

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

令和 4 年 6 月

リサイクル燃料貯蔵株式会社

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	13
4. 5. 3 応力の評価	14
4. 5. 4 評価結果	14
4. 6 トロリストopp溶接部評価	15
4. 6. 1 計算条件	15
4. 6. 2 計算方法	16
4. 6. 3 応力の評価	18
4. 6. 4 算出応力及び評価結果	18
4. 7 トロリストopp受け側評価	20
4. 7. 1 目的	20
4. 7. 2 解析方針	21
4. 7. 3 材料特性	23
4. 7. 4 解析条件	24
4. 7. 5 評価条件	29
4. 7. 6 解析結果	30

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		

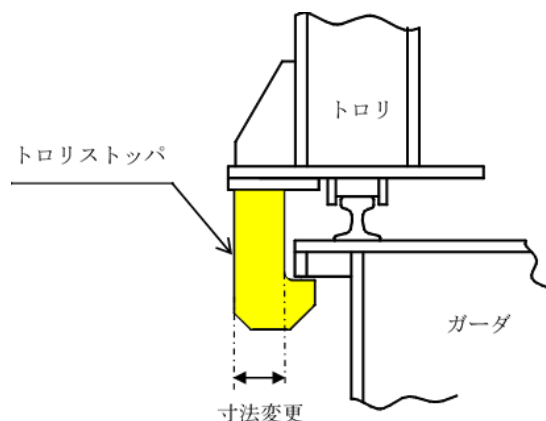


図1 トロリストoppa

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製作工場にて板材を加工し、ガーダ部と取り合うベースプレートに開先加工したL形の板をL型の板の両側に対して長手方向に溶接を実施する。
- ・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と固定ボルトで接続する。
なお、トロリとトロリストoppaの接続部分については溶接しない。

- ・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。

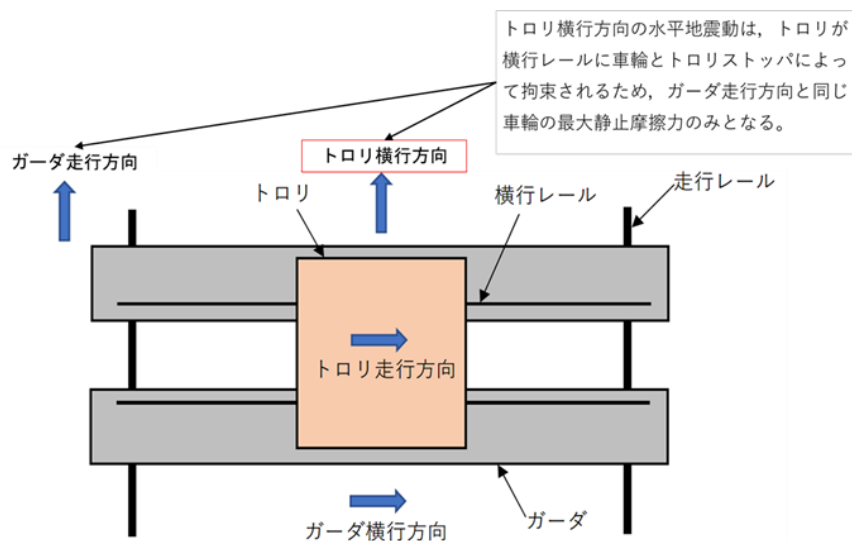


図2 トロリ水平地震力の考え方

(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。

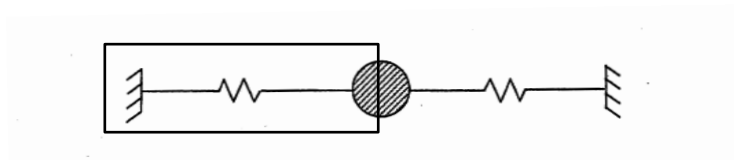
4. 2 固有周期の算出について

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。

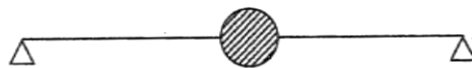
$$T = \frac{2 \cdot \pi}{\omega_n}$$

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	0.39	0.15	吊荷時	0.67
			空荷時	0.70
			0.25	

