

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

| | |
|----------------|---------------------|
| 柏崎刈羽原子力発電所第6号機 | 設計及び工事計画審査資料 |
| 資料番号 | KK6 補足-028-10-62 改0 |
| 提出年月日 | 2024年1月15日 |

原子炉格納容器配管貫通部の耐震・強度計算に関する補足説明資料

2024年1月

東京電力ホールディングス株式会社

目次

原子炉格納容器配管貫通部の設計荷重について

| | |
|---|---|
| 1. はじめに | 1 |
| 2. 設計荷重の包絡性確認方法 | 1 |
| 3. 配管貫通部に加わる荷重の算出 | 1 |
| 3.1 設計基準対象施設としての評価条件における配管貫通部に作用する配管荷重 | 1 |
| 3.2 重大事故等対処設備としての評価条件における配管貫通部に作用する配管荷重 | 3 |
| 3.3 荷重の組合せ | 4 |
| 4. 設計荷重の包絡性確認 | 4 |
| 5. まとめ | 5 |

原子炉格納容器配管貫通部 (X-92 及び X-253) の疲労評価不要の評価について

| | |
|-------------------|----|
| 1. はじめに | 10 |
| 2. 評価条件について | 10 |
| 3. 評価結果 | 10 |
| 4. 添付資料 | 10 |

原子炉格納容器配管貫通部の設計荷重について

1. はじめに

原子炉格納容器配管貫通部は、配管側の設計確定前に設計・評価を行うことから、作用する荷重を予め設計荷重として設定し、評価を行っている。

本資料は、配管貫通部 X-10 を代表に、確定後の配管側の設計に基づく荷重が設計荷重に包絡されることを説明する資料である。

本資料が関連する設工認図書は以下のとおり。

- ・ VI-2-9-2-12 「原子炉格納容器配管貫通部の耐震性についての計算書」
- ・ VI-3-3-6-1-4-2 「原子炉格納容器配管貫通部の強度計算書」

2. 設計荷重の包絡性確認方法

原子炉格納容器配管貫通部には、原子炉格納容器側から作用する配管荷重並びに原子炉建屋及びタービン建屋側から作用する荷重の 2 種類の荷重がかかる。

これらを合算した配管荷重を許容応力状態に応じて適切に組み合わせることにより、配管貫通部に加わる荷重を算出する。この荷重が VI-2-9-2-12 「原子炉格納容器配管貫通部の耐震性についての計算書」及び VI-3-3-6-1-4-2 「原子炉格納容器配管貫通部の強度計算書」に記載の設計荷重を下回ることを確認する。

3. 配管貫通部に加わる荷重の算出

配管貫通部 X-10 を対象に計算過程を示す。

3.1 設計基準対象施設としての評価条件における配管貫通部に作用する配管荷重

設計基準対象施設としての評価条件（以下「DB 条件」という。）における配管貫通部に作用する配管荷重は、VI-2-5-2-1-2 「管の耐震性についての計算書」及び VI-3-3-3-1-1-3-2 「管の応力計算書」における解析に基づき設定する。

配管荷重の内訳は各許容応力状態において以下のとおりである。

X-10 に接続される主蒸気系配管は 4 系統あるため、配管解析結果もそれぞれの配管貫通部に対して算出される

表 3-1 に許容応力状態毎の配管荷重を示し、図 3-1 に荷重作用方向を示す。

・ 一次応力評価

許容応力状態 I_A, II_A : 自重+機械荷重

許容応力状態 $III_A S$: 自重+機械荷重+地震慣性力 (S_d^*)

許容応力状態 $IV_A S$: 自重+機械荷重+地震慣性力 (S_s)

・ 一次+二次応力評価

許容応力状態 I_A, II_A : 自重+熱膨張+機械荷重

許容応力状態 $III_A S$: 地震慣性力 (S_d^*) + 地震相対変位 (S_d^*)

許容応力状態 $IV_A S$: 地震慣性力 (S_s) + 地震相対変位 (S_s)

