

リサイクル燃料備蓄センター
設計及び工事の計画の変更認可申請書
(補足説明資料)

受入れ区域天井クレーンの耐震性

目次

1. 目的	1
2. 設計開発プロセス	1
2. 1 設計開発へのインプット要求事項の変更	1
2. 2 既設工認の設計での耐震評価	1
2. 3 既設工認からの変更点	1
2. 4 トロリストopp耐震強化	1
3. 工事の方法	2
3. 1 工事の手順	2
3. 2 工事上の留意事項	3
4. 受入れ区域天井クレーン耐震評価	4
4. 1 耐震評価	4
4. 2 固有周期の算出について	5
4. 3 設計用地震力	7
4. 3. 1 Bクラス評価	7
4. 3. 2 安全検討について	9
4. 4 許容応力について	10
4. 5 トロリストopp固定ボルト評価	11
4. 5. 1 計算条件	11
4. 5. 2 計算方法	11
4. 5. 3 応力の評価	13
4. 5. 4 評価結果	13
4. 6 トロリストopp溶接部評価	14
4. 6. 1 計算条件	14
4. 6. 2 計算方法	14
4. 6. 3 応力の評価	16
4. 6. 4 評価結果	16
4. 7 トロリストopp受け側評価	17

1. 目的

本資料は、設工認申請書において既認可の設計及び工事の方法（平成 22 年認可）（以下「既設工認」という。）から変更となる受入れ区域天井クレーンについてその設計開発プロセス及び工事の方法について説明するものである。

また、受入れ区域天井クレーンの耐震評価について説明する。

2. 設計開発プロセス

2. 1 設計開発へのインプット要求事項の変更

基準地震動の変更に伴い、耐震評価における設計用地震力の変更を行い受入れ区域天井クレーンの耐震評価を実施する。

2. 2 既設工認の設計での耐震評価

既設工認の設計においてトロリストッパの強度が不足していることが確認された。そのためトロリストッパの耐震強化を実施する。

2. 3 既設工認からの変更点

既設工認からの変更点について表 1 に記載する。

表 1 既設工認からの変更点

設備名	設計変更	要目表	添付書類
受入れ区域天井クレーン	トロリストッパの材料及び寸法の変更	変更なし	「添付 5-5-1 受入れ区域天井クレーンの耐震性に関する計算書」

2. 4 トロリストッパ耐震強化

トロリストッパの耐震強化について変更点を表 2 に示すとともにトロリストッパを図 1 に示す。

表 2 トロリストッパ変更点

部材	耐震補強内容	変更前	変更後
トロリストッパ	材料	SS400	SM490A
	寸法		

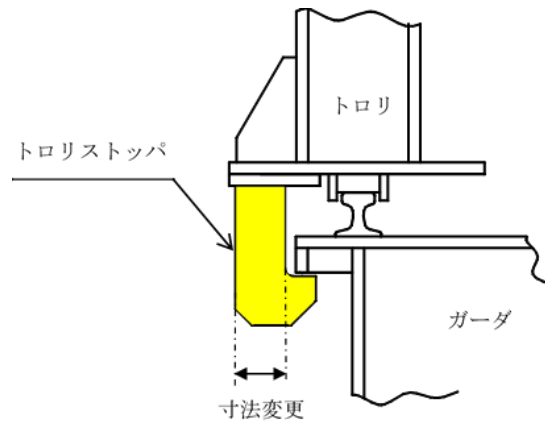


図1 トロリストoppa

3. 工事の方法

受入れ区域天井クレーンの耐震補強工事について工事の手順及び工事上の留意事項について以下に記載する。

3. 1 工事の手順

設工認申請書「別添Ⅲ 1 工事の方法（金属キャスク以外の設備）図1-1 工事の手順と使用前事業者検査のフロー」に沿って工事を実施する。工事の手順について以下に記載する。

(1) 材料入手・加工・組立

以下の手順により工事及び検査を行う。

- ・部品の製作を実施する製作工場は、当事業所指定の材料を材料証明書とともに入手する。
- ・当事業所より提出した製作図を基に部品の製作加工を実施する。
- ・製作された部品について製作工場にて「構造，強度又は漏えいに係る検査」及び「機能又は性能に係る検査」を実施する。

(2) 部品の受入れ

- ・製作された部品について当事業所にて受入検査を実施する。

(3) 組立て・据付

- ・仮設足場を設置し、既存のトロリストoppaを取り外し製作されたトロリストoppaを受入れ区域天井クレーントロリに取り付ける。
- ・組立て・据付後に「構造，強度又は漏えいに係る検査」，「機能又は性能に係る検査」及び「基本設計方針検査」を実施する。
- ・検査の合格をもって完了とする。