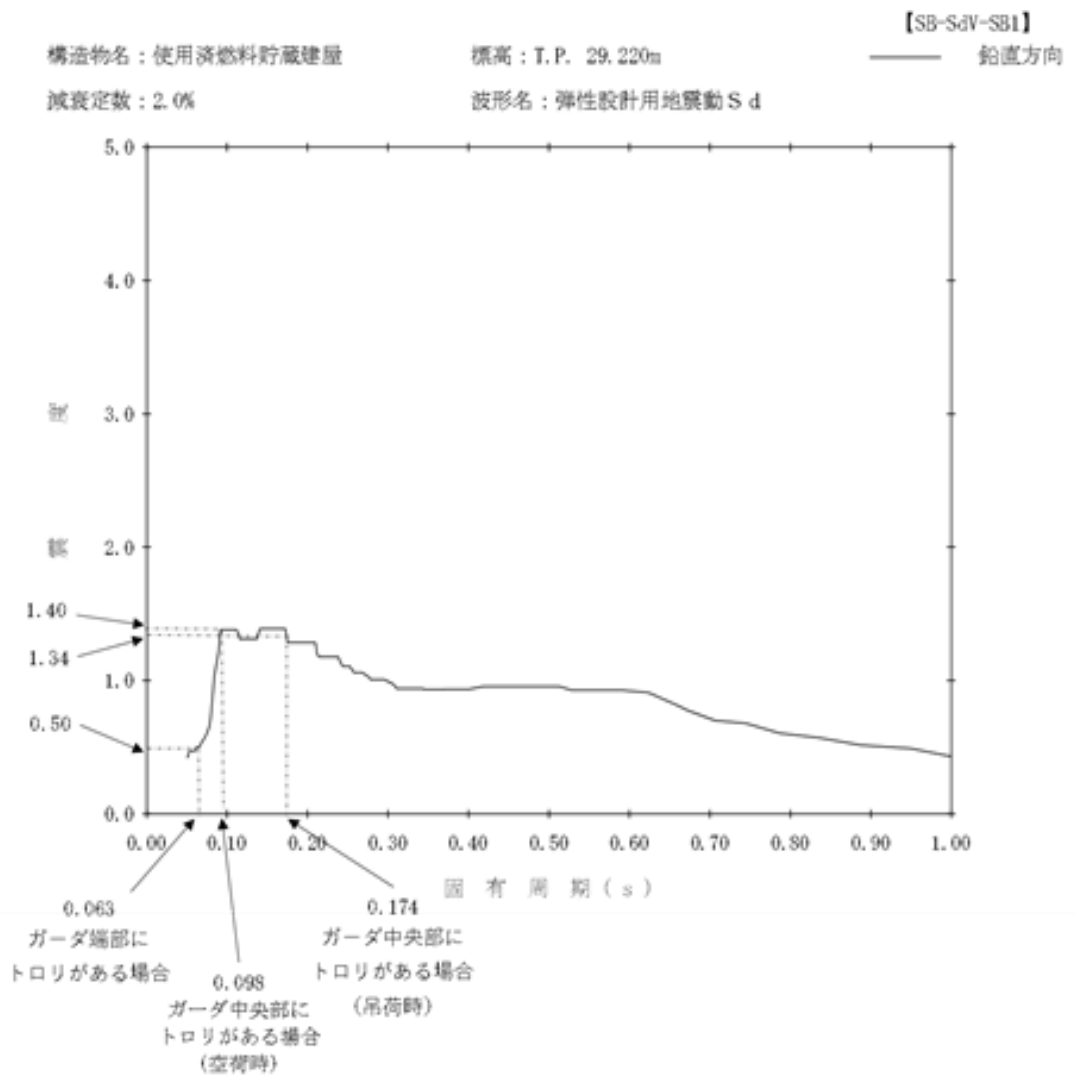


図 3 設計用床応答曲線 (S_d (鉛直))

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	吊荷時	3.07* ² (2.53)	設計用床 応答曲線	1.35* ² (0.91)
				空荷時	2.72* ² (2.42)		

* 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

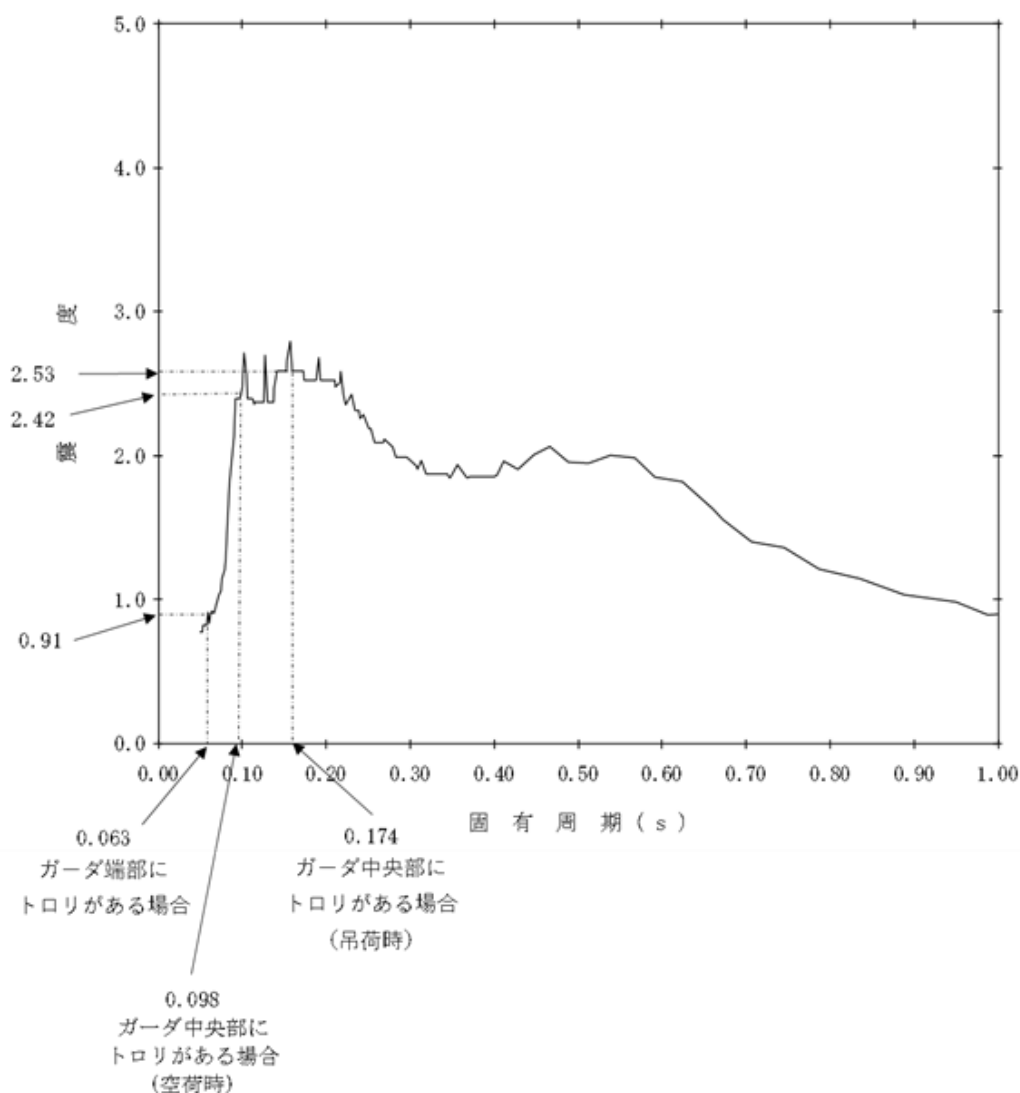


図4 設計用床応答曲線 (S_s (鉛直))

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、トロリとトロリストoppaの接続部分については溶接しない。