表 3-1 配管貫通部に作用する配管荷重

| 項目 | | 軸力 | | せん断力 | | ねじりモーメント | | 曲げモーメント | |
|---------------------|-------|---------|---------|-----------|-----------|----------|--|---------|--|
| | | FX (kN) | FV (kN) | MX (kN・m) | MB (kN・m) | | | | |
| 許容応力状態 I A, II A | X-10A | 一次 | 210.9 | 135.8 | 24.9 | 153.6 | | | |
| | | 一次+二次 | 900.7 | 195.1 | 338.3 | 473.0 | | | |
| | X-10B | 一次 | 173.2 | 132.0 | 11.7 | 157.4 | | | |
| | | 一次+二次 | 760.7 | 170.3 | 354.9 | 439.7 | | | |
| | X-10C | 一次 | 207.7 | 136.8 | 35.9 | 172.9 | | | |
| | | 一次+二次 | 556.0 | 186.4 | 212.4 | 474.3 | | | |
| | X-10D | 一次 | 227.1 | 134.9 | 61.6 | 157.6 | | | |
| | | 一次+二次 | 759.9 | 213.0 | 373.8 | 510.8 | | | |
| 許容応力状態 III AS | X-10A | 一次 | 537.2 | 221.2 | 230.7 | 242.3 | | | |
| | | 一次+二次 | 712.5 | 242.1 | 411.5 | 434.7 | | | |
| | X-10B | 一次 | 479.5 | 215.2 | 133.9 | 246.4 | | | |
| | | 一次+二次 | 855.4 | 268.8 | 401.2 | 507.7 | | | |
| | X-10C | 一次 | 600.6 | 233.0 | 315.4 | 329.3 | | | |
| | | 一次+二次 | 524.0 | 190.8 | 330.8 | 392.7 | | | |
| | X-10D | 一次 | 616.4 | 228.9 | 251.9 | 274.8 | | | |
| | | 一次+二次 | 515.2 | 224.9 | 310.2 | 413.7 | | | |
| 許容応力状態 IV AS | X-10A | 一次 | 867.2 | 330.7 | 500.1 | 365.8 | | | |
| | | 一次+二次 | 1473.2 | 515.9 | 908.0 | 933.9 | | | |
| | X-10B | 一次 | 788.8 | 323.9 | 259.6 | 366.6 | | | |
| | | 一次+二次 | 1789.2 | 575.2 | 833.8 | 1089.8 | | | |
| | X-10C | 一次 | 993.3 | 345.7 | 460.7 | 450.5 | | | |
| | | 一次+二次 | 1072.2 | 401.6 | 533.1 | 748.0 | | | |
| | X-10D | 一次 | 1008.0 | 344.4 | 440.6 | 410.6 | | | |
| | | 一次+二次 | 1050.4 | 494.8 | 632.9 | 862.6 | | | |

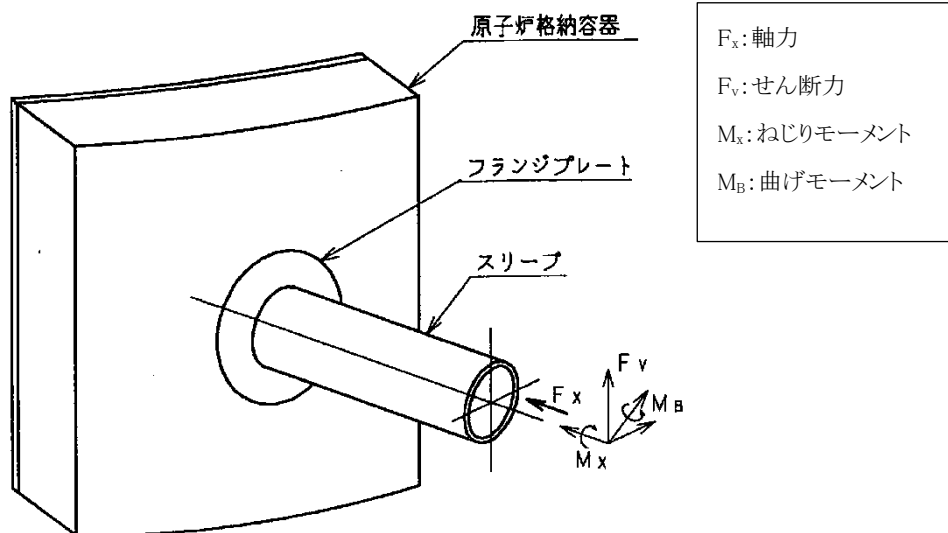


図 3-1 配管貫通部の荷重作用方向

3.2 重大事故等対処設備としての評価条件における配管貫通部に作用する配管荷重

重大事故等対処設備としての評価条件（以下「SA 条件」という。）における配管貫通部に作用する配管荷重は、以下のように求める。

- ① 死荷重，機械的荷重は，DB 条件における配管荷重を用いる。
- ② 熱膨張による荷重は，DB 条件の熱膨張による配管荷重を以下のように温度補正することで求める。
 - a. 系統温度が SA 時の格納容器雰囲気温度よりも低い配管
格納容器の内側と外側の系統全体が SA 時の格納容器雰囲気温度の影響を受けるわけではないが，保守的に系統全体が影響を受けたものとして温度補正を行う。
 - b. 系統温度が SA 時の格納容器雰囲気温度よりも高い配管
本書で例示する X-10 のように系統温度が高い配管は格納容器雰囲気温度の影響を受けないため，本来は温度補正が不要であるが，a. と同様に温度補正による荷重の割増を行う。
- ③ 温度補正は，設置位置（ドライウエル(D/W)又はサプレッションチェンバ(S/C)）に応じた格納容器の雰囲気温度を用いて SA 条件との温度比を考慮する。

今回設工認に用いた温度補正式を以下に示す。

(熱膨張による配管荷重 (許容応力状態 V_A))

$$= \{(\text{許容応力状態 } I_A, II_A \text{ の一次+二次配管荷重}) - (\text{許容応力状態 } I_A, II_A \text{ の一次配管荷重})\} \times (\text{温度比})$$

(温度比)

$$= \{(\text{格納容器雰囲気温度 (SA 条件)}) - (\text{基準温度})\} / \{(\text{DB 条件温度}) - (\text{基準温度})\}$$