3. 2 工事上の留意事項

設工認申請書「別添Ⅲ 1 工事の方法（金属キャスク以外の設備）3. 工事上の留意事項」に記載の項目のうち受入れ区域天井クレーンの耐震補強工事における留意事項を以下に記載する。

- a. 設置の工事を行う使用済燃料貯蔵施設の機器等について、周辺資機材及び環境条件からの悪影響や劣化等を受けないよう、保管・設置エリアを区画し、シート等で養生を行う。作業環境を維持するために4S（整理、整頓、清潔、清掃）に努めるとともに、放射線の影響を受けないようにする。機器に開口部がある場合には、開口部からの異物の混入がないように養生を行う等の必要な措置を講じる。
- b. 工事に当たっては、既設の機器等へ悪影響を与えないよう、現場状況、作業環境及び作業条件を把握し、作業に潜在する危険性又は有害性や工事用資機材から想定される影響を確認する。作業開始前にフェンスまたはロープ等による区画及びシート類による養生を行い、作業エリアを設定し、人と物の出入りを制限する。作業に伴い持ち込む可燃性物品を極力少なくする。火花等が発生する作業を行う場合は、作業エリア周辺に可燃物・危険物がないことを確認し、作業エリアを不燃物又は難燃物で区画し消火器を設置する。作業に伴い機器・配管等の開口部が発生する場合には、異物混入防止管理エリアを設定して工具・機材の出入りの管理を行う等の必要な措置を講じる。
- d. 使用済燃料貯蔵施設の状況に応じて、検査・試験、試運転等の各段階における工程を管理する。
- e. 設置又は変更の工事を行う使用済燃料貯蔵施設の機器等について、供用開始後に必要な機能・性能を発揮できるよう製造から供用開始までの間、維持する。設置後、長期間経ている機器等については、供用開始前までに点検を実施する。
- g. 修理の方法は、基本的に「図1-1 工事の手順と使用前事業者検査のフロー」の手順により行うこととし、機器等の全部又は一部について、撤去、切断、切削又は取外しを行い、据付、溶接又は取付け、若しくは同等の方法により、同等仕様又は性能・強度が改善されたものに取替えを行う等、機器等の機能維持又は回復を行う。また、機器等の一部撤去、一部撤去の既設端部について閉止板の取付け若しくは同等の方法により適切な処置を実施する。

4. 受入れ区域天井クレーン耐震評価

4. 1 耐震評価

(1) 評価方法

既設工認で用いている評価方法からの変更点はない。

(2) 評価箇所

既設工認で評価を行っている評価部位から変更点はない。

なお、評価箇所については原子力発電所耐震設計技術規定（J E A C 4601-2008）において、評価箇所はガーダ、フレーム本体、転倒・脱線防止装置、走行レールとの記載があり、この評価箇所を基本として耐震評価を行う。

そのためトロリに関しては、固有値の算出及び応力評価の際には、質点として考慮している。

トロリの横行方向については、トロリは車輪が横行レールに拘束されること、トロリストップパによってもトロリ横行方向に脱線することを防止していることからガーダに作用する加重として計上される。なお、方向がガーダ走行方向と同様のため、走行車輪の摩擦係数以上の荷重はかからないこととなる。トロリの水平地震動の考え方を図2に示す。トロリの設計震度に関しては「添付5-5-1 受入れ区域天井クレーンの耐震性に関する計算書」（以下「添付5-5-1」という。）の「5.1 固有周期の評価*」において「ガーダの走行及びトロリの走行、横行方向については、3.1節で述べた最大静止摩擦係数より求めた値を水平方向設計震度とする。」と記載している。

*「添付5-5-1 5.1 固有周期の評価」については、記載内容が水平及び鉛直震度の説明の説明となっているため、補正にてタイトルを「5.1 応力評価における設計震度の設定」に変更する。