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。

トロリストoppaの取付図を図5に評価の計算モデルを図6に示す。

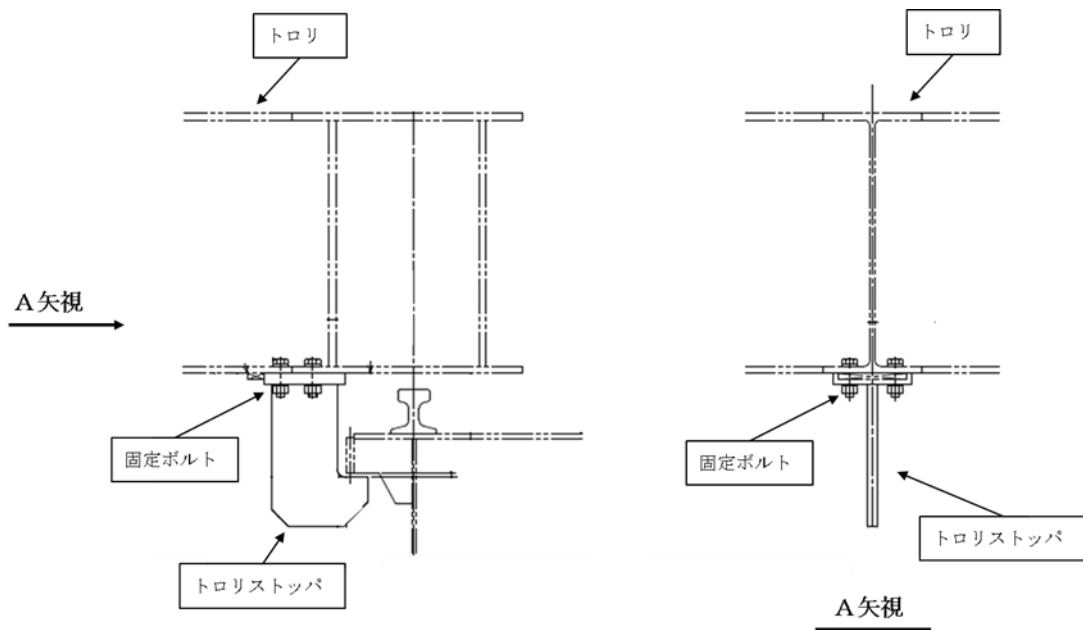


図5 トロリストoppa取付図

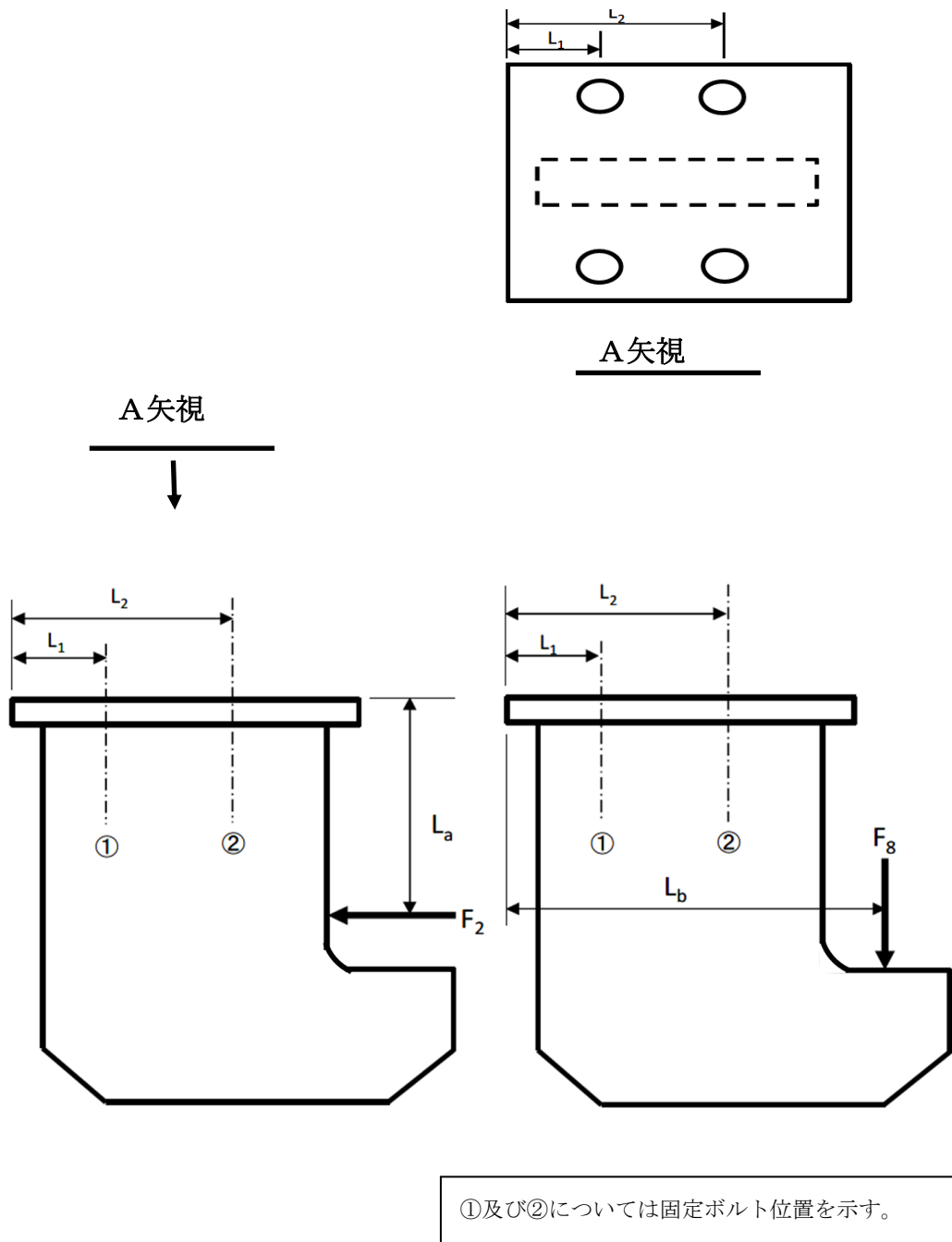


図6 トロリストッパ固定ボルト計算モデル

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 トロリストッパの応力」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 トロリストッパの応力」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、トロリストoppaの継手形状はT継手となり、開先を取らない場合はすみ肉溶接となるが、トロリストoppaの溶接部はL型の板側にK型の開先を取るため、溶接区分としては部分溶け込み溶接（JIS Z3001 溶接用語より）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の溶接範囲について図7に示す。

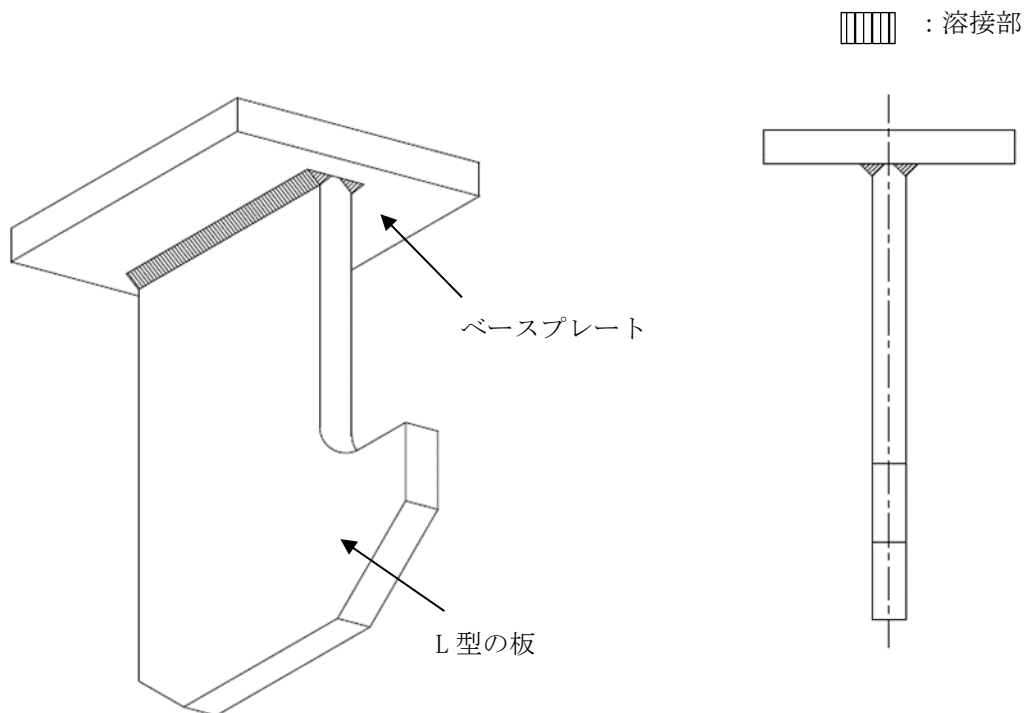


図7 トロリストoppa溶接範囲図

4. 6. 1 計算条件

トロリストoppaはガーダ部と取り合うベースプレートとL型の板をL型の板の両側に対して長手方向に溶接して接合する。基準地震動 S_g 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。