ここで，

格納容器雰囲気温度 (SA 条件) : $V_A(S) = 200^\circ\text{C}$, $V_A(L) = 168^\circ\text{C}$, $V_A(LL) = 100^\circ\text{C}$

DB 条件温度 : 格納容器雰囲気温度 (D/W = 57°C , S/C = 35°C)

基準温度 : 20°C

上式で求めた熱膨張による配管荷重に死荷重及び機械荷重を加え，一次+二次応力評価における許容応力状態 V_A の配管荷重を作成する。

表 3-2 に一次+二次応力評価における許容応力状態 V_A の配管荷重を示す。

表 3-2 一次+二次応力評価における許容応力状態 V_A の配管荷重

| 項目 | | 軸力 | | せん断力 | | ねじりモーメント | | 曲げモーメント | |
|----------------------------|-------|-----------|--------|---------|--------|-----------|--|-----------|--|
| | | FX (kN) | | Fv (kN) | | Mx (kN・m) | | Mb (kN・m) | |
| 許容応力状態 V_A (一次+二次) | X-10A | $V_A(S)$ | 3563.3 | 439.5 | 1548.0 | 1707.4 | | | |
| | | $V_A(L)$ | 2970.1 | 384.3 | 1278.5 | 1432.3 | | | |
| | | $V_A(LL)$ | 1700.9 | 267.2 | 701.9 | 843.9 | | | |
| | X-10B | $V_A(S)$ | 3028.8 | 407.6 | 1679.8 | 1612.0 | | | |
| | | $V_A(L)$ | 2523.5 | 350.5 | 1384.6 | 1349.6 | | | |
| | | $V_A(LL)$ | 1442.3 | 234.0 | 753.1 | 789.4 | | | |
| | X-10C | $V_A(S)$ | 1900.4 | 474.6 | 893.9 | 1724.7 | | | |
| | | $V_A(L)$ | 1600.9 | 406.3 | 742.0 | 1444.8 | | | |
| | | $V_A(LL)$ | 960.0 | 265.6 | 417.2 | 847.3 | | | |
| | X-10D | $V_A(S)$ | 2816.3 | 655.4 | 1578.8 | 1945.5 | | | |
| | | $V_A(L)$ | 2358.1 | 552.8 | 1310.3 | 1624.9 | | | |
| | | $V_A(LL)$ | 1377.8 | 337.9 | 735.9 | 940.1 | | | |

3.3 荷重の組合せ

表 3-1 及び表 3-2 の配管荷重を表 3-3 の組合せで合算し、配管貫通部に作用する荷重を求める。

表 3-3 荷重の組合せ

| 許容応力状態 | 配管荷重 | | | |
|---------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|------|
| | 許容応力 状態 I_A, II_A | 許容応力 状態 III_{AS} | 許容応力 状態 IV_{AS} | 温度補正 |
| I_A, II_A | ○ | | | |
| III_{AS} | | ○ | | |
| IV_{AS} | | | ○ | |
| V_A | ○ | | | ○ |
| $V_{AS}(SA \text{ 後長期})$ | | ○ | | |
| $V_{AS}(SA \text{ 後長々期})$ | | | ○ | |

4. 設計荷重の包絡性確認

3.3 の組合せに従って合算した結果を、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備に用いるものを表 4-3 に示す。

また、VI-2-9-2-12「原子炉格納容器配管貫通部の耐震性についての計算書」及びVI-3-3-6-1-4-2「原子炉格納容器配管貫通部の強度計算書」に記載の設計荷重を設計基準対象施設の評価に用いるものについて整理したものを表 4-2 に、重大事故等対処設備に用いるものを整理したものを表 4-4 に示す。

表 4-1 は表 4-2 の、表 4-3 は表 4-4 の値に包絡されていることから、設計荷重は配管貫通部 (X-10) に作用する荷重を包絡している。

5. まとめ

配管貫通部 X-10 に作用する荷重を包絡していることから、VI-2-9-2-12「原子炉格納容器配管貫通部の耐震性についての計算書」及びVI-3-3-6-1-4-2「原子炉格納容器配管貫通部の強度計算書」に記載の設計荷重は妥当である。また、他の配管貫通部についても、設計荷重の包絡性確認を実施している。

