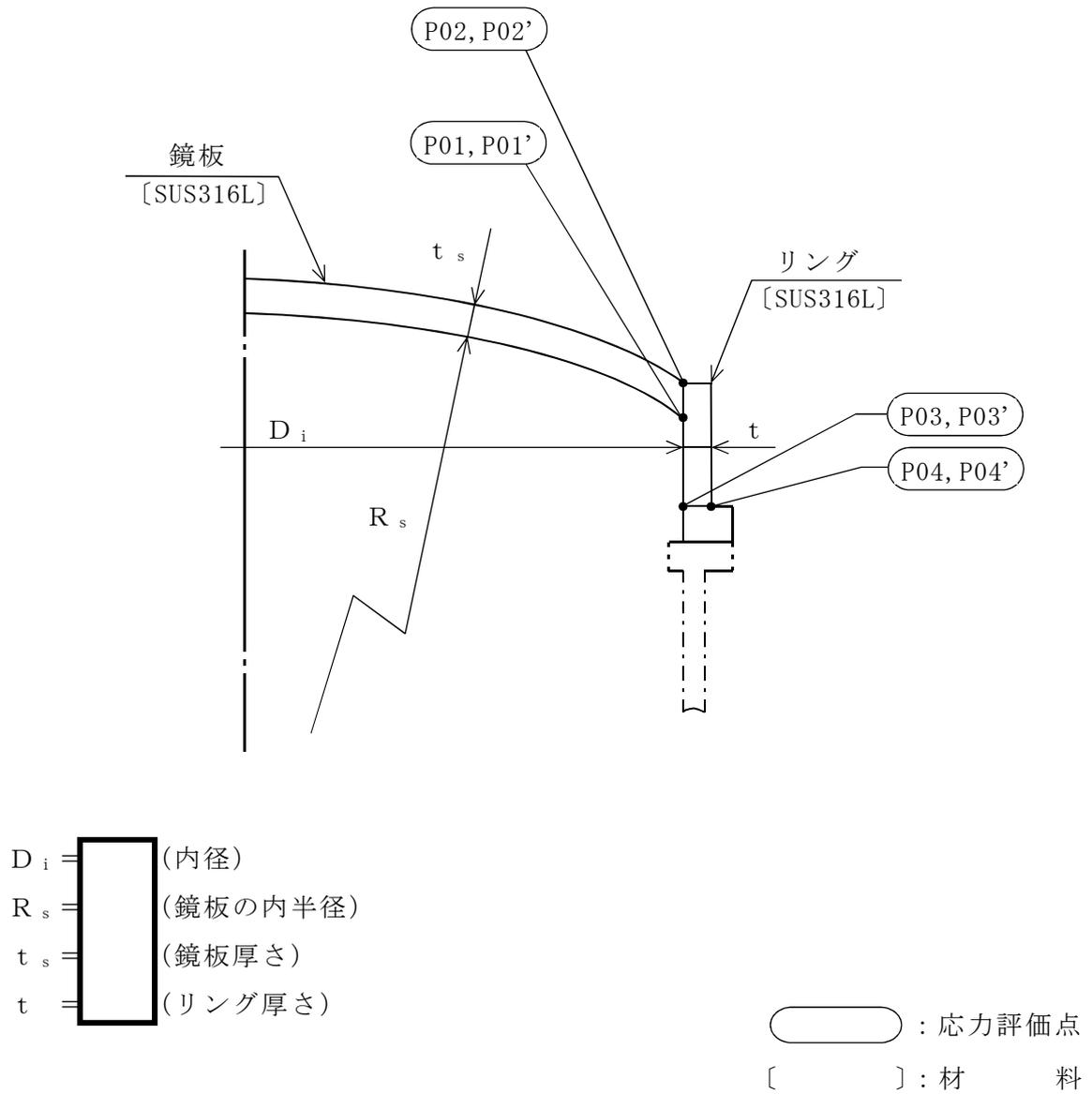


図 4-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 4-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
鏡板 SUS316L	Ⅲ A S	7	92*	P01'-P02'	109	139*	P01-P02
	Ⅳ A S	8	148*	P01'-P02'	133	222*	P01-P02
リング SUS316L	Ⅲ A S	9	92*	P03'-P04'	9	139*	P03'-P04'
	Ⅳ A S	11	148*	P03'-P04'	11	222*	P03'-P04'

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

4.2 計算条件

4.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1節に示す。

4.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2節に示す。

4.2.3 材料

各部の材料を図4-1に示す。

4.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」の3.3節に示す。

4.2.5 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の4.3節に示す。

4.2.6 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.4節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の3.6節に示す。

4.3 応力計算

4.3.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 4-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)h.に定めるとおりである。

4.3.2 差圧による応力

(1) 荷重条件 (L02)

各運転状態による差圧は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)h.に定めるとおりである。

(2) 計算方法

差圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)h.に定めるとおりである。

なお、差圧による応力は、鏡板は薄肉球殻に、リングは内圧を受ける円筒にモデル化し、差圧と各応力評価断面の断面性状により計算する。

4.3.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

外荷重を「応力解析の方針」の表 4-1(3)に示す。

(2) 計算方法

外荷重による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)h.に定めるとおりである。

なお、外荷重による応力は、外荷重と各応力評価断面の断面性状により計算する。鏡板の一次一般膜＋一次曲げ応力については、鏡板を外周部が固定され、中央部にモーメントが作用する円板にモデル化することで計算する。

4.3.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の 5.1.2 項に定めるとおりである。

4.4 応力強さの評価

4.4.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 4-2 に示す。

表 4-2 より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

4.4.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 4-3 に示す。

表 4-3 より、各許容応力状態の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

表 4-2 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態ⅢA S		許容応力状態ⅣA S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	5	92*	6	148*
P01' P02'	7	92*	8	148*
P03 P04	7	92*	8	148*
P03' P04'	9	92*	11	148*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 4-3 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態ⅢA S		許容応力状態ⅣA S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	109	139*	133	222*
P01' P02'	105	139*	129	222*
P03 P04	7	139*	8	222*
P03' P04'	9	139*	11	222*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

