

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7号機 工事計画審査資料 | |
| 資料番号 | KK7添-2-041-12 改1 |
| 提出年月日 | 2020年8月19日 |

V-2-10-1-2-2-3 第一ガスタービン発電機用燃料タンクの耐震性についての計算書

K7 ① V-2-10-1-2-2-3 R0

2020年8月
東京電力ホールディングス株式会社

V-2-10-1-2-2-3 第一ガスタービン発電機用燃料タンクの
耐震性についての計算書

目 次

| | |
|-----------------------|---|
| 1. 概要 | 1 |
| 2. 一般事項 | 1 |
| 2.1 構造計画 | 1 |
| 3. 固有周期 | 3 |
| 3.1 固有周期の計算 | 3 |
| 4. 構造強度評価 | 4 |
| 4.1 構造強度評価方法 | 4 |
| 4.2 荷重の組合せ及び許容応力 | 4 |
| 4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 | 4 |
| 4.2.2 許容応力 | 4 |
| 4.2.3 使用材料の許容応力評価条件 | 4 |
| 4.3 計算条件 | 4 |
| 5. 評価結果 | 9 |
| 5.1 重大事故等対処設備としての評価結果 | 9 |

1. 概要

本計算書は、V-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、第一ガスタービン発電機用燃料タンク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。

第一ガスタービン発電機用燃料タンク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、重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、第一ガスタービン発電機用燃料タンクは、V-2-1-14「計算書作成の方法」に記載の横置一胴円筒形容器であるため、V-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-4 横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

第一ガスタービン発電機用燃料タンクの構造計画を表 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>胴を脚で支持し、脚を基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p> | <p>両端に鏡板を有する横置円筒形容器</p> | <p style="text-align: right;">(単位：mm)</p> |

3. 固有周期

3.1 固有周期の計算

理論式により固有周期を計算する。固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【第一ガスタービン発電機用燃料タンクの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

計算の結果、固有周期は0.05秒以下であり、剛であることを確認した。固有周期の計算結果を表3-1に示す。

表 3-1 固有周期 (単位:s)

| | |
|----|-------|
| 水平 | 0.028 |
| 鉛直 | 0.007 |

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

第一ガスタービン発電機用燃料タンクの構造強度評価は、V-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-4 横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

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

第一ガスタービン発電機用燃料タンクの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

第一ガスタービン発電機用燃料タンクの許容応力は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 及び表 4-3 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

第一ガスタービン発電機用燃料タンクの使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-4 に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【第一ガスタービン発電機用燃料タンクの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 4-1 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*1 | 機器等の区分 | 荷重の組合せ | 許容応力状態 |
|-------------|-------------|-----------------------|------------------|--------|-------------------------------|---------------------------------------|
| 非常用電源 設備 | 非常用発電 装置 | 第一ガスタービン発電機用 燃料タンク | 常設耐震/防止 常設/緩和 | —*2 | $D + P_D + M_D + S_s$ *3 | IVAS |
| | | | | | $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ | VAS (VASとして IVASの許容限界 を用いる。) |

注記*1：「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，及び「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：重大事故等クラス2容器及び重大事故等クラス2支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-2 許容応力（重大事故等クラス 2 容器）

| 許容応力状態 | 許容限界*1, *2 | | | |
|---|--------------------|------------------|---|-----------------|
| | 一次一般膜応力 | 一次膜応力＋ 一次曲げ応力 | 一次＋二次応力 | 一次＋二次＋ ピーク応力 |
| IV _A S | 0.6・S _u | 左欄の 1.5 倍の値 | 基準地震動 S _s のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし、地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が 2・S _y 以下であれば、疲労解析は不要。 | |
| V _A S (V _A S として IV _A S の許容限界を用いる。) | | | | |

注記*1：座屈による評価は、クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

*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 (重大事故等クラス 2 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 | |
| | 引張り | 引張り | せん断 |
| IV _A S | 1.5・ft [*] | 1.5・ft [*] | 1.5・fs [*] |
| V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。) | | | |