表 4-1 確定後の配管反力による荷重（設計基準対象施設）

| 貫通部 番号 | 許容応力 状態 | 一次荷重 | | | | 一次+二次荷重 | | | |
|-----------|----------------------------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|
| | | 垂直力 (N) | | モーメント (N・mm) | | 垂直力 (N) | | モーメント (N・mm) | |
| | | F _X | F _V | M _X | M _B | F _X | F _V | M _X | M _B |
| X-10A | I _A , II _A | 2.11E+05 | 1.36E+05 | 2.50E+07 | 1.54E+08 | 9.01E+05 | 1.96E+05 | 3.39E+08 | 4.74E+08 |
| | III _A S | 5.37E+05 | 2.21E+05 | 2.31E+08 | 2.42E+08 | 7.12E+05 | 2.42E+05 | 4.12E+08 | 4.35E+08 |
| | IV _A S | 8.67E+05 | 3.31E+05 | 5.00E+08 | 3.66E+08 | 1.47E+06 | 5.16E+05 | 9.08E+08 | 9.34E+08 |
| X-10B | I _A , II _A | 1.74E+05 | 1.32E+05 | 1.18E+07 | 1.58E+08 | 7.61E+05 | 1.71E+05 | 3.55E+08 | 4.40E+08 |
| | III _A S | 4.80E+05 | 2.15E+05 | 1.34E+08 | 2.46E+08 | 8.55E+05 | 2.69E+05 | 4.01E+08 | 5.08E+08 |
| | IV _A S | 7.89E+05 | 3.24E+05 | 2.60E+08 | 3.67E+08 | 1.79E+06 | 5.75E+05 | 8.34E+08 | 1.09E+09 |
| X-10C | I _A , II _A | 2.08E+05 | 1.37E+05 | 3.59E+07 | 1.73E+08 | 5.56E+05 | 1.87E+05 | 2.13E+08 | 4.75E+08 |
| | III _A S | 6.01E+05 | 2.33E+05 | 3.15E+08 | 3.29E+08 | 5.24E+05 | 1.91E+05 | 3.31E+08 | 3.93E+08 |
| | IV _A S | 9.93E+05 | 3.46E+05 | 4.61E+08 | 4.50E+08 | 1.07E+06 | 4.02E+05 | 5.33E+08 | 7.48E+08 |
| X-10D | I _A , II _A | 2.28E+05 | 1.35E+05 | 6.16E+07 | 1.58E+08 | 7.60E+05 | 2.13E+05 | 3.74E+08 | 5.11E+08 |
| | III _A S | 6.16E+05 | 2.29E+05 | 2.52E+08 | 2.75E+08 | 5.15E+05 | 2.25E+05 | 3.10E+08 | 4.14E+08 |
| | IV _A S | 1.01E+06 | 3.44E+05 | 4.41E+08 | 4.11E+08 | 1.05E+06 | 4.95E+05 | 6.33E+08 | 8.63E+08 |

表 4-2 配管貫通部に作用する荷重 (設計荷重) (設計基準対象施設)

| 貫通部 番号 | 許容応力 状態 | 一次荷重 | | | | 一次+二次荷重 | | | |
|-----------|----------------------------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|
| | | 垂直力 (N) | | モーメント (N・mm) | | 垂直力 (N) | | モーメント (N・mm) | |
| | | F _X | F _V | M _X | M _B | F _X | F _V | M _X | M _B |
| X-10A | I _A , II _A | 3.43E+05 | 1.96E+05 | 1.47E+08 | 2.94E+08 | 1.18E+06 | 2.34E+05 | 4.06E+08 | 5.68E+08 |
| | III _A S | 9.81E+05 | 3.92E+05 | 4.90E+08 | 6.37E+08 | 1.06E+06 | 3.78E+05 | 6.20E+08 | 8.34E+08 |
| | IV _A S | 1.45E+06 | 5.23E+05 | 7.68E+08 | 8.34E+08 | 2.17E+06 | 7.72E+05 | 1.26E+09 | 1.23E+09 |
| X-10B | I _A , II _A | 3.43E+05 | 1.96E+05 | 1.47E+08 | 2.94E+08 | 1.18E+06 | 1.96E+05 | 3.92E+08 | 4.90E+08 |
| | III _A S | 9.81E+05 | 3.92E+05 | 4.90E+08 | 6.37E+08 | 1.11E+06 | 3.76E+05 | 5.01E+08 | 8.34E+08 |
| | IV _A S | 1.27E+06 | 4.72E+05 | 6.37E+08 | 8.34E+08 | 2.31E+06 | 7.73E+05 | 1.03E+09 | 1.34E+09 |
| X-10C | I _A , II _A | 3.43E+05 | 1.96E+05 | 1.47E+08 | 2.94E+08 | 1.18E+06 | 2.24E+05 | 3.92E+08 | 5.69E+08 |
| | III _A S | 1.00E+06 | 3.92E+05 | 4.90E+08 | 6.37E+08 | 9.13E+05 | 3.43E+05 | 4.90E+08 | 8.34E+08 |
| | IV _A S | 1.76E+06 | 5.35E+05 | 7.20E+08 | 8.34E+08 | 1.85E+06 | 6.23E+05 | 8.07E+08 | 1.08E+09 |
| X-10D | I _A , II _A | 3.43E+05 | 1.96E+05 | 1.47E+08 | 2.94E+08 | 1.18E+06 | 2.16E+05 | 4.49E+08 | 6.13E+08 |
| | III _A S | 1.01E+06 | 3.92E+05 | 4.90E+08 | 6.37E+08 | 8.85E+05 | 3.58E+05 | 4.90E+08 | 8.34E+08 |
| | IV _A S | 1.74E+06 | 5.15E+05 | 7.03E+08 | 8.34E+08 | 1.79E+06 | 7.47E+05 | 9.34E+08 | 1.13E+09 |