5. 中性子束計測案内管の応力計算

5.1 一般事項

本章は、中性子束計測案内管の応力計算について示すものである。

中性子束計測案内管は、設計基準対象施設においてSクラス施設に分類される。

以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

5.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所の形状・寸法・材料を図5-1に示す。

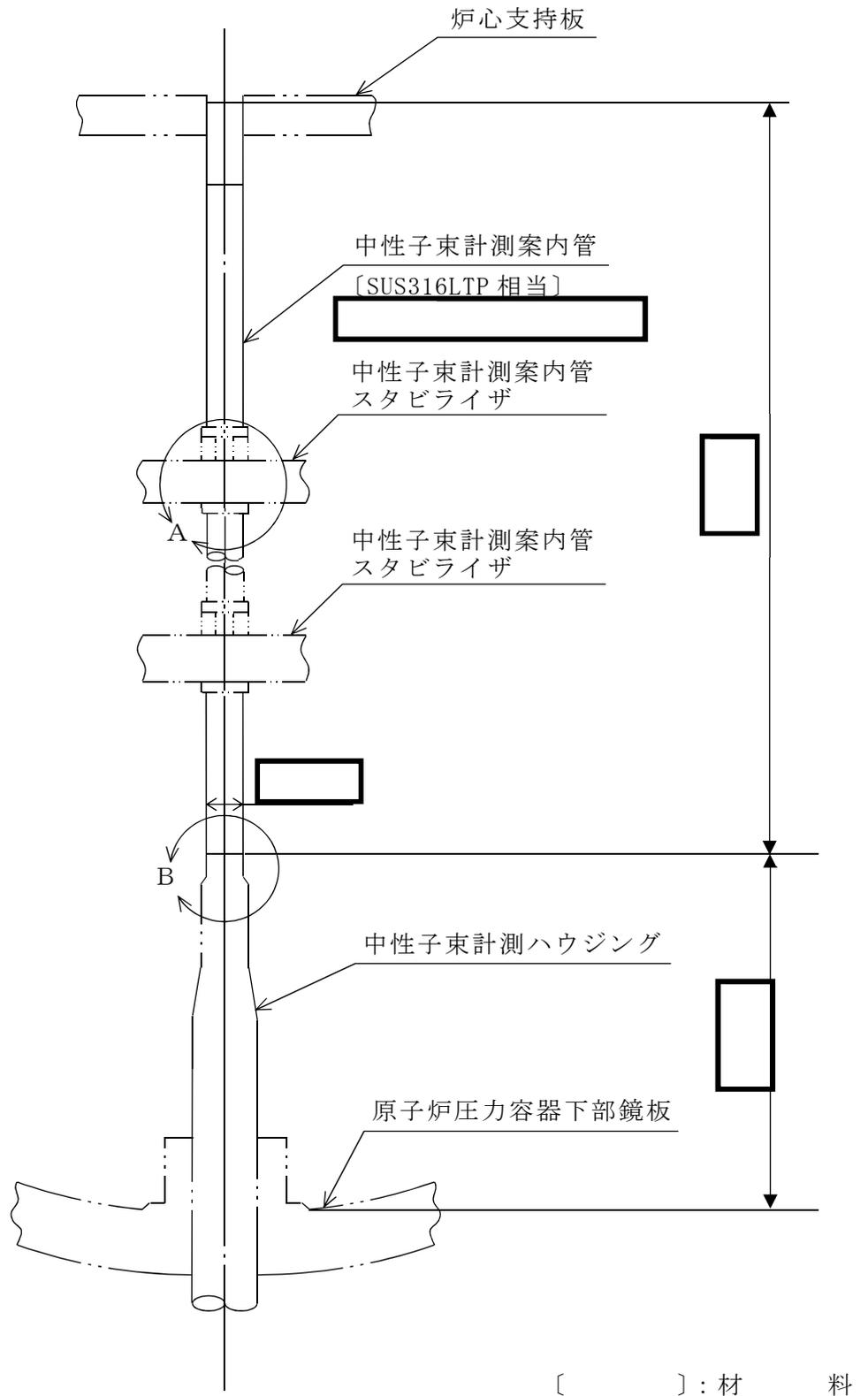
5.1.2 解析範囲

解析範囲を図5-1に示す。

5.1.3 計算結果の概要

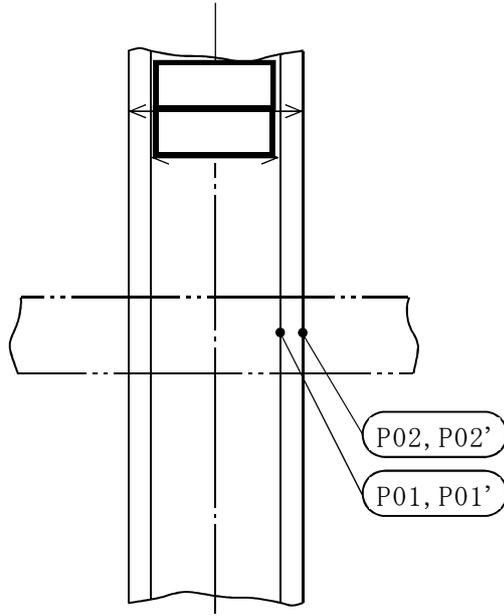
計算結果の概要を表5-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。

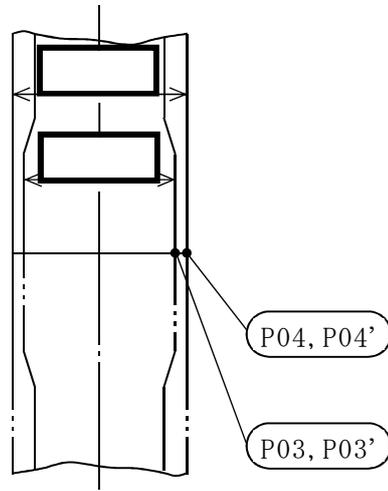


注記：固有周期が最も長くなる中央部の中性子束計測ハウジング長さを示す。

図 5-1(1) 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位：mm)



A部詳細図



B部詳細図

○ : 応力評価点

図 5-1(2) 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 5-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
中性子束 計測案内管 SUS316LTP 相当 <input type="text"/>	Ⅲ A S	2	142	P01-P02	9	213	P01-P02
	Ⅳ A S	2	228	P01-P02	17	342	P01-P02
	Ⅲ A S	2	92*	P03-P04	10	139*	P03-P04
	Ⅳ A S	2	148*	P03-P04	18	222*	P03-P04

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

5.2 計算条件

5.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1節に示す。

5.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2節に示す。

5.2.3 材料

材料を図5-1に示す。

5.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」の3.3節に示す。

5.2.5 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の4.3節に示す。

5.2.6 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.4節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の3.6節に示す。

5.3 外荷重の条件

5.3.1 計算方法

固有周期及び地震荷重は、「5.3.2 解析モデル」に示す解析モデルにより求める。

5.3.2 解析モデル

解析モデルは、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)e.に定めるとおりである。

「応力解析の方針」の参照図書(1)e.に定める解析モデルを図5-2に示す。

5.3.3 設計震度

設計震度を下表に示す。

	設計震度	
	水平方向	鉛直方向
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	0.73	0.73
基準地震動 S_s	1.45	1.46

5.3.4 計算結果

(1) 固有周期

固有周期を下表に示す。

固有周期は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)e.に示すとおり 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

モード	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
		X 方向	Y 方向	
1 次		—	—	—

(2) 死荷重及び地震荷重

解析により求めた死荷重及び地震荷重を「応力解析の方針」の表4-1(8)に示す。

5.4 応力計算

5.4.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 5-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)n.に定めるとおりである。

5.4.2 差圧による応力

(1) 荷重条件 (L02)

各運転状態による差圧は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)n.に定めるとおりである。

(2) 計算方法

差圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)n.に定めるとおりである。

なお、差圧による応力は、内圧を受ける円筒にモデル化し計算する。

5.4.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

外荷重を「応力解析の方針」の表 4-1(8)に示す。

(2) 計算方法

外荷重による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)n.に定めるとおりである。

なお、外荷重による各応力は、外荷重と各応力評価断面の断面性状により計算する。

5.4.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の 5.1.2 項に定めるとおりである。

5.5 応力強さの評価

5.5.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 5-2 に示す。

表 5-2 より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

5.5.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 5-3 に示す。

表 5-3 より、各許容応力状態の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

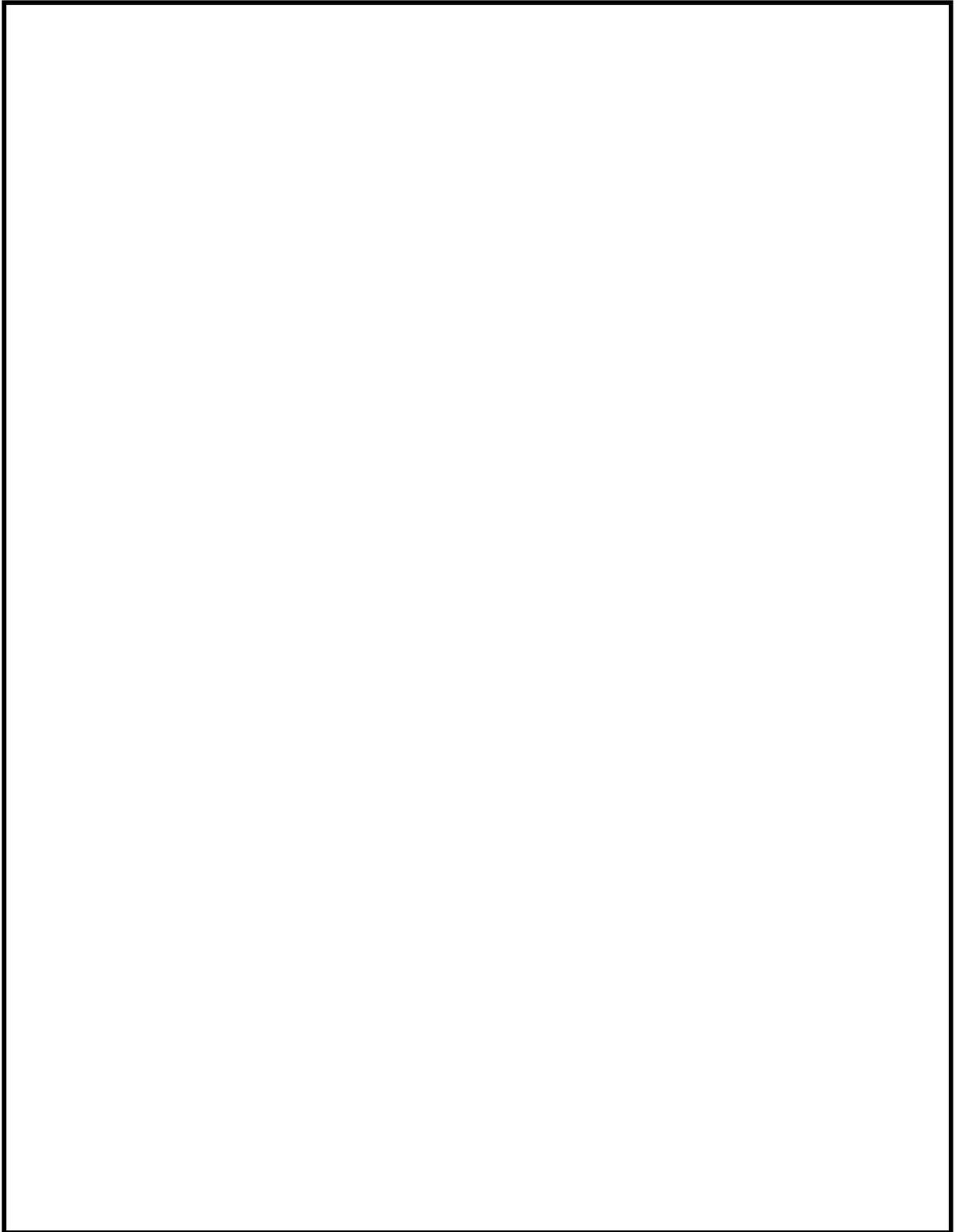


図 5-2 解析モデル

表 5-2 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	2	142	2	228
P01' P02'	1	142	2	228
P03 P04	2	92*	2	148*
P03' P04'	1	92*	2	148*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

表 5-3 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	9	213	17	342
P01' P02'	8	213	16	342
P03 P04	10	139*	18	222*
P03' P04'	9	139*	17	222*