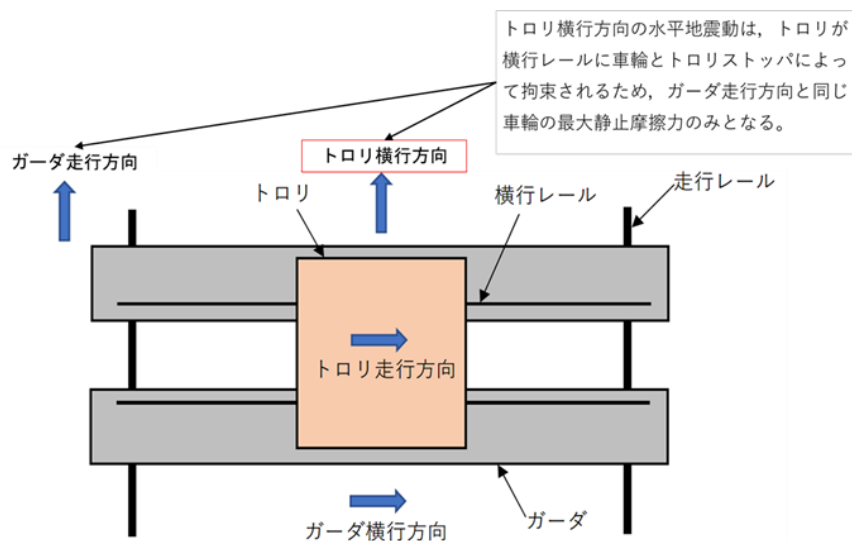


図2 トロリ水平地震力の考え方

(3) 耐震強化

トロリストッパの材料及び寸法の変更を行う。

(4) ランウェイガータの耐震評価

ランウェイガータの耐震評価については、受入れ区域天井クレーンの支持構造物であるが使用済燃料貯蔵建屋の評価箇所のため「添付5-2-1 使用済燃料貯蔵建屋の耐震性に関する計算書」に記載している。評価に当たっては基準地震動 S_s によって発生する受入れ区域天井クレーンからの反力について考慮し評価を実施している。

なお、トロリストッパの耐震補強においてランウェイガータへの影響はないため、ランウェイガータの改造はない。

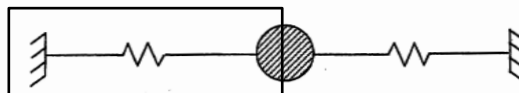
4. 2 固有周期の算出について

設工認申請書「添付5-5-1 4.1 固有周期の計算方法」について説明する。

固有周期は、受入れ区域天井クレーンを単純なモデルとし、手計算において算出する。

(1) 横行方向 (NS 方向)

1本のガータ中央部にトロリ質量の半分が2つのばねで固定されていると仮定する。



固有周期の算出においては、の範囲を考える。

「機械設計便覧」 「8.4 固有振動数の表」 の「表 8.6 固有角振動数の表-1 自由度系」 の「1.ばね-質量」より

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m + (m_s / 3)}}$$

ここで、 m はトロリ質量の $1/2 \times m_t / 2$ に相当し、 m_s はガータ質量 $1/2 \times m_g$ に相当し、ばね定数 k は以下の式より求められる。

$$k = \sqrt{\frac{A \cdot E}{\ell / 2}}$$

m_t : トロリ質量 (フック, ワイヤロープ含む)
 m_g : ガータ 1 本あたりの質量
 A : ガータ中央部の断面積
 E : 縦弾性係数
 ℓ : 走行レール間距離

固有周期 T は以下の式により求められる。

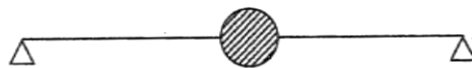
$$T = \frac{2 \cdot \pi}{\omega_n}$$

上記より「添付 5-5-1 4.1.2 横行方向 (NS 方向)」記載の以下の式となる。

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\ell \cdot \left(\frac{m_t \cdot g}{2} + \frac{m_g \cdot g}{3} \right)}{2 \cdot 2 \cdot A \cdot E \cdot g \cdot 10^3}} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\ell \cdot (3 \cdot m_t + 2 \cdot m_g)}{24 \cdot A \cdot E \cdot 10^3}}$$

(2) 鉛直方向 (UD 方向)

1 本のガータ中央部にトロリ質量の半分が集中する単純支持はりとする。



「機械設計便覧」 「8.4 固有振動数の表」 の 「表 8.6 固有角振動数の表-1 自由度系」 の 「6. 中央に質量を持つ両端支持はり」 より

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m + 0.49 \cdot m_s}}$$

ここで, m は空荷時のトロリ質量の $m_t/2$ に相当し, 吊荷時はトロリ質量の $m_t/2$ 及び定格荷重 $m_m/2$ に相当し, m_s はガータ質量 m_g に相当し, ばね定数 k は以下の式より求められる。

$$k = \sqrt{\frac{48 \cdot E \cdot I_x}{\ell^3}}$$

また, $0.49 \doteq 0.5$ とする。

- m_t : トロリ質量 (フック, ワイヤロープ含む)
- m_m : 主巻定格荷重 (質量)
- m_g : ガータ 1 本当たりの質量
- E : 縦弾性係数
- I_x : ガータ中央部の X 軸に対する断面二次モーメント
- ℓ : 走行レール間距離

固有周期 T は以下の式により求められる。

$$T = \frac{2 \cdot \pi}{\omega_n}$$

上記より「添付 5-5-1 4.1.3 鉛直方向 (UD 方向)」記載の以下の式となる。

- ・空荷時

$$T_{v1} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\ell^3 \cdot \left(\frac{m_t \cdot g}{2} + \frac{m_g \cdot g}{2} \right)}{48 \cdot E \cdot I_x \cdot g \cdot 10^3}} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\ell^3 \cdot (m_t + m_g)}{96 \cdot E \cdot I_x \cdot 10^3}}$$