トロリストoppa溶接部の強度計算については、外側の脚長及び内側の脚長を考慮し計算を行っている。これはL型の板材にK型の開先加工を行うため、計算上の脚長が確保できることから内側部分についても計算に含める。そのため、溶接部の断面積の算出においては4倍で計算を行う。

また、許容値の算出に当たって、溶接部の継手効率を考慮する。クレーン

構造規格において、溶接区分では突合せ溶接とすみ肉溶接があるが、継手の形状を考慮し、すみ肉溶接の継手効率を採用する。

なお、クレーン構造規格では内部欠陥を探知する放射線試験（RT）を実施すれば、継手効率を考慮する必要が無い旨の記載があるが、今回の施工では放射線試験（RT）の実施は行わず、浸透探傷試験（PT）の実施までとしていることから計算に継手効率を考慮した。

評価の計算モデルを図8に示す。

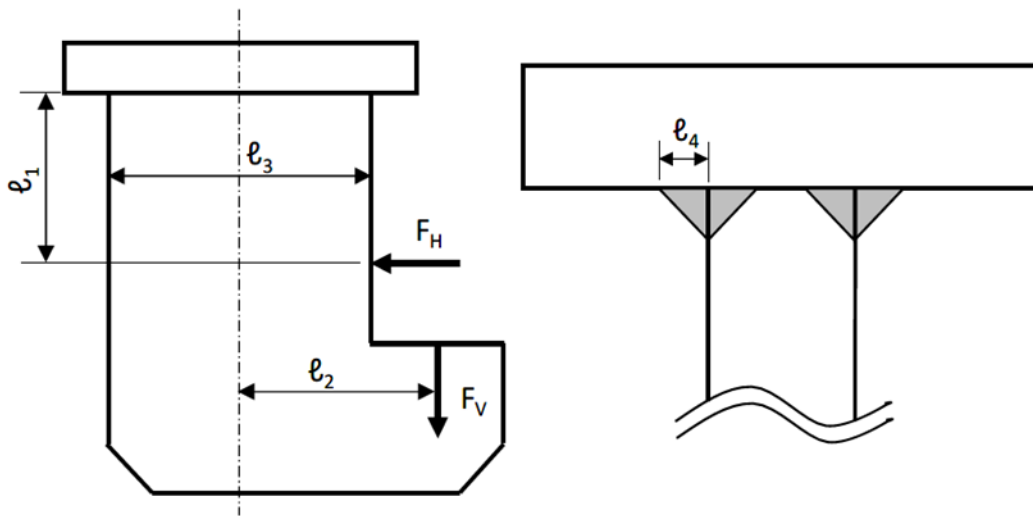


図8 トロリストッパ溶接部計算モデル

4. 6. 2 計算方法

(1) トロリストッパに発生する水平地震力により溶接部へ発生する応力

a. トロリストッパ溶接部の曲げ（引張）応力： σ_1

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

ここで

$$M_1 = F_H \cdot l_1$$

$$Z = \frac{2 \cdot h \cdot l_3^2}{6} \cdot 2$$

$$h = \frac{l_4}{\sqrt{2}}$$

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 算出応力及び評価結果

(1) 算出応力

【単位：MPa】

応力		記号	算出応力
トロリストッパに発生する水平地震力により溶接部へ発生する応力	トロリストッパ溶接部の曲げ（引張）応力	σ_1	14.0143
	トロリストッパ溶接部に作用するせん断応力	τ_1	1.9879
	水平地震力 F_H による組合せ応力	σ_2	14.4312
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	トロリストッパ溶接部	σ_3	108.0147
	トロリストッパ溶接部に作用する引張応力	σ_4	25.7178
	トロリストッパ溶接部に作用する合計引張応力	σ_5	133.7325
水平地震力及び鉛直地震力による組合せ応力		σ_6	134.5089

(2) 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oppa受け側評価

4. 7. 1 目的

受入れ区域天井クレーン横行トロリのトロリストoppa受部について、トロリストoppaからの鉛直荷重に対する評価する。評価に当たってFEMにて塑性変形を考慮した詳細解析を行い、発生値が基準値以下となる事を確認し、トロリストoppaの有効性を確認する。