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

VI-2-3-3-3-3 原子炉压力容器内部構造物の応力計算書

目 次（全体目次）

1. 概要	1-1
2. 給水スパー ज्याの応力計算	2-1
3. 高圧炉心注水スパー ज्याの応力計算	3-1
4. 低圧注水スパー ज्याの応力計算	4-1
5. 高圧炉心注水系配管（原子炉圧力容器内部）の応力計算	5-1

目 次
(給水スパージャ)

2. 給水スパージャの応力計算	2-1
2.1 一般事項	2-1
2.1.1 形状・寸法・材料	2-1
2.1.2 解析範囲	2-1
2.1.3 計算結果の概要	2-1
2.2 計算条件	2-4
2.2.1 設計条件	2-4
2.2.2 運転条件	2-4
2.2.3 材料	2-4
2.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態	2-4
2.2.5 荷重の組合せ及び応力評価	2-4
2.2.6 許容応力	2-4
2.3 外荷重の条件	2-5
2.3.1 計算方法	2-5
2.3.2 解析モデル	2-5
2.3.3 設計震度	2-5
2.3.4 計算結果	2-5
2.4 応力計算	2-6
2.4.1 応力評価点	2-6
2.4.2 差圧による応力	2-6
2.4.3 外荷重による応力	2-6
2.4.4 応力の評価	2-6
2.5 応力強さの評価	2-7
2.5.1 一次一般膜応力強さの評価	2-7
2.5.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	2-7

図 表 目 次
(給水スパー ज्या)

図 2-1	形状・寸法・材料・応力評価点	2-2
図 2-2	解析モデル	2-8
表 2-1	計算結果の概要	2-3
表 2-2	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	2-9
表 2-3	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	2-10

目 次
(高圧炉心注水スパー ज्या)

3. 高圧炉心注水スパー ज्याの応力計算	3-1
3.1 一般事項	3-1
3.1.1 形状・寸法・材料	3-1
3.1.2 解析範囲	3-1
3.1.3 計算結果の概要	3-1
3.2 計算条件	3-4
3.2.1 設計条件	3-4
3.2.2 運転条件	3-4
3.2.3 材料	3-4
3.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態	3-4
3.2.5 荷重の組合せ及び応力評価	3-4
3.2.6 許容応力	3-4
3.3 外荷重の条件	3-5
3.3.1 計算方法	3-5
3.3.2 解析モデル	3-5
3.3.3 設計震度	3-5
3.3.4 計算結果	3-5
3.4 応力計算	3-6
3.4.1 応力評価点	3-6
3.4.2 差圧による応力	3-6
3.4.3 外荷重による応力	3-6
3.4.4 応力の評価	3-6
3.5 応力強さの評価	3-7
3.5.1 一次一般膜応力強さの評価	3-7
3.5.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	3-7

図 表 目 次
(高 圧 炉 心 注 水 ス パ ー ジ ャ)

図 3-1	形状・寸法・材料・応力評価点	3-2
図 3-2	解析モデル	3-8
表 3-1	計算結果の概要	3-3
表 3-2	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	3-9
表 3-3	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	3-10

目 次
(低圧注水スパー ज्या)

4. 低圧注水スパー ज्याの応力計算	4-1
4.1 一般事項	4-1
4.1.1 形状・寸法・材料	4-1
4.1.2 解析範囲	4-1
4.1.3 計算結果の概要	4-1
4.2 計算条件	4-4
4.2.1 設計条件	4-4
4.2.2 運転条件	4-4
4.2.3 材料	4-4
4.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態	4-4
4.2.5 荷重の組合せ及び応力評価	4-4
4.2.6 許容応力	4-4
4.3 外荷重の条件	4-5
4.3.1 計算方法	4-5
4.3.2 解析モデル	4-5
4.3.3 設計震度	4-5
4.3.4 計算結果	4-5
4.4 応力計算	4-6
4.4.1 応力評価点	4-6
4.4.2 差圧による応力	4-6
4.4.3 外荷重による応力	4-6
4.4.4 応力の評価	4-6
4.5 応力強さの評価	4-7
4.5.1 一次一般膜応力強さの評価	4-7
4.5.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価	4-7

図 表 目 次
(低圧注水スパー ज्या)

図 4-1	形状・寸法・材料・応力評価点	4-2
図 4-2	解析モデル	4-8
表 4-1	計算結果の概要	4-3
表 4-2	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	4-9
表 4-3	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	4-10

目 次
(高圧炉心注水系配管 (原子炉压力容器内部))

5.	高圧炉心注水系配管 (原子炉压力容器内部) の応力計算	5-1
5.1	一般事項	5-1
5.1.1	形状・寸法・材料	5-1
5.1.2	解析範囲	5-1
5.1.3	計算結果の概要	5-1
5.2	計算条件	5-4
5.2.1	設計条件	5-4
5.2.2	運転条件	5-4
5.2.3	材料	5-4
5.2.4	荷重の組合せ及び許容応力状態	5-4
5.2.5	荷重の組合せ及び応力評価	5-4
5.2.6	許容応力	5-4
5.3	外荷重の条件	5-5
5.3.1	計算方法	5-5
5.3.2	解析モデル	5-5
5.3.3	設計震度	5-5
5.3.4	計算結果	5-5
5.4	応力計算	5-6
5.4.1	応力評価点	5-6
5.4.2	差圧による応力	5-6
5.4.3	外荷重による応力	5-6
5.4.4	応力の評価	5-6
5.5	応力強さの評価	5-7
5.5.1	一次一般膜応力強さの評価	5-7
5.5.2	一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価	5-7

図 表 目 次

(高圧炉心注水系配管 (原子炉压力容器内部))

図 5-1	形状・寸法・材料・応力評価点	5-2
図 5-2	解析モデル	5-8
表 5-1	計算結果の概要	5-3
表 5-2	一次一般膜応力強さの評価のまとめ	5-9
表 5-3	一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価のまとめ	5-10

1. 概要

本計算書は、原子炉圧力容器内部構造物の応力計算書である。

本計算書の各機器は、原子炉圧力容器内部構造物であるため、VI-2-3-3-3-1「原子炉圧力容器内部構造物の応力解析の方針」（以下「応力解析の方針」という。）に基づき評価する。

本計算書は、原子炉圧力容器内部構造物であって、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備に分類される下記の機器について、構造強度評価の結果を示すものである。

- ・ 給水スパージャ
- ・ 高圧炉心注水スパージャ
- ・ 低圧注水スパージャ
- ・ 高圧炉心注水系配管（原子炉圧力容器内部）

なお、原子炉圧力容器内部構造物であって、設計基準対象施設に分類される下記の機器については、VI-2-3-3-3-2(1)「原子炉圧力容器内部構造物の耐震計算結果」に構造強度評価の結果を示す。

- ・ 蒸気乾燥器
- ・ 気水分離器及びスタンドパイプ
- ・ シュラウドヘッド
- ・ 中性子束計測案内管

2. 給水スパー ज्याの応力計算

2.1 一般事項

本章は、給水スパー ज्याの応力計算について示すものである。

給水スパー ज्याは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所形状・寸法・材料を図2-1に示す。

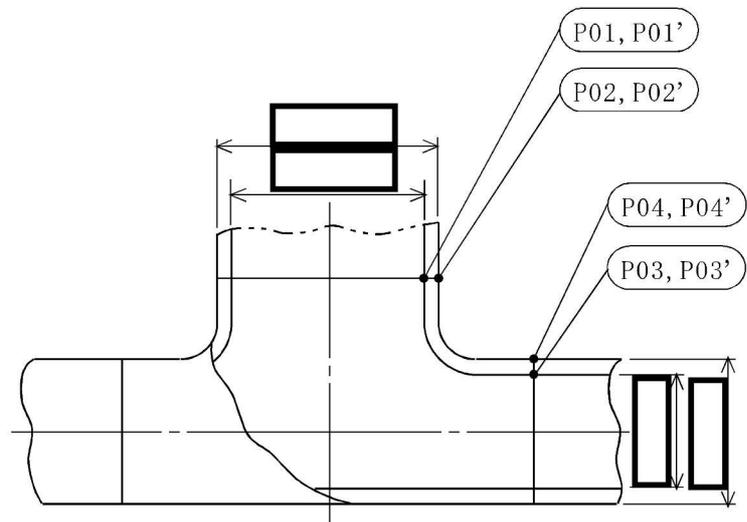
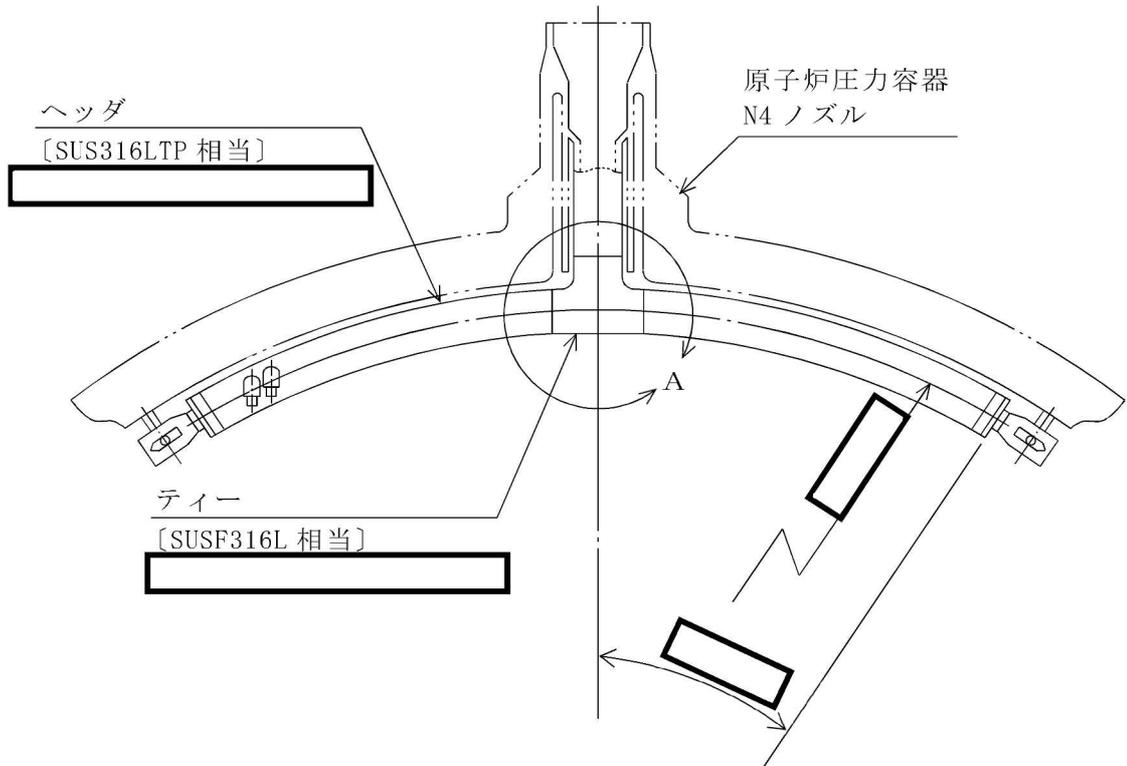
2.1.2 解析範囲