- ・吊荷時

$$T_{v1} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\ell^3 \cdot \left(\frac{m_t \cdot g}{2} + \frac{m_g \cdot g}{2} + \frac{m_m \cdot g}{2} \right)}{48 \cdot E \cdot I_x \cdot g \cdot 10^3}} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\ell^3 \cdot (m_t + m_g + m_m)}{96 \cdot E \cdot I_x \cdot 10^3}}$$

4. 3 設計用地震力

4. 3. 1 B クラス評価

B クラス評価における設計用地震力について以下に記載するとともに表 3 に示す。

(1) 水平方向

a. 走行方向 (EW 方向)

最大静止摩擦力より算出する。

b. 横行方向 (NS 方向) ガーダ

4. 2 (1) において求められた固有周期 ($T=0.016$) より, 剛構造であることから, B クラスの静的地震力 ($1.8C_i$) とする。

c. 横行方向 (NS 方向) トロリ

最大静止摩擦力より算出する。

(2) 鉛直方向 (UD 方向)

4. 2 (2)において求められた固有周期 ($T=0.174$ (トロリがガーダ中央にある場合), $T=0.063$ (トロリがガーダ端部にある場合)) より, 共振のおそれのある機器と判断されることから, 弾性設計用地震動 S_d による受入れ区域天井クレーン設置レベルの設計用床応答曲線 (図 3) に 2 分の 1 を乗じた値とする。

表 3 設計用地震力 (Bクラス評価)

水平方向設計震度			鉛直方向設計震度	
走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)	横行方向 (NS 方向)	トロリがガーダ 中央にある場合	トロリがガーダ 端部にある場合
0.08	0.38	0.15	0.67	0.25

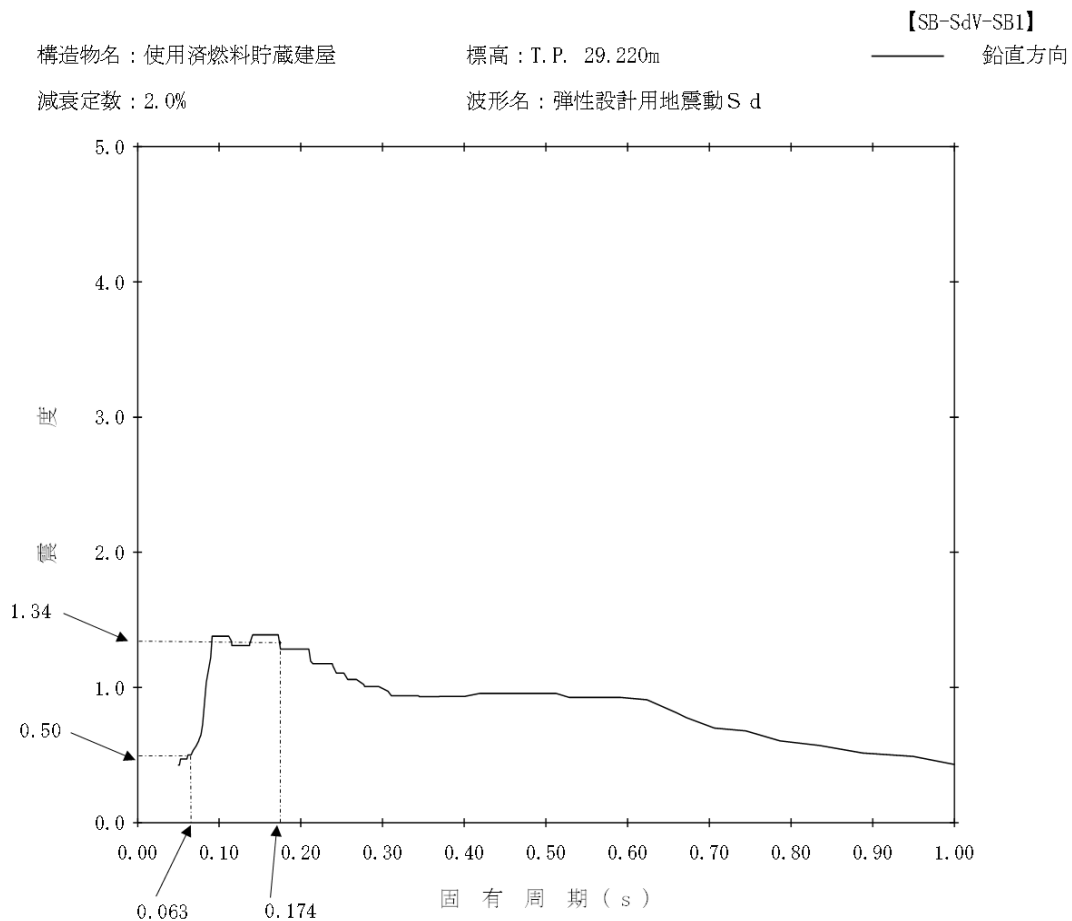


図 3 設計用床応答曲線 (S_d (鉛直))