受入れ区域天井クレーン全体図を図9に示す。

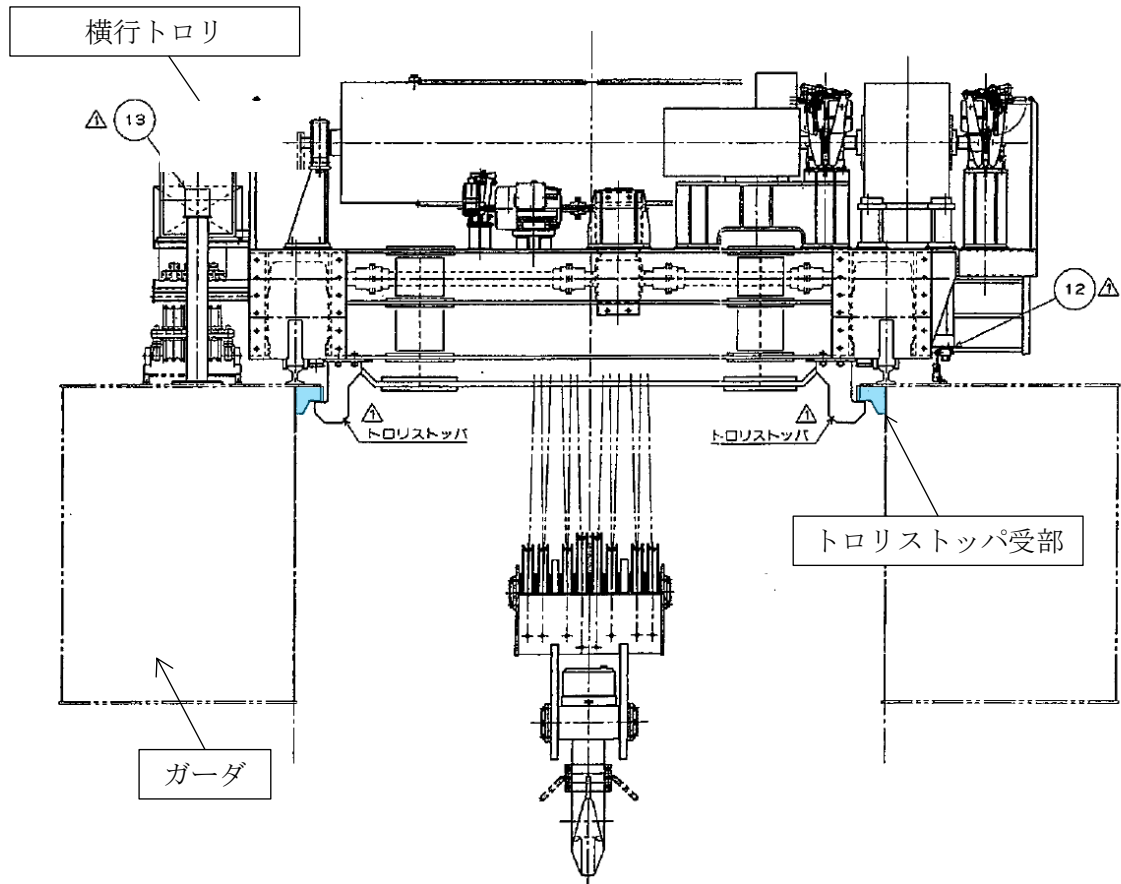


図9 受入れ区域天井クレーン横行トロリ全体図

4. 7. 2 解析方針

(1) モデル化方針

a. モデル化範囲

モデル化は、クレーンガーダに付属しているトロリストッパ受部のみとし、長手方向にリブ4スパン分とした。また、リブの設置間隔が等間隔及び不等間隔の2モデルを作成する。