解析範囲を図2-1に示す。

2.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表2-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。



A部詳細図

○ : 応力評価点
 [] : 材 料

図 2-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 2-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
テーパー SUSF316L相当 <div style="border: 2px solid black; width: 100px; height: 20px; margin-top: 5px;"></div>	Ⅲ A S	6	142	P01-P02	9	213	P01-P02
	Ⅳ A S	7	228	P01-P02	12	342	P01-P02
	Ⅴ A S	7	225	P01-P02	12	338	P01-P02
ヘッダ SUS316LTP相当 <div style="border: 2px solid black; width: 100px; height: 20px; margin-top: 5px;"></div>	Ⅲ A S	6	142	P03-P04	23	213	P03-P04
	Ⅳ A S	6	228	P03-P04	27	342	P03-P04
	Ⅴ A S	6	225	P03-P04	27	338	P03-P04

2.2 計算条件

2.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1節に示す。

2.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2節に示す。

なお、重大事故等時の条件は以下のとおりである。

温度条件：運転状態Ⅲと同じ。

差圧条件：運転状態Ⅳと同じ。

2.2.3 材料

各部の材料を図2-1に示す。

2.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」の3.3節に示す。

2.2.5 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の4.3節に示す。

2.2.6 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.4節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の3.6節に示す。

2.3 外荷重の条件

2.3.1 計算方法

固有周期、死荷重及び地震荷重は、「2.3.2 解析モデル」に示す解析モデルにより求める。

2.3.2 解析モデル

解析モデルは、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)a.に定めるとおりである。

「応力解析の方針」の参照図書(1)a.に定める解析モデルを図 2-2 に示す。

2.3.3 設計震度

設計震度を下表に示す。

	設計震度	
	水平方向	鉛直方向
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	0.98	0.69
基準地震動 S_s	1.93	1.37

2.3.4 計算結果

(1) 固有周期

固有周期を下表に示す。

固有周期は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)a.に示すとおり 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

モード	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
		X 方向	Y 方向	
1 次		—	—	—

(2) 死荷重及び地震荷重

解析により求めた死荷重及び地震荷重を「応力解析の方針」の表 4-1(4)に示す。

2.4 応力計算

2.4.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 2-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)j. に定めるとおりである。

2.4.2 差圧による応力

(1) 荷重条件 (L02)

各運転状態による差圧は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)j. に定めるとおりである。

なお、重大事故等時の差圧は、「2.2.2 運転条件」による。

(2) 計算方法

差圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)j. に定めるとおりである。

なお、各許容応力状態での差圧による応力は、内圧を受ける円筒にモデル化し計算する。

2.4.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

外荷重を「応力解析の方針」の表 4-1(4)に示す。

(2) 計算方法

外荷重による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)j. に定めるとおりである。

なお、外荷重による各応力は、外荷重と各応力評価断面の断面性状により計算する。

2.4.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の 5.1.2 項に定めるとおりである。

2.5 応力強さの評価

2.5.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 2-2 に示す。

表 2-2 より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

2.5.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 2-3 に示す。

表 2-3 より、各許容応力状態の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

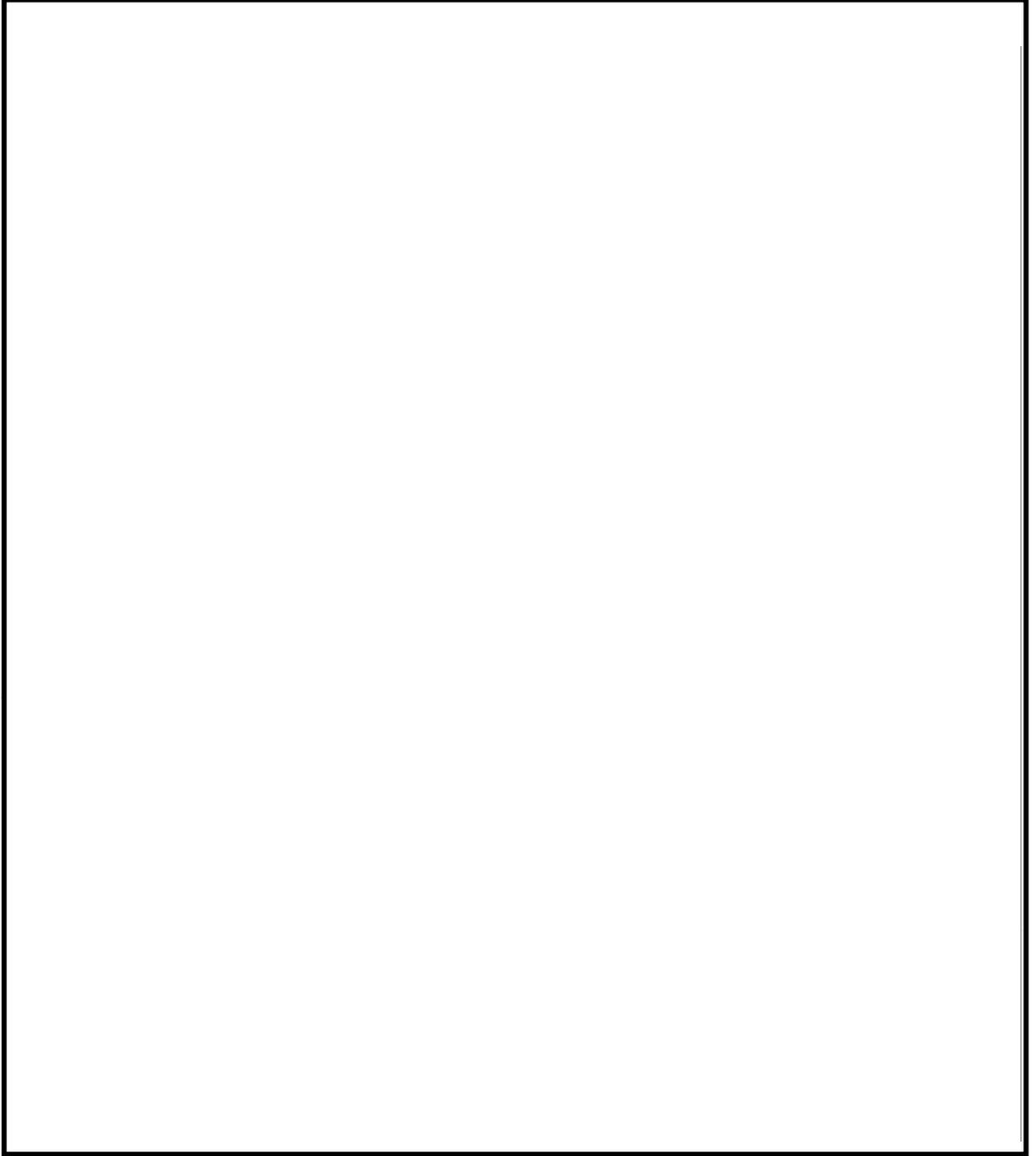


図 2-2 解析モデル

表 2-2 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S		許容応力状態Ⅴ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	6	142	7	228	7	225
P01' P02'	5	142	4	228	4	225
P03 P04	6	142	6	228	6	225
P03' P04'	5	142	4	228	4	225

表 2-3 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位：MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S		許容応力状態Ⅴ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	9	213	12	342	12	338
P01' P02'	8	213	12	342	12	338
P03 P04	23	213	27	342	27	338
P03' P04'	22	213	26	342	26	338