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 4-4 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

| 評価部材 | 材料 | 温度条件 (°C) | | S (MPa) | S _y (MPa) | S _u (MPa) | S _y (R T) (MPa) |
|-------|--------------------------|--------------|----|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| | | | | | | | |
| 胴板 | SM400B (16mm<厚さ≤40mm) | 最高使用温度 | 66 | — | 225 | 385 | — |
| 脚 | SM400B (16mm<厚さ≤40mm) | 周囲環境温度 | 50 | — | 231 | 394 | — |
| 基礎ボルト | SNB7 (径≤63mm) | 周囲環境温度 | 50 | — | 715 | 838 | — |

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

第一ガスタービン発電機用燃料タンクの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，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確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【第一ガスタービン発電機用燃料タンクの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

| 機器名称 | 設備分類 | 据付場所及び床面高さ (m) | 固有周期 (s) | | 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | | 基準地震動 S _s | | 最高使用圧力 (MPa) | 最高使用温度 (°C) | 周囲環境温度 (°C) | 比重 |
|-----------------------|------------------|----------------------------|----------|-------|-----------------------------------|--------------|----------------------|----------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------------|
| | | | 水平方向 | 鉛直方向 | 水平方向 設計震度 | 鉛直方向 設計震度 | 水平方向 設計震度 | 鉛直方向 設計震度 | | | | |
| 第一ガスタービン 発電機用燃料タンク | 常設耐震/防止 常設/緩和 | GTGLOT 内部 T.M.S.L. 6.9* | 0.028 | 0.007 | — | — | C _H =0.68 | C _V =0.77 | 静水頭 | 66 | 50 | <input type="text"/> |

注記*：基準床レベルを示す。

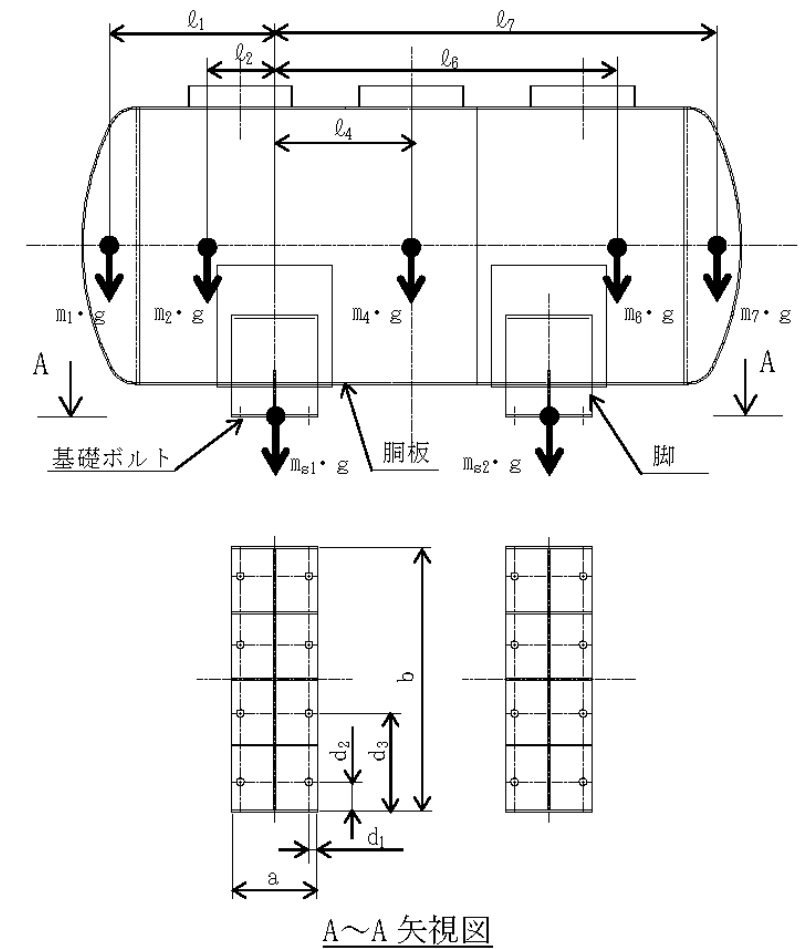
1.2 機器要目

| m ₁ (kg) | m ₂ (kg) | m ₃ (kg) | m ₄ (kg) | m ₅ (kg) | m ₆ (kg) | m ₇ (kg) |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| <input type="text"/> | <input type="text"/> | — | <input type="text"/> | — | <input type="text"/> | <input type="text"/> |