モデル化範囲の詳細を図10に示す。

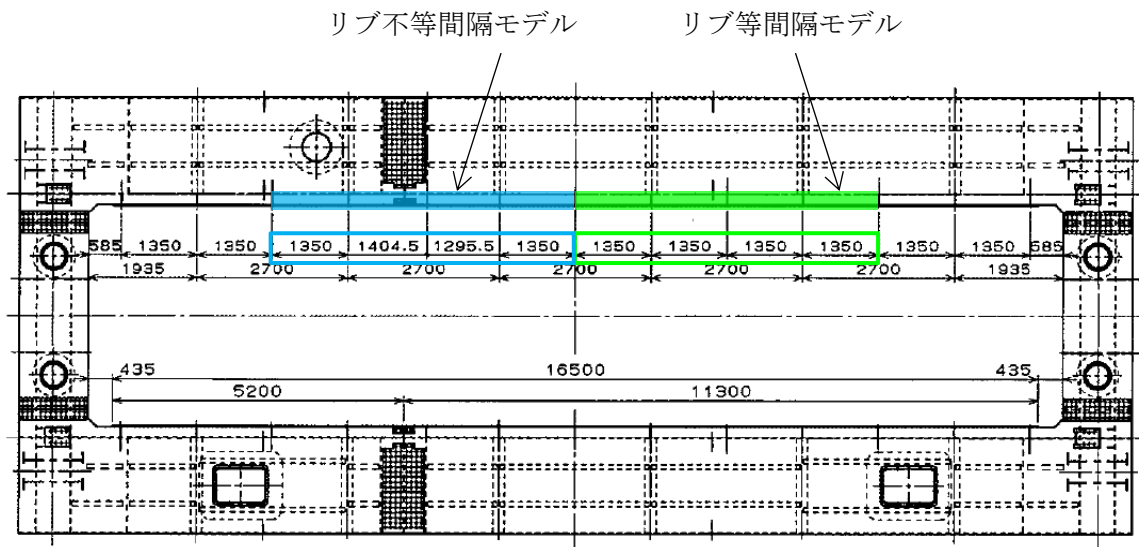


図10 モデル化範囲詳細図

b. モデル図

作成したモデルについて図 11 及び図 12 に示す。

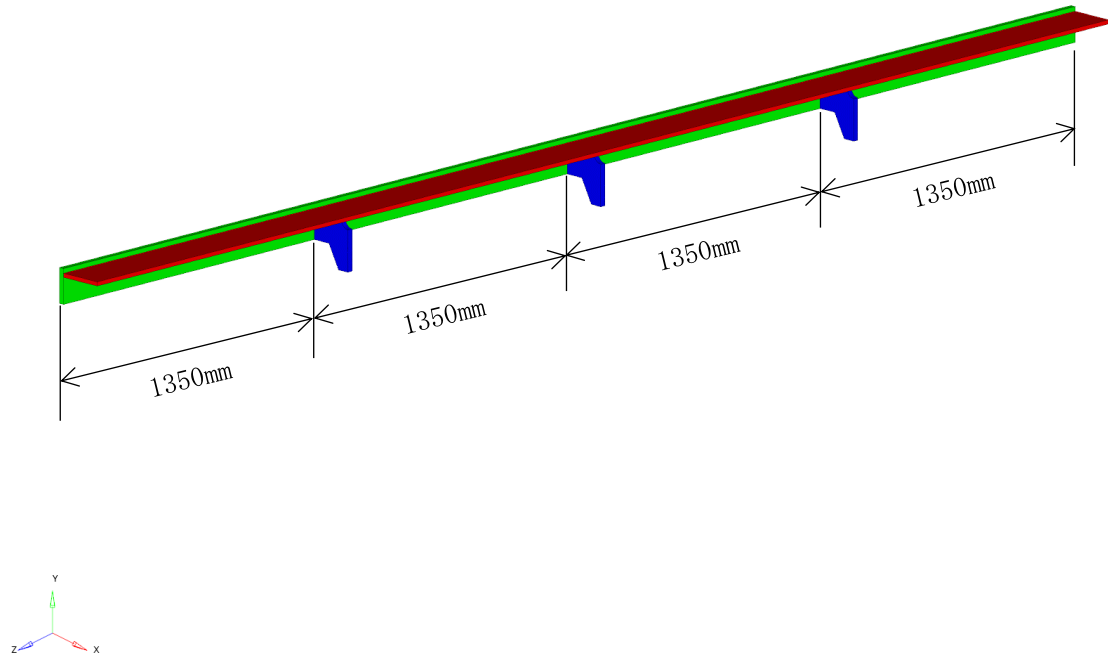


図 11 リブ等間隔モデル図

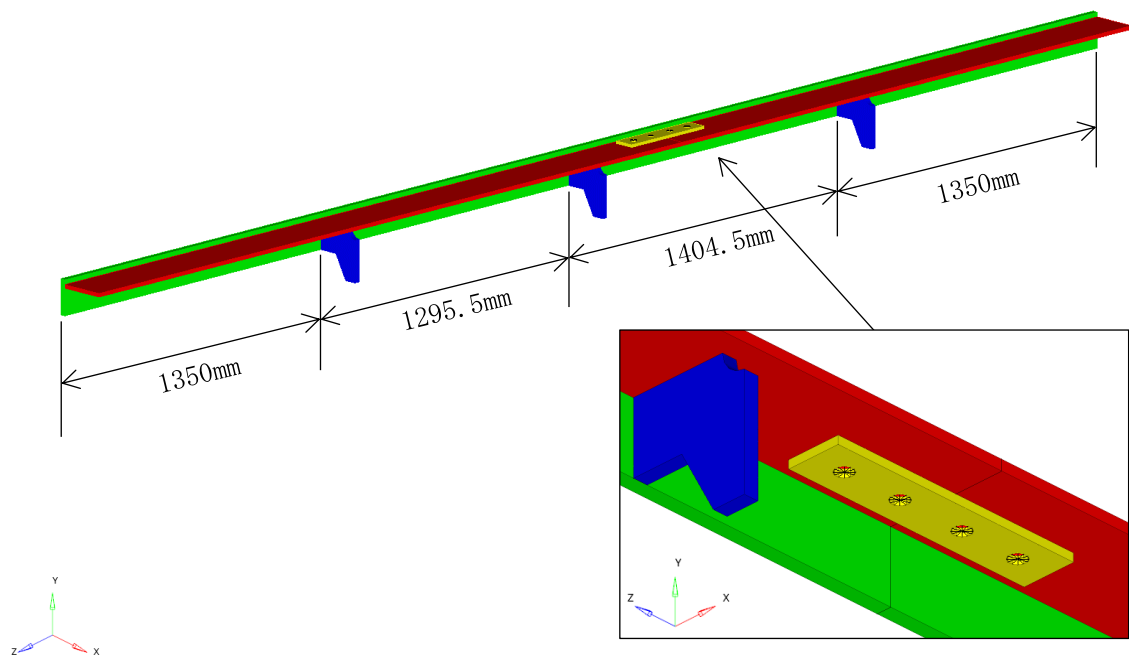


図 12 リブ不等間隔モデル図

4. 7. 3 材料特性

材料特性を表 5 に示す。

表 5 材料特性

部位	材料	ヤング率 MPa	ポアソン比 —	設計 降伏点 MPa	設計 引張強さ MPa
ガーダ上板	SM490A	206000	0.3	325	490
トロリストッパ受板	SS400	206000	0.3	235	400
リブ	SS400	206000	0.3	235	400
当て板	SM490A	206000	0.3	325	490
高力ボルト	S10T	206000	0.3	900	1000