3. 高圧炉心注水スパーチャの応力計算

3.1 一般事項

本章は、高圧炉心注水スパーチャの応力計算について示すものである。

高圧炉心注水スパーチャは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

3.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所形状・寸法・材料を図3-1に示す。

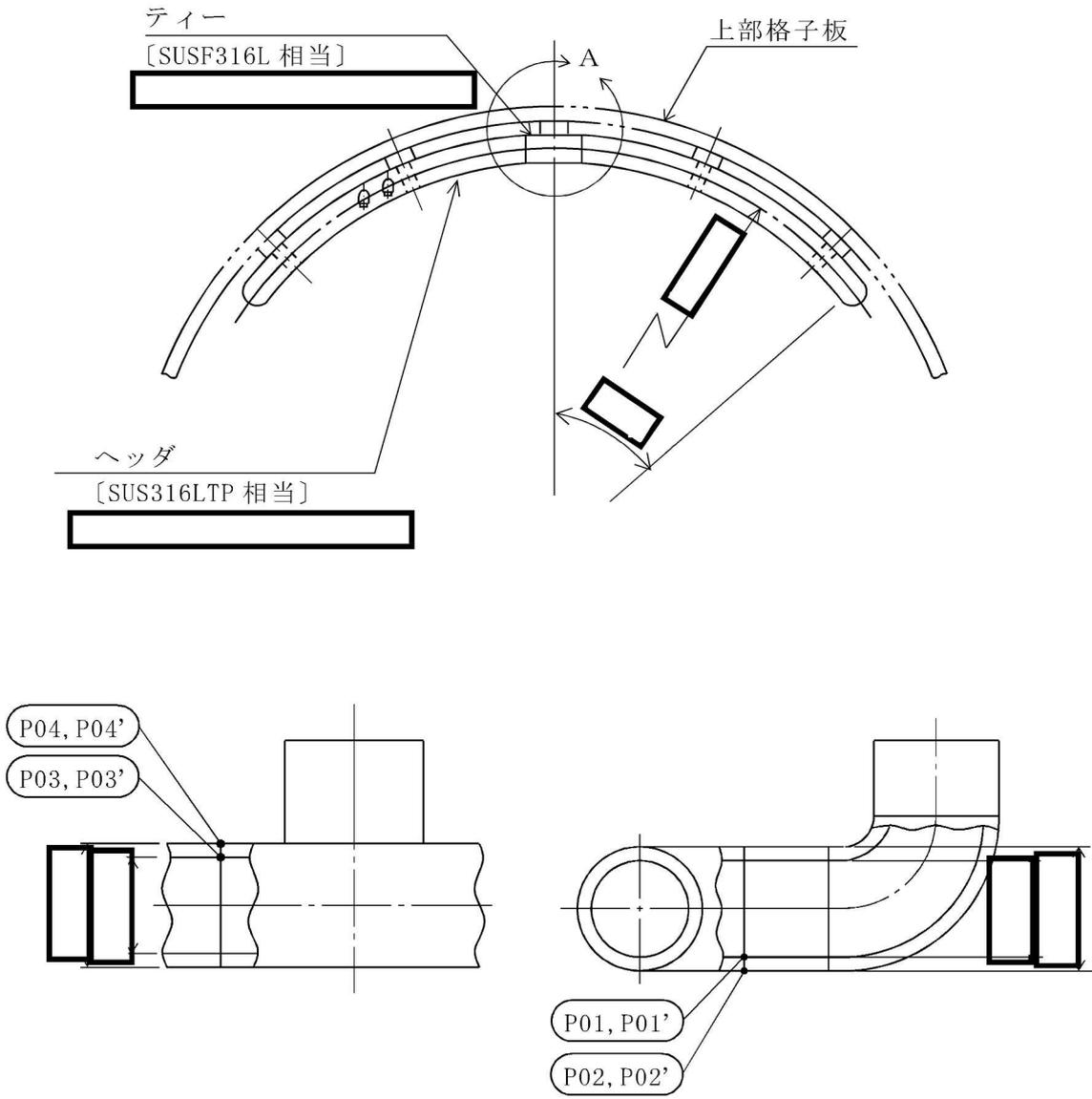
3.1.2 解析範囲

解析範囲を図3-1に示す。

3.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表3-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。



A部詳細図

○ : 応力評価点
 [] : 材 料

図 3-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 3-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
ティー SUSF316L相当 	Ⅲ A S	15	142	P01-P02	22	213	P01'-P02'
	Ⅳ A S	25	228	P01-P02	38	342	P01'-P02'
	Ⅴ A S	25	225	P01-P02	41	338	P01'-P02'
ヘッダ SUS316LTP相当 	Ⅲ A S	4	142	P03-P04	36	213	P03'-P04'
	Ⅳ A S	6	228	P03-P04	41	342	P03'-P04'
	Ⅴ A S	9	225	P03-P04	45	338	P03'-P04'

3.2 計算条件

3.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1節に示す。

3.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2節に示す。

なお、重大事故等時の条件は以下のとおりである。

温度条件：運転状態Ⅲと同じ。

差圧条件：運転状態Ⅳと同じ。

3.2.3 材料

各部の材料を図3-1に示す。

3.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」の3.3節に示す。

3.2.5 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の4.3節に示す。

3.2.6 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.4節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の3.6節に示す。

3.3 外荷重の条件

3.3.1 計算方法

固有周期，死荷重及び地震荷重は，「3.3.2 解析モデル」に示す解析モデルにより求める。

3.3.2 解析モデル

解析モデルは，既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)b.に定めるとおりである。

「応力解析の方針」の参照図書(1)b.に定める解析モデルを図3-2に示す。

3.3.3 設計震度

設計震度を下表に示す。

	設計震度	
	水平方向	鉛直方向
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	0.74	0.73
基準地震動 S_s	1.68	1.44

3.3.4 計算結果

(1) 固有周期

固有周期を下表に示す。

固有周期は，既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)b.に示すとおり 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

モード	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
		X 方向	Y 方向	
1 次		—	—	—

(2) 死荷重及び地震荷重

解析により求めた死荷重及び地震荷重を「応力解析の方針」の表 4-1(5)に示す。

3.4 応力計算

3.4.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 3-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)k. に定めるとおりである。

3.4.2 差圧による応力

(1) 荷重条件 (L02)