4. 3. 2 安全検討について

受入れ区域天井クレーンにおいて、基準地震動 S_s による地震力が作用しても、基本的安全機能を損なわない設計とは、受入れ区域天井クレーンが落下しないことを確認することである。評価における設計用地震力について以下に記載するとともに表 4 に示す。

(1) 水平方向

a. 走行方向 (EW 方向)

最大静止摩擦力より算出する。

b. 横行方向 (NS 方向) ガーダ

4. 2 (1)において求められた固有周期 ($T=0.016$) より、剛構造であることから、受入れ区域天井クレーンの設置レベルにおける基準地震動 S_s による使用済燃料貯蔵建屋の最大応答加速度の 20% の割り増しより算出したものに余裕を持った保守的な設計地震力とする。

c. 横行方向 (NS 方向) トロリ

最大静止摩擦力より算出する。

(2) 鉛直方向 (UD 方向)

4. 2 (2)において求められた固有周期 ($T=0.174$ (トロリがガーダ中央にある場合), $T=0.063$ (トロリがガーダ端部にある場合)) より、基準地震動 S_s による受入れ区域天井クレーン設置レベルの設計用床応答曲線 (図 4) から保守的に設定した値または、基準地震動 S_s による使用済燃料貯蔵建屋の最大応答加速度の 20% の割り増しより算出したものに余裕を持った保守的な設計地震力とする。

表 4 設計用地震力 (S_s 機能維持)

水平方向設計震度			鉛直方向設計震度			
走行方向 (EW 方向)	横行方向 (NS 方向)	横行方向 (NS 方向)	トロリがガーダ中 央にある場合		トロリがガーダ端 部にある場合	
0.08	1.45* ¹ (1.35)	0.15	1.2ZPA	0.90* ¹ (0.71)	1.2ZPA	0.90* ¹ (0.71)
			設計用床 応答曲線	1.35* ² (0.91)	設計用床 応答曲線	3.07* ² (2.53)