表 4-3 確定後の配管反力による荷重（重大事故等対処設備）

| 貫通部 番号 | 許容応力 状態 | 一次荷重 | | | | 一次+二次荷重 | | | |
|---|--|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|
| | | 垂直力 (N) | | モーメント (N・mm) | | 垂直力 (N) | | モーメント (N・mm) | |
| | | F _X | F _V | M _X | M _B | F _X | F _V | M _X | M _B |
| X-10A | 重大事故等時 | 2.11E+05 | 1.36E+05 | 2.50E+07 | 1.54E+08 | 3.57E+06 | 4.40E+05 | 1.55E+09 | 1.71E+09 |
| | V _A * 2.11E+05 1.36E+05 | 2.11E+05 | 1.36E+05 | 2.50E+07 | 1.54E+08 | 2.98E+06 | 3.85E+05 | 1.28E+09 | 1.44E+09 |
| | | 2.11E+05 | 1.36E+05 | 2.50E+07 | 1.54E+08 | 1.71E+06 | 2.68E+05 | 7.02E+08 | 8.44E+08 |
| V _A S* 5.37E+05 8.67E+05 | 5.37E+05 | 2.21E+05 | 2.31E+08 | 2.42E+08 | 7.12E+05 | 2.42E+05 | 4.12E+08 | 4.35E+08 | |
| | 8.67E+05 | 3.31E+05 | 5.00E+08 | 3.66E+08 | 1.47E+06 | 5.16E+05 | 9.08E+08 | 9.34E+08 | |
| X-10B | 重大事故等時 | 1.74E+05 | 1.32E+05 | 1.18E+07 | 1.58E+08 | 3.03E+06 | 4.08E+05 | 1.68E+09 | 1.62E+09 |
| | V _A * 1.74E+05 1.74E+05 | 1.74E+05 | 1.32E+05 | 1.18E+07 | 1.58E+08 | 2.53E+06 | 3.51E+05 | 1.39E+09 | 1.35E+09 |
| | | 1.74E+05 | 1.32E+05 | 1.18E+07 | 1.58E+08 | 1.45E+06 | 2.35E+05 | 7.54E+08 | 7.90E+08 |
| V _A S* 4.80E+05 7.89E+05 | 4.80E+05 | 2.15E+05 | 1.34E+08 | 2.46E+08 | 8.55E+05 | 2.69E+05 | 4.01E+08 | 5.08E+08 | |
| | 7.89E+05 | 3.24E+05 | 2.60E+08 | 3.67E+08 | 1.79E+06 | 5.75E+05 | 8.34E+08 | 1.09E+09 | |
| X-10C | 重大事故等時 | 2.08E+05 | 1.37E+05 | 3.59E+07 | 1.73E+08 | 1.91E+06 | 4.75E+05 | 8.94E+08 | 1.73E+09 |
| | V _A * 2.08E+05 2.08E+05 | 2.08E+05 | 1.37E+05 | 3.59E+07 | 1.73E+08 | 1.61E+06 | 4.07E+05 | 7.43E+08 | 1.45E+09 |
| | | 2.08E+05 | 1.37E+05 | 3.59E+07 | 1.73E+08 | 9.61E+05 | 2.66E+05 | 4.18E+08 | 8.48E+08 |
| V _A S* 6.01E+05 9.93E+05 | 6.01E+05 | 2.33E+05 | 3.15E+08 | 3.29E+08 | 5.24E+05 | 1.91E+05 | 3.31E+08 | 3.93E+08 | |
| | 9.93E+05 | 3.46E+05 | 4.61E+08 | 4.50E+08 | 1.07E+06 | 4.02E+05 | 5.33E+08 | 7.48E+08 | |
| X-10D | 重大事故等時 | 2.28E+05 | 1.35E+05 | 6.16E+07 | 1.58E+08 | 2.82E+06 | 6.56E+05 | 1.58E+09 | 1.95E+09 |
| | V _A * 2.28E+05 2.28E+05 | 2.28E+05 | 1.35E+05 | 6.16E+07 | 1.58E+08 | 2.36E+06 | 5.53E+05 | 1.32E+09 | 1.63E+09 |
| | | 2.28E+05 | 1.35E+05 | 6.16E+07 | 1.58E+08 | 1.38E+06 | 3.38E+05 | 7.36E+08 | 9.41E+08 |
| V _A S* 6.16E+05 1.01E+06 | 6.16E+05 | 2.29E+05 | 2.52E+08 | 2.75E+08 | 5.15E+05 | 2.25E+05 | 3.10E+08 | 4.14E+08 | |
| | 1.01E+06 | 3.44E+05 | 4.41E+08 | 4.11E+08 | 1.05E+06 | 4.95E+05 | 6.33E+08 | 8.63E+08 | |