各運転状態による差圧は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)k. に定めるとおりである。

なお、重大事故等時の差圧は、「3.2.2 運転条件」による。

(2) 計算方法

差圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)k. に定めるとおりである。

なお、各許容応力状態での差圧による応力は、内圧を受ける円筒にモデル化し計算する。

3.4.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

外荷重を「応力解析の方針」の表 4-1(5)に示す。

(2) 計算方法

外荷重による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)k. に定めるとおりである。

なお、外荷重による各応力は、外荷重と各応力評価断面の断面性状により計算する。

3.4.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の 5.1.2 項に定めるとおりである。

3.5 応力強さの評価

3.5.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 3-2 に示す。

表 3-2 より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

3.5.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 3-3 に示す。

表 3-3 より、各許容応力状態の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

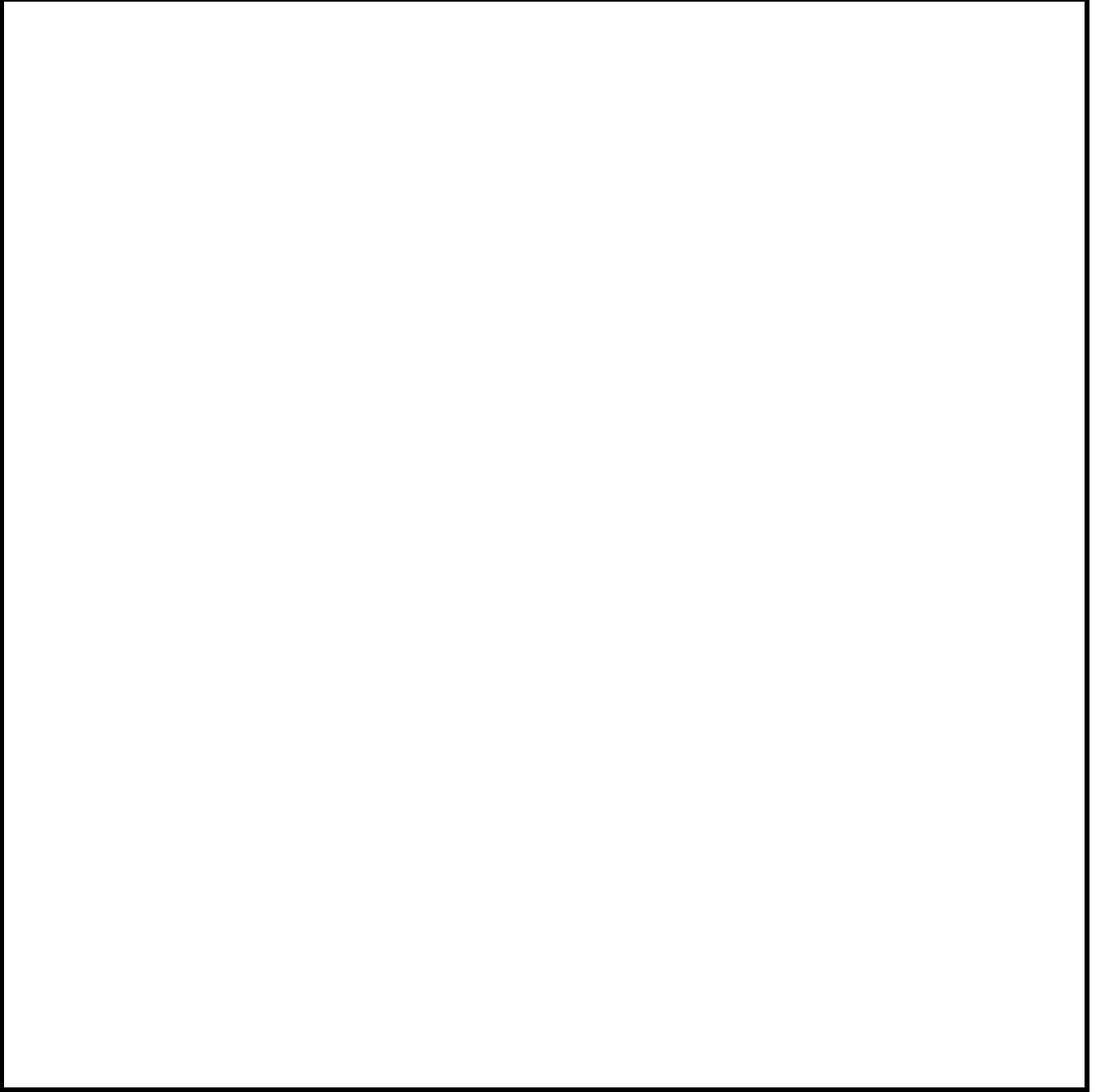


図 3-2 解析モデル

表 3-2 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位 : MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S		許容応力状態Ⅴ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	15	142	25	228	25	225
P01' P02'	7	142	17	228	17	225
P03 P04	4	142	6	228	9	225
P03' P04'	1	142	2	228	7	225

表 3-3 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位 : MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S		許容応力状態Ⅴ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	22	213	38	342	39	338
P01' P02'	22	213	38	342	41	338
P03 P04	36	213	41	342	44	338
P03' P04'	36	213	41	342	45	338

4. 低圧注水スパー ज्याの応力計算

4.1 一般事項

本章は、低圧注水スパー ज्याの応力計算について示すものである。

低圧注水スパー ज्याは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

4.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所形状・寸法・材料を図4-1に示す。

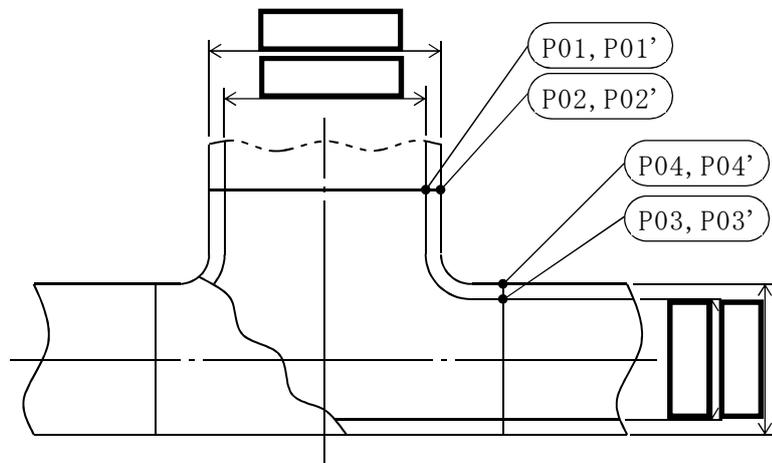
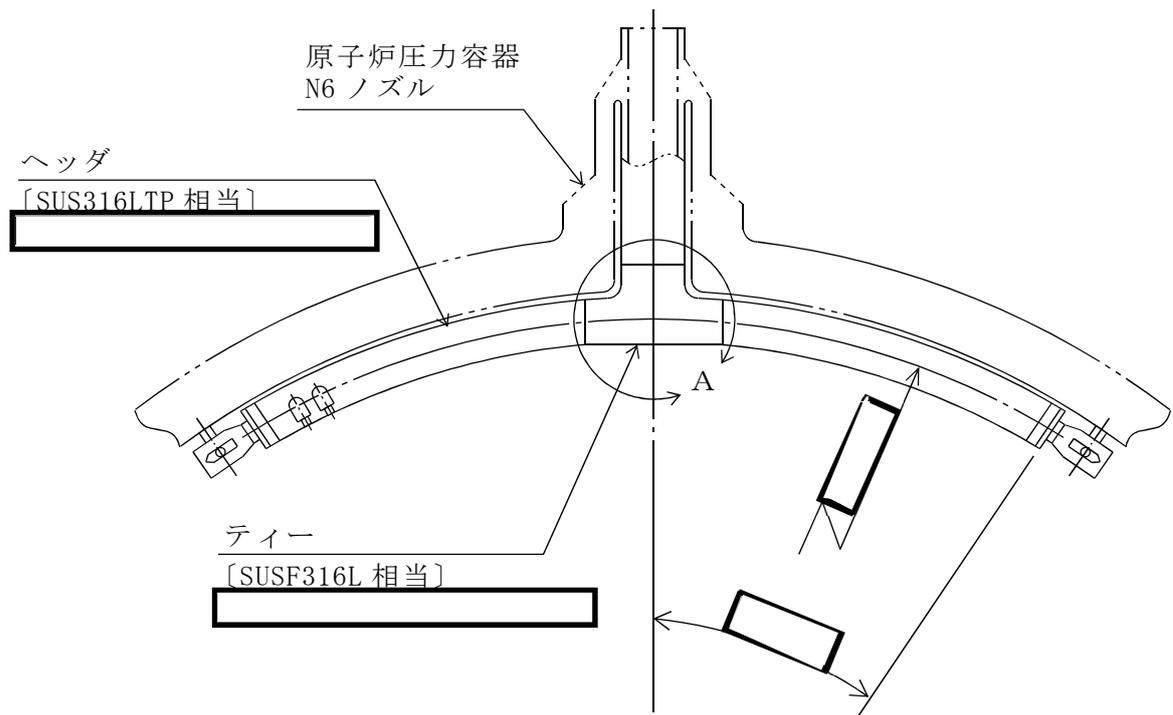
4.1.2 解析範囲

解析範囲を図4-1に示す。

4.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表4-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。



A部詳細図

○ : 応力評価点
 [] : 材 料

図 4-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 4-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
テーパー SUSF316L相当 <div style="border: 2px solid black; width: 100px; height: 20px; margin-top: 5px;"></div>	Ⅲ A S	4	142	P01-P02	8	213	P01'-P02'
	Ⅳ A S	5	228	P01-P02	12	342	P01'-P02'
	Ⅴ A S	5	225	P01-P02	12	338	P01'-P02'
ヘッダ SUS316LTP相当 <div style="border: 2px solid black; width: 100px; height: 20px; margin-top: 5px;"></div>	Ⅲ A S	4	142	P03-P04	19	213	P03'-P04'
	Ⅳ A S	4	228	P03-P04	23	342	P03'-P04'
	Ⅴ A S	5	225	P03-P04	23	338	P03'-P04'

4.2 計算条件

4.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1節に示す。

4.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2節に示す。

なお、重大事故等時の条件は以下のとおりである。

温度条件：運転状態Ⅲと同じ。

差圧条件：運転状態Ⅳと同じ。

4.2.3 材料

各部の材料を図4-1に示す。

4.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」の3.3節に示す。

4.2.5 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の4.3節に示す。

4.2.6 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.4節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の3.6節に示す。

4.3 外荷重の条件

4.3.1 計算方法

固有周期，死荷重及び地震荷重は，「4.3.2 解析モデル」に示す解析モデルにより求める。

4.3.2 解析モデル

解析モデルは，既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)c.に定めるとおりである。

「応力解析の方針」の参照図書(1)c.に定める解析モデルを図4-2に示す。

4.3.3 設計震度

設計震度を下表に示す。

	設計震度	
	水平方向	鉛直方向
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	0.95	0.69
基準地震動 S_s	1.89	1.37

4.3.4 計算結果

(1) 固有周期

固有周期を下表に示す。

固有周期は，既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)c.に示すとおり 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

モード	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
		X方向	Y方向	
1次		—	—	—

(2) 死荷重及び地震荷重

解析により求めた死荷重及び地震荷重を「応力解析の方針」の表4-1(6)に示す。

4.4 応力計算

4.4.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 4-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)1.に定めるとおりである。

4.4.2 差圧による応力

(1) 荷重条件 (L02)

各運転状態による差圧は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)1.に定めるとおりである。

なお、重大事故等時の差圧は、「4.2.2 運転条件」による。

(2) 計算方法

差圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)1.に定めるとおりである。

なお、各許容応力状態での差圧による応力は、内圧を受ける円筒にモデル化し計算する。

4.4.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

外荷重を「応力解析の方針」の表 4-1(6)に示す。

(2) 計算方法

外荷重による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)1.に定めるとおりである。

なお、外荷重による各応力は、外荷重と各応力評価断面の断面性状により計算する。

4.4.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の 5.1.2 項に定めるとおりである。

4.5 応力強さの評価

4.5.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 4-2 に示す。

表 4-2 より，各許容応力状態の一次一般膜応力強さは，「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