* 1 : 括弧内は 1.2ZPA の値。設計では最大の 1.2ZPA に余裕を持った保守的な震度を設定

* 2 : 括弧内は設計用床応答曲線の値。設計では設計用床応答曲線の値に余裕を持った保守的な震度を設定

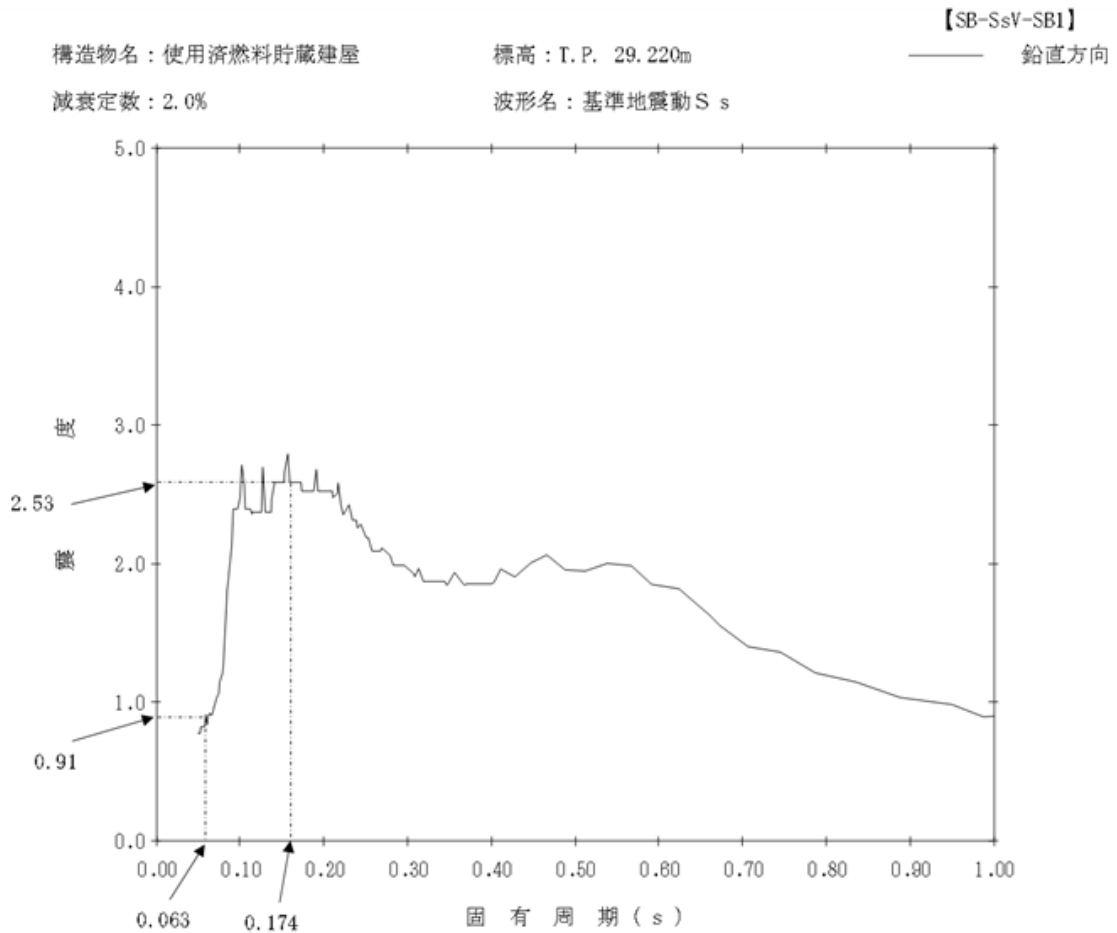


図4 設計用床応答曲線（S_s（鉛直））

4. 4 許容応力について

許容応力は、クレーン構造規格第2節許容応力第3条（鋼材に係る許容応力の値）及び第7条（許容応力値の割増し）より算出する。

本規格においては、基本許容応力値は、J I Sに定められた鋼材の降伏点又は耐力（S_y）、及び引張強さ（S_u）の最小値を基に求める。

また、安全検討においては、評価の趣旨（天井クレーンが落下しないことを確認する）を考慮し、基本許容応力値は、材料の降伏点又は耐力（S_y）とする。

ただし、レール鋼には同値（S_y）がないため、引張強さ（S_{u1}）より求める。

4. 5 トロリストoppa固定ボルト評価

トロリストoppaの固定ボルトについて計算方法及び計算結果について説明する。

なお、評価については発生する荷重の大きい、基準地震動 S_s による地震力による評価を記載する。

4. 5. 1 計算条件

トロリストoppaは4本の固定ボルトでトロリに取り付けられており、基準地震動 S_s による地震力によってトロリストoppaに発生する荷重に対する固定ボルトの引張応力及びせん断応力の評価を行う。

評価の計算モデルを図5に示す。

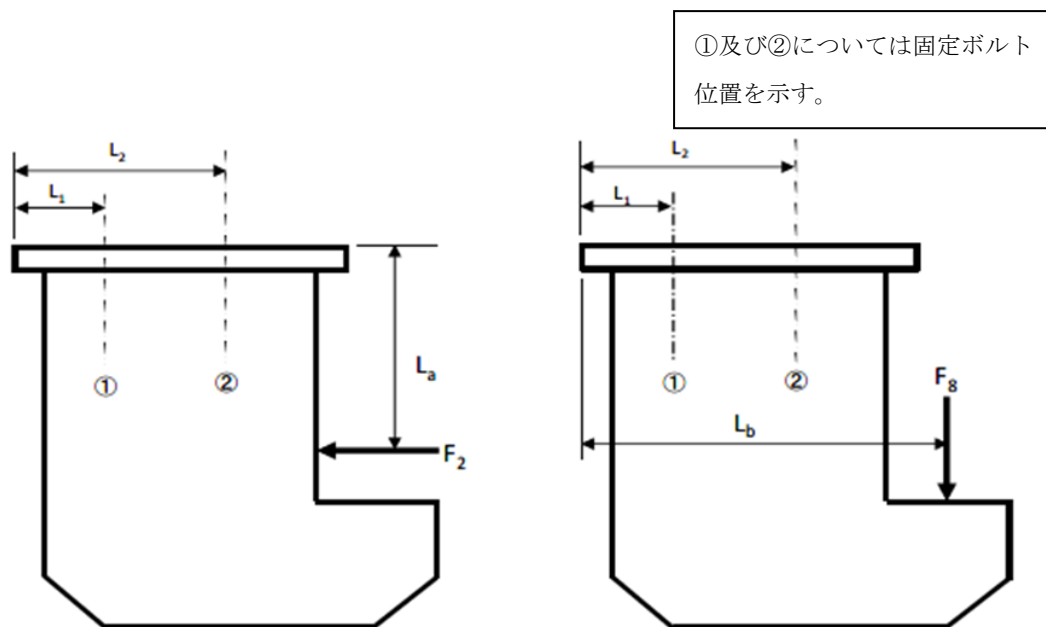


図5 トロリストoppa固定ボルト計算モデル

4. 5. 2 計算方法

(1) 固定ボルトに生じる引張応力及びせん断応力

a. 引張応力： σ

(a) 水平地震力による引張応力： σ_H

$$\sigma_H = \frac{F_{bH}}{A_n}$$

ここで F_{bH} は、基準点からのボルト位置①より②のほうが発生する荷重が大きいため、ボルト位置②について求める。

$$F_{bH} = \frac{F_2 \cdot L_a}{\frac{L_1}{L_2} \cdot L_1 \cdot n_1 + L_2 \cdot n_2}$$