注記*：上段はS A後長期設計荷重，下段はS A後長々期設計荷重を示す。

表 4-4 配管貫通部に作用する荷重（設計荷重）（重大事故等対処設備）

| 貫通部 番号 | 許容応力 状態 | 一次荷重 | | | | 一次+二次荷重 | | | |
|---|--|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|
| | | 垂直力 (N) | | モーメント (N・mm) | | 垂直力 (N) | | モーメント (N・mm) | |
| | | F _X | F _V | M _X | M _B | F _X | F _V | M _X | M _B |
| X-10A | 重大事故等時 | 3.43E+05 | 1.96E+05 | 1.47E+08 | 2.94E+08 | 4.28E+06 | 5.27E+05 | 1.86E+09 | 2.05E+09 |
| | V _A * 3.43E+05 1.96E+05 | 3.43E+05 | 1.96E+05 | 1.47E+08 | 2.94E+08 | 3.56E+06 | 4.61E+05 | 1.53E+09 | 1.72E+09 |
| | | 3.43E+05 | 1.96E+05 | 1.47E+08 | 2.94E+08 | 2.04E+06 | 3.21E+05 | 8.42E+08 | 1.01E+09 |
| V _{AS} * 9.81E+05 1.45E+06 | 9.81E+05 | 3.92E+05 | 4.90E+08 | 6.37E+08 | 1.06E+06 | 3.78E+05 | 6.20E+08 | 8.34E+08 | |
| | 1.45E+06 | 5.23E+05 | 7.68E+08 | 8.34E+08 | 2.17E+06 | 7.72E+05 | 1.26E+09 | 1.23E+09 | |
| X-10B | 重大事故等時 | 3.43E+05 | 1.96E+05 | 1.47E+08 | 2.94E+08 | 3.33E+06 | 4.48E+05 | 1.85E+09 | 1.77E+09 |
| | V _A * 3.43E+05 1.96E+05 | 3.43E+05 | 1.96E+05 | 1.47E+08 | 2.94E+08 | 2.78E+06 | 3.86E+05 | 1.52E+09 | 1.48E+09 |
| | | 3.43E+05 | 1.96E+05 | 1.47E+08 | 2.94E+08 | 1.59E+06 | 2.57E+05 | 8.28E+08 | 8.68E+08 |
| V _{AS} * 9.81E+05 1.27E+06 | 9.81E+05 | 3.92E+05 | 4.90E+08 | 6.37E+08 | 1.11E+06 | 3.76E+05 | 5.01E+08 | 8.34E+08 | |
| | 1.27E+06 | 4.72E+05 | 6.37E+08 | 8.34E+08 | 2.31E+06 | 7.73E+05 | 1.03E+09 | 1.34E+09 | |
| X-10C | 重大事故等時 | 3.43E+05 | 1.96E+05 | 1.47E+08 | 2.94E+08 | 2.28E+06 | 5.69E+05 | 1.07E+09 | 2.07E+09 |
| | V _A * 3.43E+05 1.96E+05 | 3.43E+05 | 1.96E+05 | 1.47E+08 | 2.94E+08 | 1.92E+06 | 4.88E+05 | 8.90E+08 | 1.73E+09 |
| | | 3.43E+05 | 1.96E+05 | 1.47E+08 | 2.94E+08 | 1.18E+06 | 3.19E+05 | 5.01E+08 | 1.02E+09 |
| V _{AS} * 1.00E+06 1.76E+06 | 1.00E+06 | 3.92E+05 | 4.90E+08 | 6.37E+08 | 9.13E+05 | 3.43E+05 | 4.90E+08 | 8.34E+08 | |
| | 1.76E+06 | 5.35E+05 | 7.20E+08 | 8.34E+08 | 1.85E+06 | 6.23E+05 | 8.07E+08 | 1.08E+09 | |
| X-10D | 重大事故等時 | 3.43E+05 | 1.96E+05 | 1.47E+08 | 2.94E+08 | 3.38E+06 | 7.64E+05 | 1.90E+09 | 2.34E+09 |
| | V _A * 3.43E+05 1.96E+05 | 3.43E+05 | 1.96E+05 | 1.47E+08 | 2.94E+08 | 2.83E+06 | 6.38E+05 | 1.57E+09 | 1.95E+09 |
| | | 3.43E+05 | 1.96E+05 | 1.47E+08 | 2.94E+08 | 1.65E+06 | 3.75E+05 | 8.83E+08 | 1.13E+09 |
| V _{AS} * 1.01E+06 1.74E+06 | 1.01E+06 | 3.92E+05 | 4.90E+08 | 6.37E+08 | 8.85E+05 | 3.58E+05 | 4.90E+08 | 8.34E+08 | |
| | 1.74E+06 | 5.15E+05 | 7.03E+08 | 8.34E+08 | 1.79E+06 | 7.47E+05 | 9.34E+08 | 1.13E+09 | |

注記*：上段はS A後長期設計荷重，下段はS A後長々期設計荷重を示す。

原子炉格納容器配管貫通部 (X-92 及び X-253) の疲労評価不要の評価について

1. はじめに

原子炉格納容器鋼製耐圧部の疲労解析については、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の中で、設計・建設規格の規定に従い、鋼製耐圧部の一般部を代表条件として疲労解析が評価不要であることを示している。

原子炉格納容器配管貫通部 (X-92 及び X-253) については、今回設工認において改造を実施することから、個別の条件において疲労評価不要の評価を実施し、この結果について説明するものである。

本資料が関連する設工認図書は以下のとおり。

- ・ VI-2-9-2-12 「原子炉格納容器配管貫通部の耐震性についての計算書」
- ・ VI-3-3-6-1-4-2 「原子炉格納容器配管貫通部の強度計算書」