4.5.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 4-3 に示す。

表 4-3 より，各許容応力状態の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは，「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

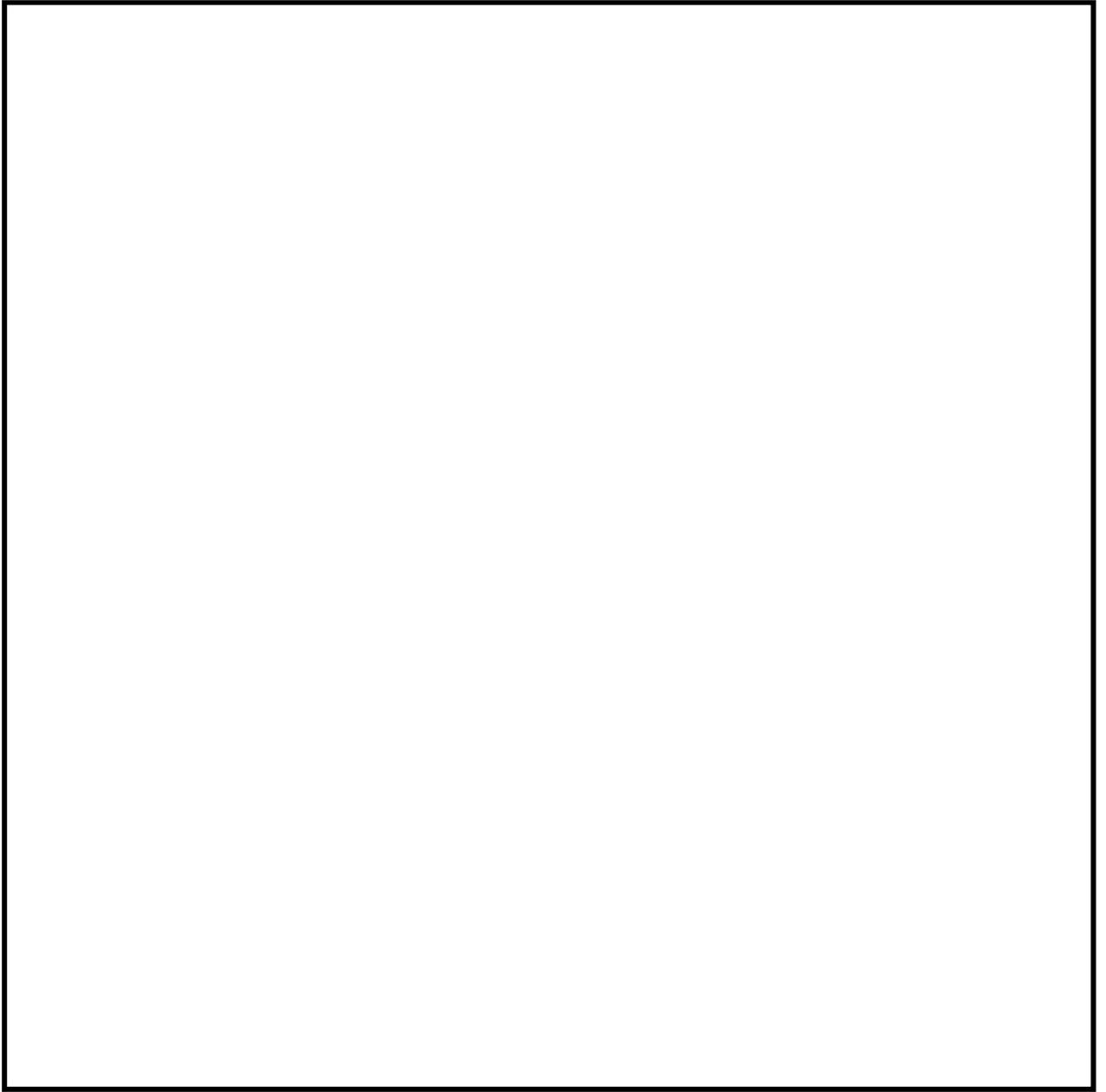


図 4-2 解析モデル

表 4-2 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位 : MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S		許容応力状態Ⅴ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	4	142	5	228	5	225
P01' P02'	2	142	2	228	2	225
P03 P04	4	142	4	228	5	225
P03' P04'	2	142	2	228	2	225

表 4-3 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位 : MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S		許容応力状態Ⅴ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	7	213	11	342	12	338
P01' P02'	8	213	12	342	12	338
P03 P04	19	213	23	342	23	338
P03' P04'	19	213	23	342	23	338

5. 高圧炉心注水系配管（原子炉圧力容器内部）の応力計算

5.1 一般事項

本章は、高圧炉心注水系配管（原子炉圧力容器内部）（以下「高圧炉心注水系配管」という。）の応力計算について示すものである。

高圧炉心注水系配管は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

5.1.1 形状・寸法・材料

本章で解析する箇所形状・寸法・材料を図5-1に示す。

5.1.2 解析範囲

解析範囲を図5-1に示す。

5.1.3 計算結果の概要

計算結果の概要を表5-1に示す。

なお、応力評価点の選定に当たっては、形状不連続部、溶接部及び厳しい荷重作用点に着目し、応力評価上厳しくなる代表的な評価点を記載する。

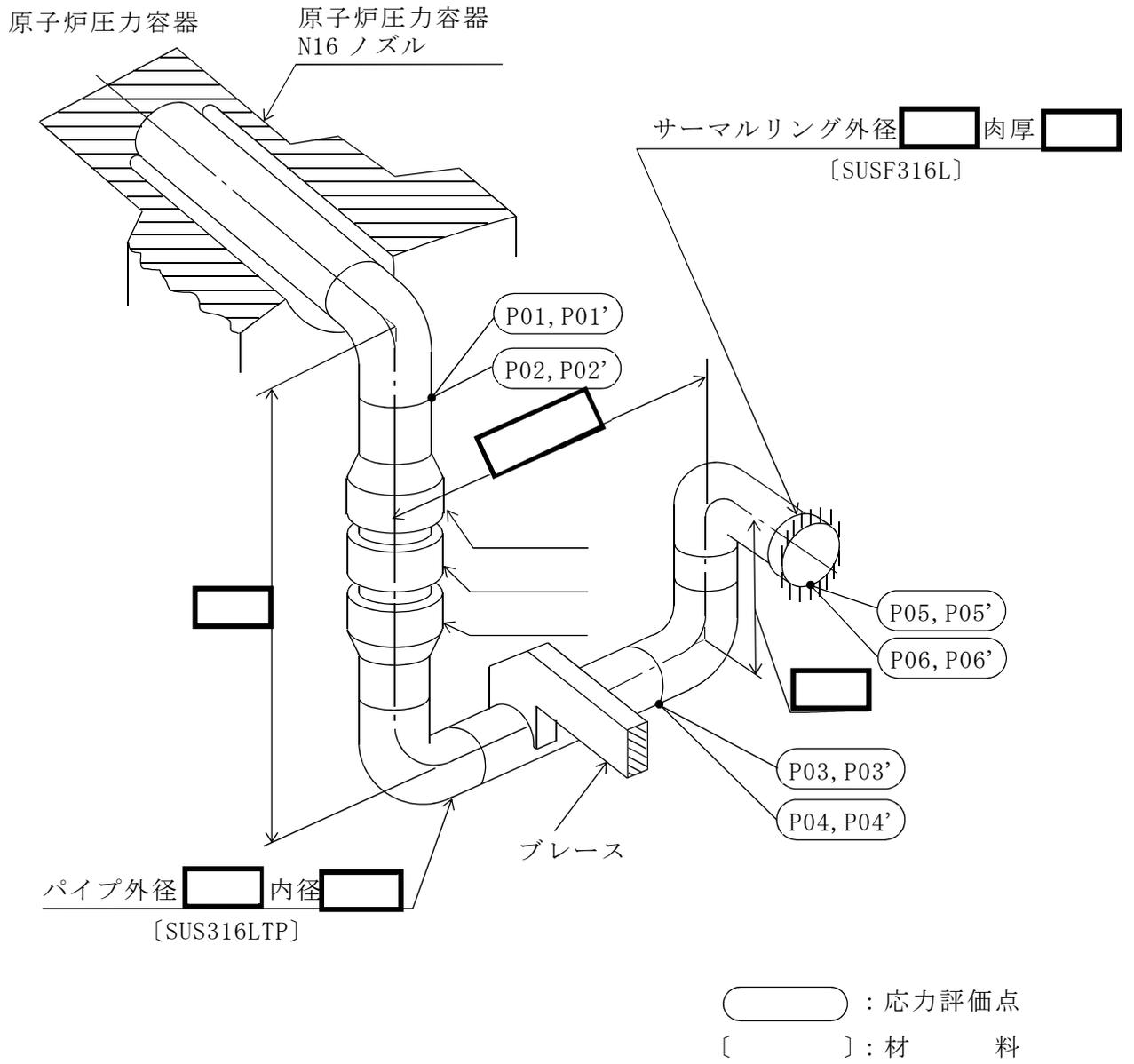


図 5-1 形状・寸法・材料・応力評価点 (単位: mm)

表 5-1 計算結果の概要

(単位：MPa)