| ℓ ₁ (mm) | ℓ ₂ (mm) | ℓ ₃ (mm) | ℓ ₄ (mm) | ℓ ₅ (mm) | ℓ ₆ (mm) | ℓ ₇ (mm) | M ₁ (N・mm) | M ₂ (N・mm) | R ₁ (N) | R ₂ (N) |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|
| <input type="text"/> | <input type="text"/> | — | <input type="text"/> | — | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |

| m ₀ (kg) | m _{s1} (kg) | m _{s2} (kg) | D _i (mm) | t (mm) | t _e (mm) | ℓ ₀ (mm) | h ₁ (mm) | h ₂ (mm) | θ _w (rad) | ℓ _w (mm) |
|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-----------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | 3200 | 20 | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |

| C ₁ (mm) | C ₂ (mm) | I _{sx} (mm ⁴) | I _{sy} (mm ⁴) | Z _{sx} (mm ³) | Z _{sy} (mm ³) | θ ₀ (rad) | θ (rad) |
|------------------------|------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|----------------------|
| <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |



K7 ① V-2-10-1-2-2-3 R0

| A_s (mm^2) | E_s (MPa) | G_s (MPa) | A_{s1} (mm^2) | A_{s2} (mm^2) | A_{s3} (mm^2) | A_{s4} (mm^2) |
|----------------------------|----------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | | | | | | |

| K_{11}^{*3} | K_{12}^{*3} | K_{21}^{*3} | K_{22}^{*3} | K_{l1} | K_{l2} | K_{c1} | K_{c2} | C_{l1} | C_{l2} | C_{c1} | C_{c2} |
|---------------|---------------|---------------|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | | | | | | | | | | |

| s | n | n_1 | n_2 | a (mm) | b (mm) | d (mm) | A_b (mm^2) | d_1 (mm) | d_2 (mm) | d_3 (mm) |
|---|---|-------|-------|-----------|-----------|-----------|----------------------------|---------------|---------------|---------------|
| | | | | | | | | | | |

| S_y (胴板) (MPa) | S_u (胴板) (MPa) | S (胴板) (MPa) | S_y (脚) (MPa) | S_u (脚) (MPa) | F (脚) (MPa) | F^* (脚) (MPa) | S_y (基礎ボルト) (MPa) | S_u (基礎ボルト) (MPa) | F (基礎ボルト) (MPa) | F^* (基礎ボルト) (MPa) |
|-------------------------------------|---------------------|-----------------|-------------------------------------|--------------------|----------------|--------------------|-------------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|
| 225 ^{*4} (16mm<厚さ≤40mm) | 385 ^{*4} | — | 231 ^{*2} (16mm<厚さ≤40mm) | 394 ^{*2} | — | 276 | 715 ^{*2} (径≤63mm) | 838 ^{*2} | — | 586 |