4. 7. 4 解析条件

(1) 拘束条件

拘束範囲は、ストッパ受部とガーダ本体との境界及びリブ端点を拘束とする。拘束設定を図 13 に示す。

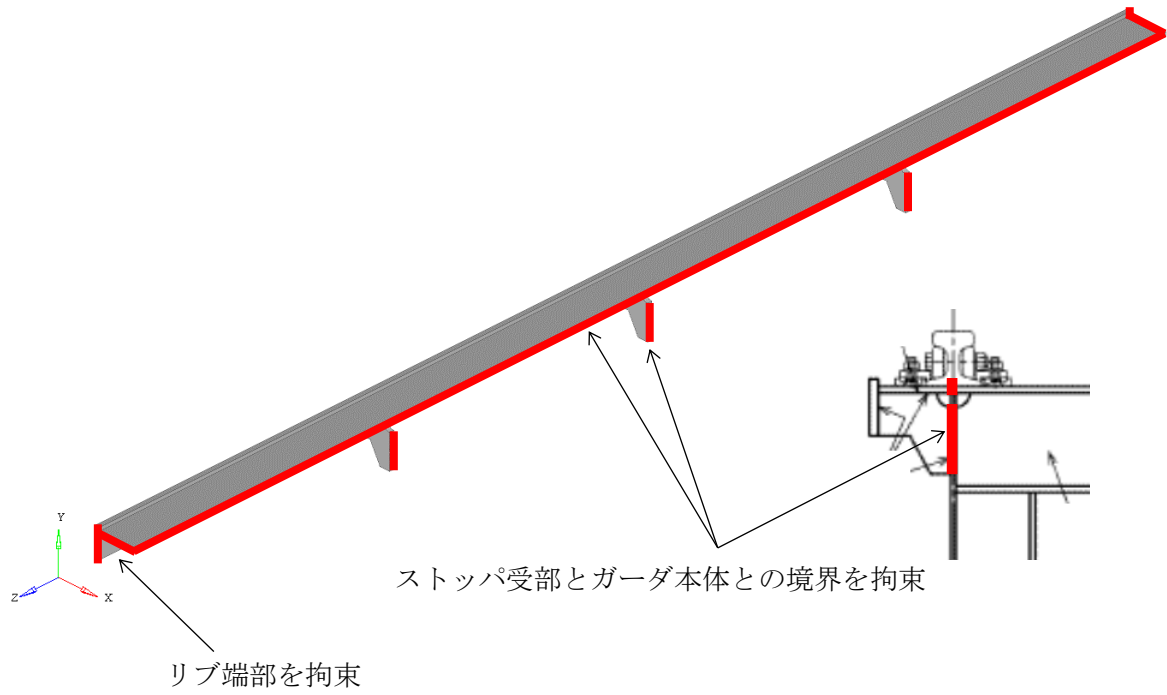


図 13 拘束設定図

(2) 接触条件

接触条件は、継ぎ目のあるリブ不等間隔モデルにのみ設定する。接触設定を表 6 及び図 14 に示す。

表 6 接触設定

番号	対象	摩擦係数 [※]
		静摩擦
①	当て板とガータ上板	0.3
②	ガータ上板同士	0.3
③	トロリストッパ受板同士	0.3

※平成 20 年度 原子力施設などの耐震性評価技術に関する試験及び調査

動的上下耐震試験(クレーン類)に係る報告書(原子力安全基盤機構：JNES)より

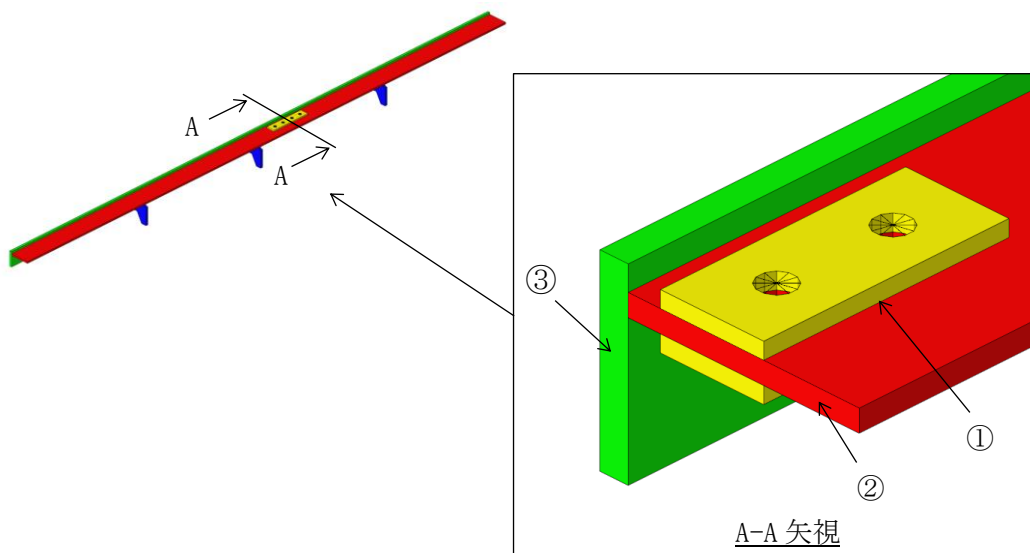


図 14 接触設定図

(3) 荷重条件

a. 荷重値

荷重はトロリストッパ位置 2 点（間隔 2200mm）に作用するものとし，それぞれ 218223N を負荷する。接触位置の詳細を図 15 に示す。

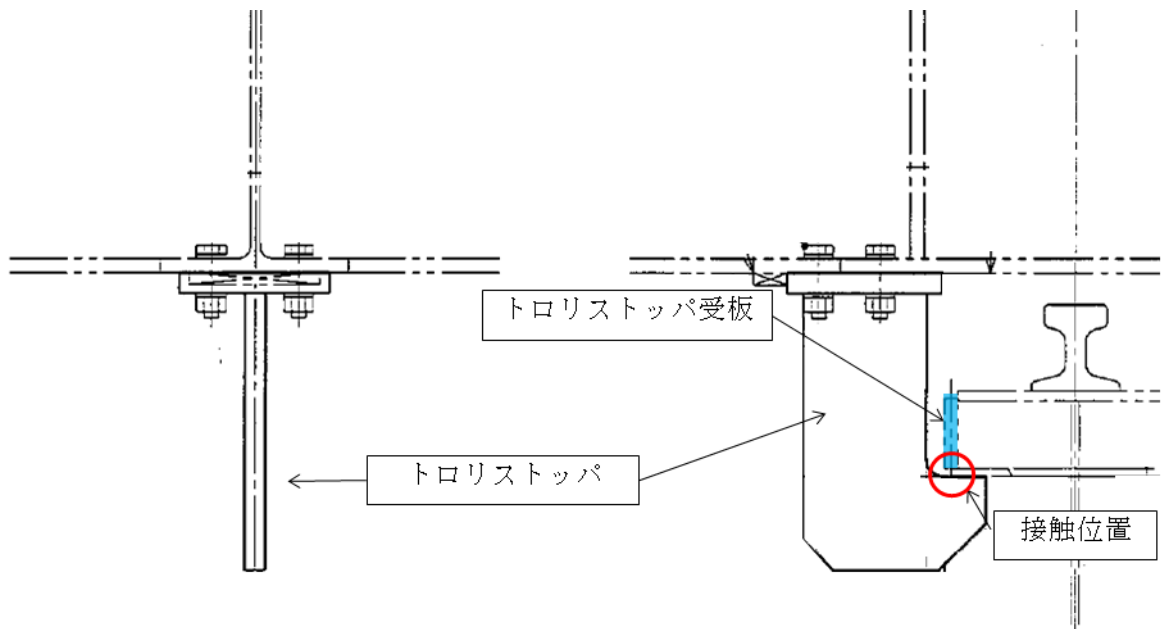
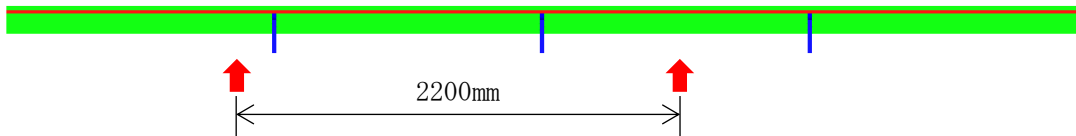


図 15 トロリストッパとトロリストッパ受板の接触詳細図

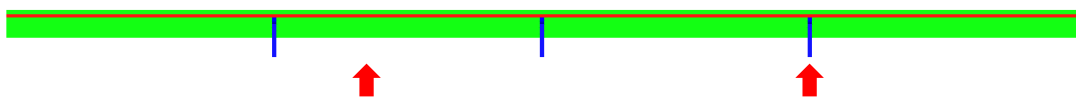
b. 荷重位置

荷重位置は、各モデル3ケース設定した。荷重位置を図16～図17に示す。

(a) リブ中間位置に負荷



(b) リブ位置に負荷



(c) リブから等距離に負荷

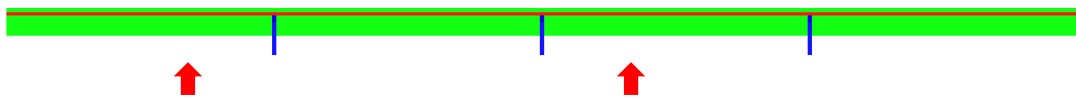
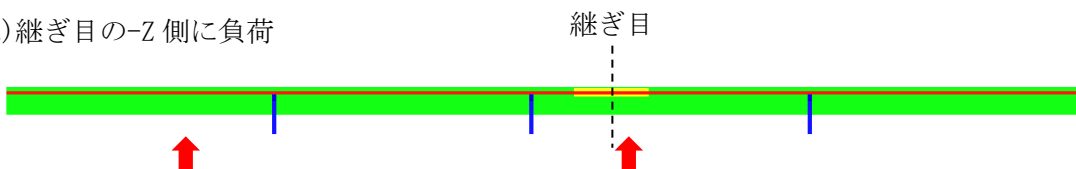
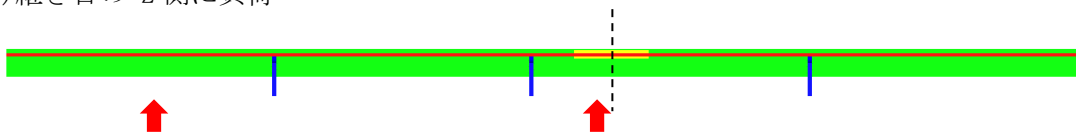