部分及び材料	許容応力状態	一次一般膜応力強さ			一次一般膜＋一次曲げ応力強さ		
		応力強さ	許容応力	応力評価面	応力強さ	許容応力	応力評価面
パイプ SUS316LTP	Ⅲ A S	5	142	P01-P02	21	213	P01'-P02'
	Ⅳ A S	7	228	P01-P02	29	342	P01'-P02'
	Ⅴ A S	16	225	P01-P02	36	338	P01-P02
	Ⅲ A S	4	142	P03-P04	9	213	P03'-P04'
	Ⅳ A S	6	228	P03-P04	12	342	P03'-P04'
	Ⅴ A S	16	225	P03-P04	19	338	P03-P04
サーマル リング SUSF316L	Ⅲ A S	5	127*	P05-P06	7	191*	P05'-P06'
	Ⅳ A S	8	205*	P05-P06	10	307*	P05'-P06'
	Ⅴ A S	14	202*	P05-P06	15	304*	P05-P06

注記*：継手効率 を乗じた値を示す。

5.2 計算条件

5.2.1 設計条件

設計条件を「応力解析の方針」の4.1節に示す。

5.2.2 運転条件

考慮した運転条件を「応力解析の方針」の4.2節に示す。

なお、重大事故等時の条件は以下のとおりである。

温度条件：運転状態Ⅲと同じ。

差圧条件：運転状態Ⅳと同じ。

5.2.3 材料

各部の材料を図5-1に示す。

5.2.4 荷重の組合せ及び許容応力状態

荷重の組合せ及び許容応力状態を「応力解析の方針」の3.3節に示す。

5.2.5 荷重の組合せ及び応力評価

荷重の組合せ及び応力評価を「応力解析の方針」の4.3節に示す。

5.2.6 許容応力

許容応力を「応力解析の方針」の3.4節に示す。

溶接部の継手効率を「応力解析の方針」の3.6節に示す。

5.3 外荷重の条件

5.3.1 計算方法

固有周期，死荷重及び地震荷重は，「5.3.2 解析モデル」に示す解析モデルにより求める。

5.3.2 解析モデル

解析モデルは，既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)d.に定めるとおりである。

「応力解析の方針」の参照図書(1)d.に定める解析モデルを図 5-2 に示す。

5.3.3 設計震度

設計震度を下表に示す。

	設計震度	
	水平方向	鉛直方向
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	0.92	0.73
基準地震動 S_s	1.76	1.44

5.3.4 計算結果

(1) 固有周期

固有周期を下表に示す。

固有周期は，既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)d.に示すとおり 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

モード	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
		X 方向	Y 方向	
1 次		—	—	—

(2) 死荷重及び地震荷重

解析により求めた死荷重及び地震荷重を「応力解析の方針」の表 4-1(7)に示す。

5.4 応力計算

5.4.1 応力評価点

応力評価点の位置を図 5-1 に示す。

なお、各応力評価点の断面性状は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)m.に定めるとおりである。

5.4.2 差圧による応力

(1) 荷重条件 (L02)

各運転状態による差圧は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)m.に定めるとおりである。

なお、重大事故等時の差圧は、「5.2.2 運転条件」による。

(2) 計算方法

差圧による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)m.に定めるとおりである。

なお、各許容応力状態での差圧による応力は、内圧を受ける円筒にモデル化し計算する。

5.4.3 外荷重による応力

(1) 荷重条件 (L04, L14 及び L16)

外荷重を「応力解析の方針」の表 4-1(7)に示す。

(2) 計算方法

外荷重による応力の計算は、既工認から変更はなく「応力解析の方針」の参照図書(1)m.に定めるとおりである。

なお、外荷重による各応力は、外荷重と各応力評価断面の断面性状により計算する。

5.4.4 応力の評価

各応力評価点で計算された応力を分類ごとに重ね合わせて組合せ応力を求め、応力強さを算出する。

応力強さの算出方法は、「応力解析の方針」の 5.1.2 項に定めるとおりである。

5.5 応力強さの評価

5.5.1 一次一般膜応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 5-2 に示す。

表 5-2 より、各許容応力状態の一次一般膜応力強さは、「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

5.5.2 一次一般膜＋一次曲げ応力強さの評価

各許容応力状態における評価を表 5-3 に示す。

表 5-3 より、各許容応力状態の一次一般膜＋一次曲げ応力強さは、「応力解析の方針」の 3.4 節及び 3.6 節に示す許容応力を満足する。

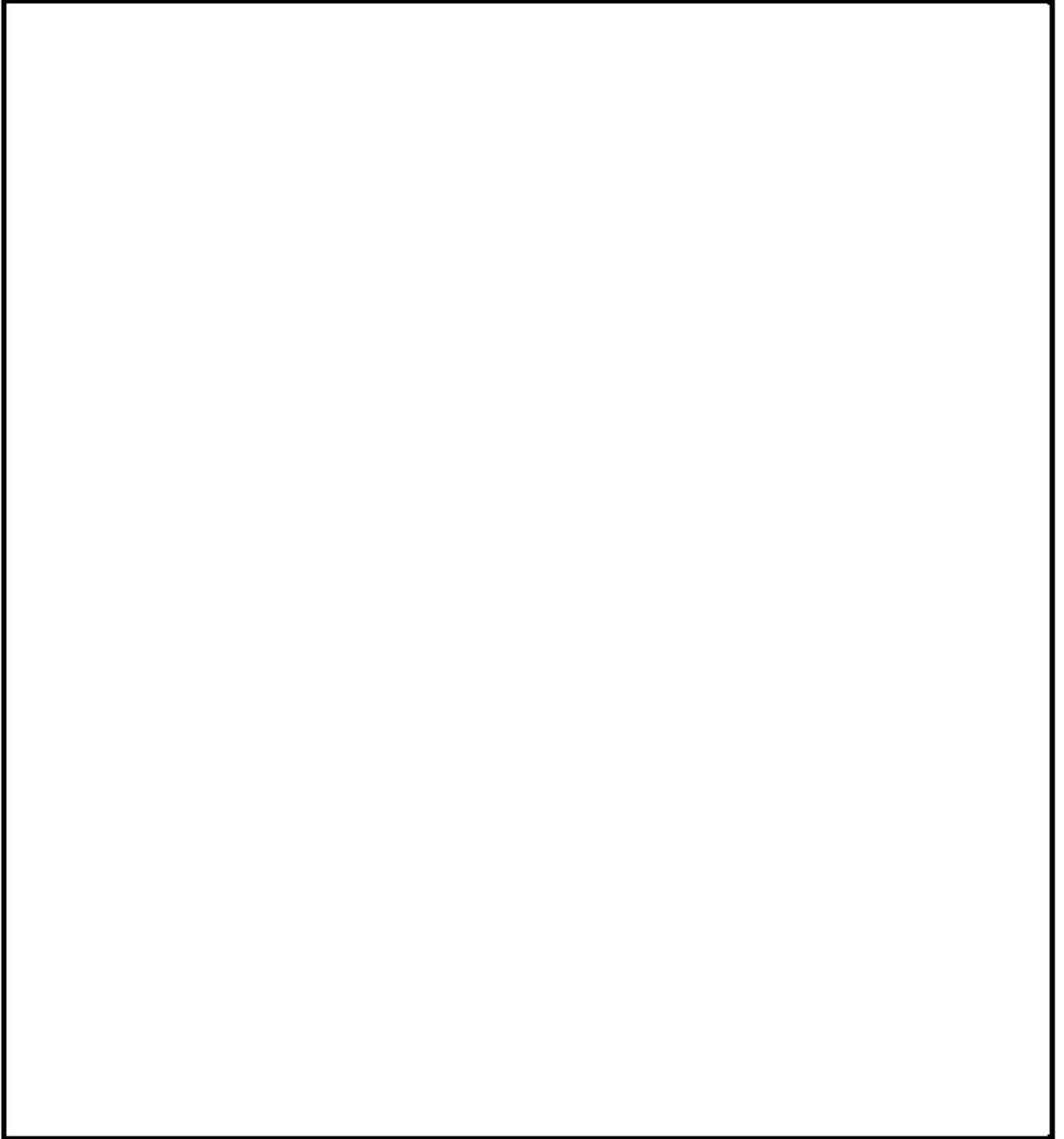


図 5-2 解析モデル

表 5-2 一次一般膜応力強さの評価のまとめ

(単位 : MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S		許容応力状態Ⅴ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	5	142	7	228	16	225
P01' P02'	2	142	3	228	15	225
P03 P04	4	142	6	228	16	225
P03' P04'	2	142	2	228	14	225
P05 P06	5	127*	8	205*	14	202*
P05' P06'	2	127*	4	205*	12	202*

注記* : 継手効率 を乗じた値を示す。

表 5-3 一次一般膜+一次曲げ応力強さの評価のまとめ

(単位 : MPa)

応力評価面	許容応力状態Ⅲ A S		許容応力状態Ⅳ A S		許容応力状態Ⅴ A S	
	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力	応力強さ	許容応力
P01 P02	21	213	28	342	36	338
P01' P02'	21	213	29	342	34	338
P03 P04	9	213	11	342	19	338
P03' P04'	9	213	12	342	17	338
P05 P06	6	191*	10	307*	15	304*
P05' P06'	7	191*	10	307*	13	304*

注記* : 継手効率 を乗じた値を示す。