注記*1：本計算においては当板を有効とした。

*2：周囲環境温度で算出

*3：表中で上段は一次応力，下段は二次応力の係数とする。

*4：最高使用温度で算出

K7 ① V-2-10-1-2-2-3 R0

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

| 地震の種類 地震の方向 応力の方向 | 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | | | | 基準地震動 S _s | | | |
|----------------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|-----------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|
| | 長手方向 | | 横方向 | | 長手方向 | | 横方向 | |
| | 周方向応力 | 軸方向応力 | 周方向応力 | 軸方向応力 | 周方向応力 | 軸方向応力 | 周方向応力 | 軸方向応力 |
| 内圧による応力 | — | — | — | — | $\sigma_{\phi 1} = 3$ | $\sigma_{x 1} = 1$ | $\sigma_{\phi 1} = 3$ | $\sigma_{x 1} = 1$ |
| 内圧による応力 (鉛直方向地震時) | — | — | — | — | $\sigma_{\phi 2} = 2$ | — | $\sigma_{\phi 2} = 2$ | — |
| 運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力 | — | — | — | — | — | $\sigma_{x 2} = 5$ | — | $\sigma_{x 2} = 5$ |
| 鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力 | — | — | — | — | — | $\sigma_{x 6} = 4$ | — | $\sigma_{x 6} = 4$ |
| 長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力 | — | — | — | — | — | $\sigma_{x 413} = 3$ | — | — |
| 組合せ応力 | — | | — | | $\sigma_{0\ell} = 12$ | | $\sigma_{0c} = 10$ | |

(2) 一次応力

(単位：MPa)

| 地震の種類 地震の方向 応力の方向 | 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | | | | 基準地震動 S _s | | | | |
|----------------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|----------------------|
| | 長手方向 | | 横方向 | | 長手方向 | | 横方向 | | |
| | 周方向応力 | 軸方向応力 | 周方向応力 | 軸方向応力 | 周方向応力 | 軸方向応力 | 周方向応力 | 軸方向応力 | |
| 内圧による応力 | — | — | — | — | $\sigma_{\phi 1} = 3$ | $\sigma_{x 1} = 1$ | $\sigma_{\phi 1} = 3$ | $\sigma_{x 1} = 1$ | |
| 内圧による応力 (鉛直方向地震時) | — | — | — | — | $\sigma_{\phi 2} = 2$ | — | $\sigma_{\phi 2} = 2$ | — | |
| 運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力 | — | — | — | — | — | $\sigma_{x 2} = 5$ | — | $\sigma_{x 2} = 5$ | |
| 鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力 | — | — | — | — | — | $\sigma_{x 6} = 4$ | — | $\sigma_{x 6} = 4$ | |
| 運転時質量による脚反力 により生じる応力 | — | — | — | — | $\sigma_{\phi 3} = 5$ | $\sigma_{x 3} = 11$ | $\sigma_{\phi 3} = 5$ | $\sigma_{x 3} = 11$ | |
| 鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力 | — | — | — | — | $\sigma_{\phi 71} = 4$ | $\sigma_{x 71} = 9$ | $\sigma_{\phi 71} = 4$ | $\sigma_{x 71} = 9$ | |
| 水平方向地震 による応力 | 引張り | — | — | — | — | $\sigma_{\phi 411} = 7$ | $\sigma_{x 411} = 3$ | $\sigma_{\phi 51} = 9$ | $\sigma_{x 51} = 23$ |
| | | — | — | | | $\sigma_{\phi 412} = 3$ | $\sigma_{x 412} = 7$ | | |
| | | — | — | | | $\sigma_{\phi 41} = 10$ | $\sigma_{x 41} = 12$ | | |
| せん断 | — | | — | | $\tau_{\ell} = 13$ | | $\tau_c = 3$ | | |
| 組合せ応力 | — | | — | | $\sigma_{1\ell} = 47$ | | $\sigma_{1c} = 52$ | | |