図16 荷重位置図：リブ等間隔モデル

(a) 継ぎ目の-Z側に負荷



(b) 継ぎ目の+Z側に負荷



(c) リブ中間位置に負荷

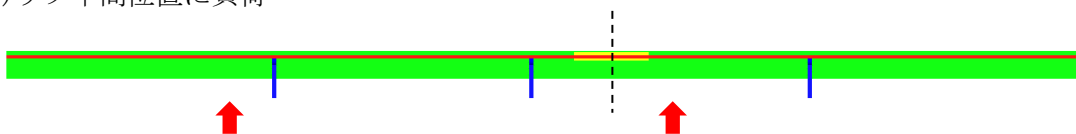


図17 荷重位置図：リブ不等間隔モデル

(4) 計算条件

a. 解析種類

リブ等間隔モデルは線形静解析，リブ不等間隔モデルは非線形静解析を実施する。

b. 解析ソフト

解析ソフトは，Abaqus6.14-3 を用いる。

(5) 解析ケース

解析ケースを表 7 に示す。

表 7 解析ケース

解析ケース番号	解析モデル (リブ間隔)	荷重位置	モデル図 番号
101	等間隔	荷重 2 点のうち 1 点をリブの中間に荷重	図 8 (a)
102		荷重 2 点のうち 1 点をリブ位置に荷重	図 8 (b)
103		荷重 2 点をリブから等距離に荷重	図 8 (c)
201	不等間隔	荷重 2 点のうち 1 点を継ぎ目から遠いリブ側の継ぎ目位置に荷重	図 9 (a)
202		荷重 2 点のうち 1 点を継ぎ目から近いリブ側の継ぎ目位置に荷重	図 9 (b)
203		荷重 2 点のうち 1 点をリブの中間に荷重	図 9 (c)

4. 7. 5 評価条件

(1) 評価ケース

各解析モデルの最大応力を確認し、最も応力比が大きい解析ケースのみ詳細評価を実施する。

(2) 応力評価

トロリストッパ受部の発生応力が、設計引張強さ以下であることを確認する。

(3) 変形量評価

トロリストッパ受部の変形量を確認し、トロリストッパ受部が外れないこと及びトロリストッパに接触部以外が接触しないことを確認する。詳細を図 18 に示す。

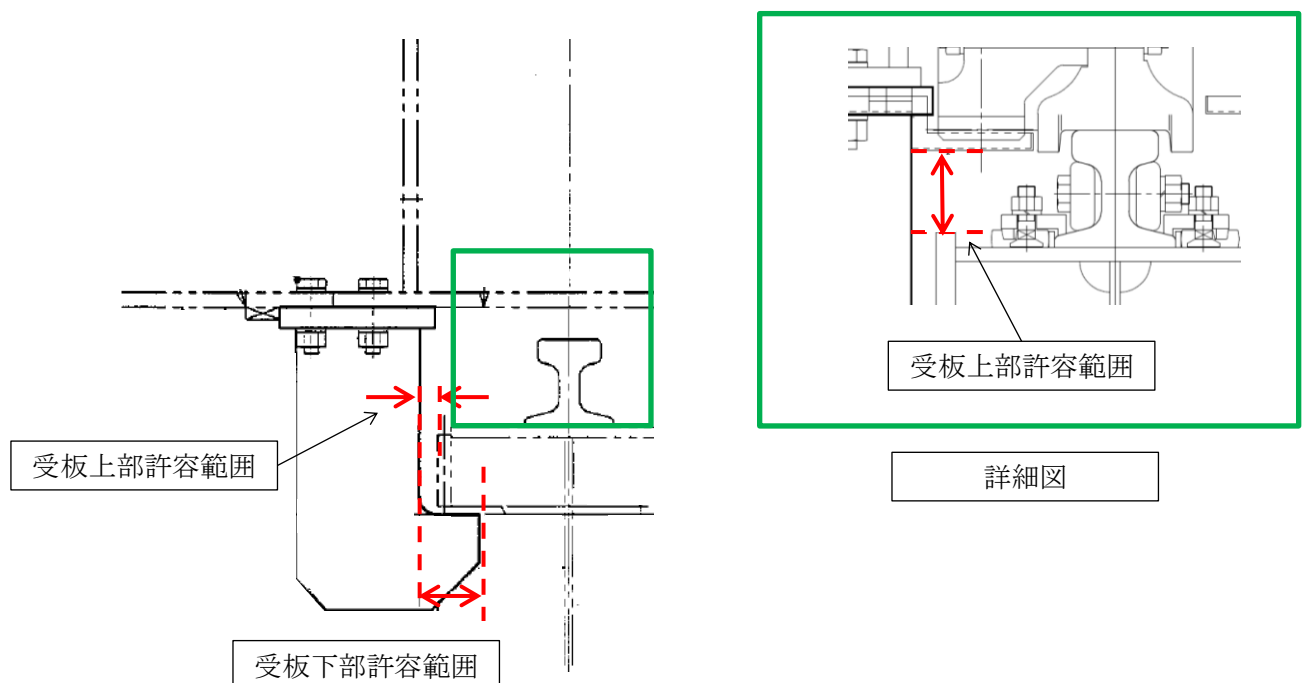


図 18 トロリストッパとトロリストッパ受板の接触範囲詳細図

4. 7. 6 解析結果

(1)項に評価ケースの選定結果を、(2)項に解析ケースの評価結果を示す。

(1) 評価ケース選定

各ケースの最大応力を確認し、評価ケースの選定を行った。評価ケースは表 8 に示す最大応力ケースとする。

表 8 評価ケース選定

解析ケース	解析モデル (リブ間隔)	最大応力 [MPa]
101	等間隔	412
102		379
103		352
201	不等間隔	442
202		422
203		445

※最大応力ケースを太字下線にて示す。

(2) 評価結果

各評価ケースの評価結果を表 9-1～表 9-2 及び表 10-1～表 10-2 に示す。

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ことを確認した。

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おそれはなく、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がないことが確認された。

表 9-1 評価結果 (リブ等間隔モデル) [発生応力]

【単位：MPa】

評価部位	評価項目	発生値	許容値	判定
ガーダ上板	応力	412	490	良
トロリストッパ受板	応力	282	400	良
リブ	応力	246	400	良

表 9-1 評価結果（リブ等間隔モデル）[変形量]

【単位：mm】

評価部位	評価項目	発生値	許容値	判定
トロリストッパ受板	変形量 (下部水平)	-2.36	66~-29	良
	変形量 (上部水平)	0.49	-29以上	良
	変形量 (上部鉛直)	2.92	93.7以下	良

表 10-1 評価結果（リブ不等間隔モデル）[発生応力]

【単位：MPa】

評価部位	評価項目	発生値	許容値	判定
ガーダ上板	応力	445	490	良
トロリストッパ受板	応力	284	400	良
リブ	応力	247	400	良
当て板	応力	437	490	良

表 10-1 評価結果（リブ不等間隔モデル）[変形量]

【単位：mm】

評価部位	評価項目	発生値	許容値	判定
トロリストッパ受板	変形量 (下部水平)	-3.04	66~-29	良
	変形量 (上部水平)	0.73	-29以上	良
	変形量 (上部鉛直)	3.82	93.7以下	良