$$A_n = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

F_2 : 水平地震力による荷重=16867.44[N]*

L_a : 水平地震力が作用する距離=267[mm]

L_1 : 基準点からボルト位置①までの距離=50[mm]

L_2 : 基準点からボルト位置②までの距離=150[mm]

n_1 : 基準点からボルト位置①でのボルト本数=2[本]

n_2 : 基準点からボルト位置②でのボルト本数=2[本]

d : 固定ボルトの呼び径=24[mm]

* 「添付 5-5-1 4.1.3 トロリストツパの応力」より

(b) 鉛直地震力による引張応力： σ_{v1}

$$\sigma_{v1} = \frac{F_8}{(n_1 + n_2) \cdot A_n}$$

ここで

F_8 : 水平地震力による荷重=218222.5[N]*

* 「添付 5-5-1 4.1.3 トロリストツパの応力」より

(c) 鉛直地震力による曲げによる引張応力（ボルト1本）： σ_{v2}

$$\sigma_{v2} = \frac{F_{bV}}{A_n}$$

ここで F_{bV} は、基準点からのボルト位置①より②のほうが発生する荷重が大きいため、ボルト位置②について求める。

$$F_{bV} = \frac{F_8 \cdot L_b}{\frac{L_1}{L_2} \cdot L_1 \cdot n_1 + L_2 \cdot n_2}$$

L_b : 鉛直地震力が作用する距離=265[mm]

(d) 固定ボルトに生じる合計引張応力： σ

$$\sigma = \sqrt{\sigma_H^2 + (\sigma_{V1} + \sigma_{V2})^2}$$

b. せん断応力： τ

$$\tau = \frac{F_2}{(n_1 + n_2) \cdot A_n}$$

c. 組合せ応力： σ_m

$$\sigma_m = \sqrt{(\sigma^2 + 3\tau^2)}$$

4. 5. 3 応力の評価

	許容引張応力 S_y	組合せ応力 f_t	許容せん断応力 f_s
計算式	S_y	$f_t = S_y$	$f_s = 0.21 \cdot f_t$

4. 5. 4 評価結果

【単位：MPa】

部材	材質 (ボルトの機械的性質による等級)	応力	算出応力	許容応力	判定
固定ボルト	F10T高力ボルト*	引張	505	900	良
		せん断	10	189	良
		組合せ	506	900	良

*JIS B 1186 「摩擦接合用高力六角ボルト・六角ナット・平座金のセット」規格品

4. 6 トロリストoppa溶接部評価

トロリストoppaの溶接については、すみ肉溶接とし発電用原子力設備規格溶接規格（J S M E S N B 1 - 2009）に基づき溶接を行う。溶接後の熱処理の応力除去作業についての規格要求はなく、過去の製造実績から必要はない。

トロリストoppaの溶接部の評価を以下に記載する。

4. 6. 1 計算条件

トロリストoppaの溶接は平板に対して垂直にL型の平板をすみ肉溶接にて溶接する。基準地震動 S_s による地震力によってトロリストoppaに発生する荷重に対するトロリストoppaの溶接部について応力の評価を行う。