2. 評価条件について

評価は設計・建設規格 PVB-3140 に基づき実施する。評価対象は、クラス MC 容器部分としてスリーブを対象とする。主な評価条件を表 1 に示す

表 1 疲労不要の評価の評価条件

| No. | 貫通部番号 | 形式 | 最高 使用温度 | 最高 使用圧力 | スリーブ材質 | 備考 |
|-----|-------|----|------------|------------|--------|----|
| 1 | X-92 | 2 | 171℃ | 310kPa | | |
| 2 | X-253 | 2 | 104℃ | 310kPa | | |

3. 評価結果

X-92 に対する評価結果を添付資料 1 に、X-253 に対する評価結果を添付資料 2 に示す。いずれの原子炉格納容器配管貫通部も設計・建設規格の要求事項を満足しており、疲労評価は不要である。

4. 添付資料

添付資料 1 X-92 に対する疲労評価の必要性の検討

添付資料 2 X-253 に対する疲労評価の必要性の検討

添付資料 1 X-92 に対する疲労評価の必要性の検討

原子炉格納容器配管貫通部 (X-92) のスリーブについて、設計・建設規格 PVB-3140 を適用して疲労解析が不要となることを以下の(1)～(6)に示す。

ここで、繰返し荷重としてかかるサイクル数はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」による。

(1) 大気圧から運転圧になり、再び大気圧に戻るサイクル数の検討

(設計・建設規格 PVB-3140(1))

設計・建設規格に定められる許容引張応力 S の 3 倍の値は $3 \times$ MPa であり、これに対応する許容繰返し回数 N は である。ここで設計・建設規格に示される運転圧力を原子炉格納容器の最高使用圧力と対応させてみると、その回数は 回で N より小さいので本条項を満足している。

(2) 負荷運転時における圧力変動の全振幅の検討

(設計・建設規格 PVB-3140(2))

疲労解析の対象となる圧力変動の全振幅は PVB-3140(2)a. より、次のように求める。

$$A_m = \frac{1}{3} \cdot P \cdot \frac{S'}{S} = \text{ MPa}$$

ここに、

$$P : \text{最高使用圧力} \\ = 310 \text{ kPa}$$

$$S' : \text{炭素鋼の } 10^6 \text{ 回の繰返しに対する許容ピーク応力強さ} \\ = \text{ MPa}$$

$$S : \text{許容引張応力} \\ = \text{ MPa}$$

したがって、疲労解析が不要となる圧力変動の全振幅は、負荷運転時における圧力変動の全振幅 (MPa) より大きくなるので本条項を満足している。

(3) 起動、運転、停止サイクル中の任意の 2 点間の温度差の検討

(設計・建設規格 PVB-3140(3))

解析の対象となる任意の 2 点間の距離は PVB-3140(3) より、次のように求める。

$$p = 2 \cdot \sqrt{R \cdot t} = \text{ mm}$$

ここに、

$$R : \text{スリーブの半径} \\ = \text{ mm}$$

t : スリーブの板厚

$$= \boxed{} \text{ mm}$$

は p の値が最大となるように選ぶ。

疲労解析が不要となる任意の 2 点間の最大温度差は PVB-3140 (3) より、次のように求める。

$$T = \frac{S_a}{2 \cdot E \cdot \alpha} = \boxed{} \text{ } ^\circ\text{C}$$

ここに、

S_a : 炭素鋼の $\boxed{}$ 回の繰返しに対する許容ピーク応力強さ

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

E : 炭素鋼の縦弾性係数

$$= \boxed{} \text{ MPa (} \boxed{} \text{ } ^\circ\text{C における値)}$$

α : 炭素鋼の瞬時熱膨張係数

$$= \boxed{} \text{ mm/mm}\cdot^\circ\text{C (} \boxed{} \text{ } ^\circ\text{C における値)}$$

ここで、T は設計上の最大温度差 161°C ($171^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}$) より大きい。したがって、任意の 2 点間の最大温度差は T の値を超えることはないので本条項を満足している。

(4) 負荷運転中の任意の 2 点間の温度差の変動の全振幅の検討

(設計・建設規格 PVB-3140 (4))

負荷運転中の温度変動の数を $\boxed{}$ 回とすると疲れ解析が不要となる最大温度差は (3) 項に示す T と全く同じになる。

したがって、負荷運転時の任意の 2 点間の最大温度差の変動の全振幅は、(3) 項に示す T を超えることはないので本条項を満足している。

(5) 負荷運転時の異種材結合部の温度差の検討

(設計・建設規格 PVB-3140 (5))

疲労解析の対象となる異種材結合部の最小温度差は PVB-3140 (5) a. より、次のように求める。

$$T = \frac{S'}{2 \cdot (E_1 \cdot \alpha_1 - E_2 \cdot \alpha_2)}$$
$$= \boxed{} \text{ } ^\circ\text{C}$$

ここに、

S' : 炭素鋼の 10^6 回の繰返しに対する許容ピーク応力強さ

E_1 : STS480 の縦弾性係数

$$= \boxed{} \text{ MPa (} \boxed{} \text{ } ^\circ\text{C における値)}$$

α_1 : STS480 の瞬時熱膨張係数

$$= \boxed{} \text{ mm/mm}\cdot^\circ\text{C (} \boxed{} \text{ } ^\circ\text{C における値)}$$

E_2 : SGV480 の縦弾性係数

= MPa (°Cにおける値)