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

| 地震の種類 地震の方向 応力の方向 | 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | | | | 基準地震動 S _s | | | | |
|----------------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|---|---|---|---|----------------------|
| | 長手方向 | | 横方向 | | 長手方向 | | 横方向 | | |
| | 周方向応力 | 軸方向応力 | 周方向応力 | 軸方向応力 | 周方向応力 | 軸方向応力 | 周方向応力 | 軸方向応力 | |
| 内圧による応力 (鉛直方向地震時) | — | — | — | — | $\sigma_{\phi 2} = 2$ | — | $\sigma_{\phi 2} = 2$ | — | |
| 鉛直方向地震による長手方向 曲げモーメントにより生じる応力 | — | — | — | — | — | $\sigma_{x 6} = 4$ | — | $\sigma_{x 6} = 4$ | |
| 鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力 | — | — | — | — | $\sigma_{\phi 71} = 4$ $\sigma_{\phi 72} = 33$ | $\sigma_{x 71} = 9$ $\sigma_{x 72} = 19$ | $\sigma_{\phi 71} = 4$ $\sigma_{\phi 72} = 33$ | $\sigma_{x 71} = 9$ $\sigma_{x 72} = 19$ | |
| 水平方向地震 による応力 | 引張り | — | — | — | — | $\sigma_{\phi 41} = 10$ | $\sigma_{x 41} = 12$ | $\sigma_{\phi 51} = 9$ | $\sigma_{x 51} = 23$ |
| | | — | — | — | — | $\sigma_{\phi 421} = 6$ $\sigma_{\phi 422} = 26$ | $\sigma_{x 421} = 10$ $\sigma_{x 422} = 15$ | $\sigma_{\phi 52} = 70$ | $\sigma_{x 52} = 29$ |
| | | — | — | — | — | $\sigma_{\phi 42} = 31$ | $\sigma_{x 42} = 25$ | | |
| | せん断 | — | — | — | — | $\tau_{\ell} = 13$ | $\tau_{c} = 3$ | | |
| 組合せ応力 | — | — | — | — | $\sigma_{2\ell} = 173$ | | $\sigma_{2c} = 231$ | | |

13

1.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

| 地震の種類 地震の方向 | 地震の種類 | 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | | 基準地震動 S _s | |
|----------------|-------|--------------------------------|-----|-----------------------|--------------------|
| | | 長手方向 | 横方向 | 長手方向 | 横方向 |
| 運転時質量による応力 | 圧縮 | — | — | $\sigma_{s1} = 2$ | $\sigma_{s1} = 2$ |
| 鉛直方向地震による応力 | 圧縮 | — | — | $\sigma_{s4} = 2$ | $\sigma_{s4} = 2$ |
| 水平方向地震による応力 | 曲げ | — | — | $\sigma_{s2} = 16$ | $\sigma_{s3} = 4$ |
| | せん断 | — | — | $\tau_{s2} = 7$ | $\tau_{s3} = 5$ |
| 組合せ応力 | | — | — | $\sigma_{s\ell} = 23$ | $\sigma_{sc} = 11$ |

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

| 地震の種類 地震の方向 | 地震の種類 | 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | | 基準地震動 S _s | |
|-------------------------|-------|--------------------------------|-----|----------------------|--------------------|
| | | 長手方向 | 横方向 | 長手方向 | 横方向 |
| 鉛直方向地震及び水 平方向地震による応力 | 引張り | — | — | $\sigma_{b1} = 61$ | $\sigma_{b2} = 16$ |
| 水平方向地震による 応力 | せん断 | — | — | $\tau_{b1} = 36$ | $\tau_{b2} = 18$ |

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

| 方向 | 固有周期 |
|------|---------------|
| 長手方向 | $T_1 = 0.028$ |
| 横方向 | $T_2 = 0.022$ |
| 鉛直方向 | $T_3 = 0.007$ |

1.4.2 応力 (単位: MPa)

| 部材 | 材料 | 応力 | 弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度 | | 基準地震動 S _s | |
|-------|--------|-------|--------------------------------|------|----------------------|------------------|
| | | | 算出応力 | 許容応力 | 算出応力 | 許容応力 |
| 胴板 | SM400B | 一次一般膜 | — | — | $\sigma_o = 12$ | $S_a = 231$ |
| | | 一次 | — | — | $\sigma_1 = 52$ | $S_a = 346$ |
| | | 一次+二次 | — | — | $\sigma_2 = 231$ | $S_a = 450$ |
| 脚 | SM400B | 組合せ | — | — | $\sigma_s = 23$ | $f_t = 276$ |
| 基礎ボルト | SNB7 | 引張り | — | — | $\sigma_b = 61$ | $f_{ts} = 439^*$ |
| | | せん断 | — | — | $\tau_b = 36$ | $f_{tb} = 338$ |

すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$