評価の計算モデルを図6に示す。

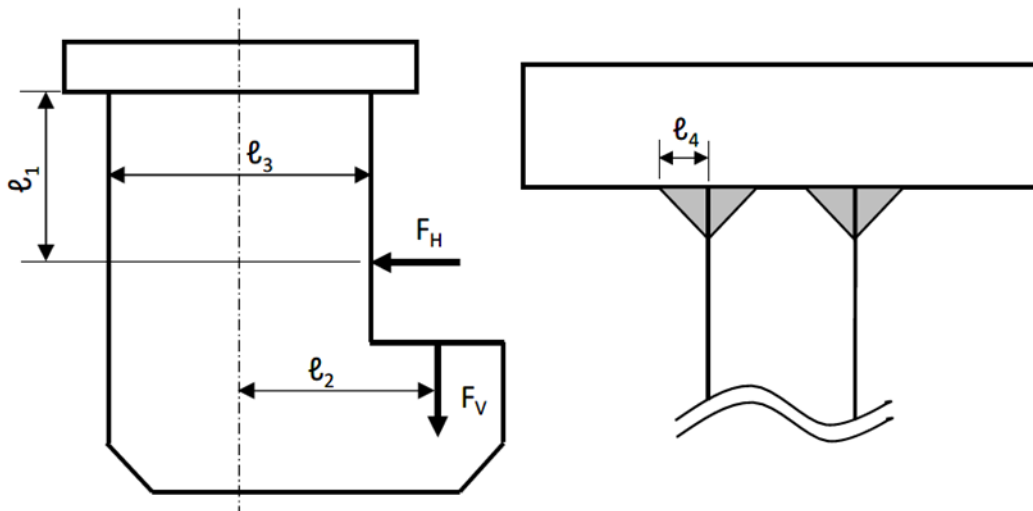


図6 トロリストoppa溶接部計算モデル

4. 6. 2 計算方法

(1) トロリストoppaに発生する水平地震力により溶接部へ発生する応力

a. トロリストoppa溶接部の曲げ（引張）応力： σ_1

$$\sigma_1 = \frac{M_1}{Z}$$

ここで

$$M_1 = F_H \cdot l_1$$

$$Z = \frac{2 \cdot h \cdot \ell_3^2}{6} \cdot 2$$

$$h = \frac{\ell_4}{\sqrt{2}}$$

F_H : 水平地震力による荷重=16867.44[N]*

ℓ_1 : 水平地震力によるモーメント作用長さ=235[mm]

ℓ_2 : 鉛直地震力によるモーメント作用長さ=140[mm]

ℓ_3 : トロリストッパの幅= [mm]

ℓ_4 : 溶接脚長 (すみ肉溶接) =15[mm]

* 「添付 5-5-1 4.1.3 トロリストッパの応力」より

b. トロリストッパ溶接部に作用するせん断応力: τ_1

$$\tau_1 = \frac{F_H}{4 \cdot h \cdot \ell_3}$$

c. 水平地震力 F_H による組合せ応力: σ_2

$$\sigma_2 = \sqrt{\left(\sigma_1^2 + 3 \tau_1^2 \right)}$$

(2) トロリストッパに発生する鉛直地震力により溶接部へ発生する応力

a. トロリストッパ溶接部の曲げ (引張) 応力: σ_3

$$\sigma_3 = \frac{M_2}{Z}$$

ここで

$$M_2 = F_V \cdot \ell_2$$

$$Z = \frac{2 \cdot h \cdot \ell_3^2}{6} \cdot 2$$

$$h = \frac{\ell_4}{\sqrt{2}}$$

F_v : 水平地震力による荷重=218222.5[N]*

ℓ_1 : 水平地震力によるモーメント作用長さ=235[mm]

ℓ_2 : 鉛直地震力によるモーメント作用長さ=140[mm]

ℓ_3 : トロリストッパの幅= [mm]

ℓ_4 : 溶接脚長 (すみ肉溶接) =15[mm]

* 「添付 5-5-1 4.1.3 トロリストッパの応力」より

b. トロリストッパ溶接部に作用する引張応力 : σ_4

$$\sigma_4 = \frac{F_v}{4 \cdot h \cdot \ell_3}$$

c. トロリストッパ溶接部に作用する合計引張応力 : σ_5

$$\sigma_5 = \sigma_3 + \sigma_4$$

(3) 水平地震力及び鉛直地震力による組合せ応力 : σ_6

$$\sigma_6 = \sqrt{(\sigma_2^2 + \sigma_5^2)}$$

4. 6. 3 応力の評価

	許容引張応力 f_t	組合せ応力 f_{t1}
計算式	S_y	$f_{t1} = 0.84^* \cdot f_t / \sqrt{3}$

* クレーン構造規格すみ肉溶接A区分より

4. 6. 4 評価結果

【単位 : MPa】

評価箇所	算出応力	許容応力	判定
トロリストッパ溶接部	135	152	良

4. 7 トロリストッパ受け側評価

トロリストッパ受け側についてFEM解析にて評価を実施する。評価に当たりトロリストッパ受板とガーダ上板についてモデル化を行う。評価はトロリストッパ受板がトロリストッパから 21823[N] *の鉛直荷重を受けるものとしてトロリストッパ受板とガーダ上板について評価を行う。

評価結果についてはトロリストッパ受板及びガーダ上板に発生する応力は設計降伏点を超えるものの、設計引張強さ以下であることが確認され破断しない結果となった。

また、変形量はトロリストッパの引っ掛かり寸法より小さくトロリストッパの落下防止機能を損なう恐れはなく、変形において他の受入れ区域天井クレーンを構成する部材との接触はないため、クレーンの動作についても支障はないことが確認された。

* 「添付 5-5-1 4.1.3 トロリストッパの応力」より