α_2 : SGV480 の瞬時熱膨張係数

= mm/mm・°C (°Cにおける値)

したがって、疲労解析が不要となる異種材結合部の許容最小温度差は温度差 161°C (171°C - 10°C) より大きくなるので本条項を満足している。

(6) 容器に接続される管からの反力その他機械的荷重及び地震動による

応力の全振幅の検討 (設計・建設規格 PVB-3140(6))

荷重の繰返し回数 回に対応する許容ピーク応力強さは、設計基準対象施設としては MPa、重大事故等対処設備としては MPa となる。ここで、原子炉格納容器の機械的荷重及び地震動による応力の全振幅はいかなる場所でも設計基準対象施設としては MPa、重大事故等対処設備としては MPa を超えることのないよう設計しているので本条項を満足している。

添付資料 2 X-253 に対する疲労評価の必要性の検討

原子炉格納容器配管貫通部 (X-253) のスリーブについて、設計・建設規格 PVB-3140 を適用して疲労解析が不要となることを以下の(1)～(6)に示す。

ここで、繰返し荷重としてかかるサイクル数はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」による。

(1) 大気圧から運転圧になり、再び大気圧に戻るサイクル数の検討

(設計・建設規格 PVB-3140(1))

設計・建設規格に定められる許容引張応力 S の 3 倍の値は $3 \times$ MPa であり、これに対応する許容繰返し回数 N は である。ここで設計・建設規格に示される運転圧力を原子炉格納容器の最高使用圧力と対応させてみると、その回数は 回で N より小さいので本条項を満足している。

(2) 負荷運転時における圧力変動の全振幅の検討

(設計・建設規格 PVB-3140(2))

疲労解析の対象となる圧力変動の全振幅は PVB-3140(2)a. より、次のように求める。

$$A_m = \frac{1}{3} \cdot P \cdot \frac{S'}{S} = \text{ MPa}$$

ここに、

$$P : \text{最高使用圧力} \\ = 310 \text{ kPa}$$

$$S' : \text{炭素鋼の } 10^6 \text{ 回の繰返しに対する許容ピーク応力強さ} \\ = \text{ MPa}$$

$$S : \text{許容引張応力} \\ = \text{ MPa}$$

したがって、疲労解析が不要となる圧力変動の全振幅は、負荷運転時における圧力変動の全振幅 (MPa) より大きくなるので本条項を満足している。

(3) 起動、運転、停止サイクル中の任意の 2 点間の温度差の検討

(設計・建設規格 PVB-3140(3))

解析の対象となる任意の 2 点間の距離は PVB-3140(3) より、次のように求める。

$$p = 2 \cdot \sqrt{R \cdot t} = \text{ mm}$$

ここに、

$$R : \text{スリーブの半径} \\ = \text{ mm}$$

t : スリーブの板厚

$$= \boxed{} \text{ mm}$$

は p の値が最大となるように選ぶ。

疲労解析が不要となる任意の 2 点間の最大温度差は PVB-3140(3) より、次のように求める。

$$T = \frac{S_a}{2 \cdot E \cdot \alpha} = \boxed{} \text{ } ^\circ\text{C}$$

ここに、

S_a : ステンレス鋼 の $\boxed{}$ 回の繰返しに対する許容ピーク応力強さ

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

E : ステンレス鋼 の縦弾性係数

$$= \boxed{} \text{ MPa (} \boxed{} \text{ } ^\circ\text{C における値)}$$

α : ステンレス鋼 の瞬時熱膨張係数

$$= \boxed{} \text{ mm/mm} \cdot ^\circ\text{C (} \boxed{} \text{ } ^\circ\text{C における値)}$$

ここで、T は設計上の最大温度差 94°C ($104^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}$) より大きい。したがって、任意の 2 点間の最大温度差は T の値を超えることはないので本条項を満足している。

(4) 負荷運転中の任意の 2 点間の温度差の変動の全振幅の検討

(設計・建設規格 PVB-3140(4))

負荷運転中の温度変動の数を $\boxed{}$ 回とすると疲れ解析が不要となる最大温度差は(3)項に示す T と全く同じになる。

したがって、負荷運転時の任意の 2 点間の最大温度差の変動の全振幅は、(3)項に示す T を超えることはないので本条項を満足している。

(5) 負荷運転時の異種材結合部の温度差の検討

(設計・建設規格 PVB-3140(5))

X-253 のスリーブ及びフランジプレートの使用材料の縦弾性係数及び熱膨張係数の値は同じであるため、異種材結合部の温度差の検討は不要である。

(6) 容器に接続される管からの反力その他機械的荷重及び地震動による

応力の全振幅の検討 (設計・建設規格 PVB-3140(6))

荷重の繰返し回数 $\boxed{}$ 回に対応する許容ピーク応力強さは、設計基準対象施設としては $\boxed{}$ MPa、重大事故等対処設備としては $\boxed{}$ MPa となる。ここで、原子炉格納容器の機械的荷重及び地震動による応力の全振幅はいかなる場所でも設計基準対象施設としては $\boxed{}$ MPa、重大事故等対処設備としては $\boxed{}$ MPa を超えることのないよう設計しているため本条項を満足している。