

大型廃棄物保管庫の揚重設備及び架台設置に係る実施計画の変更について

2021年2月9日（第8回面談）

The logo for TEPCO (Tokyo Electric Power Company) is displayed in red, bold, uppercase letters.

東京電力ホールディングス株式会社

1. はじめに

- 大型廃棄物保管庫における揚重設備及び架台の設置にともない、実施計画の下記の範囲について変更を申請するものです。

- 実施計画の申請範囲

- 【実施計画Ⅱ】

- 2 特定原子力施設の構造及び設備、工事の計画

- 2.45 大型廃棄物保管庫

- 【実施計画Ⅲ】

- 第3編 保安に係る補足説明

- 2 放射性廃棄物等に係る補足説明

- 2.2 線量評価

2. 措置を講ずべき事項について

- 大型廃棄物保管庫の揚重設備及び架台設置に係る、実施計画変更申請について「特定原子力施設への指定に際し東京電力株式会社福島第一原子力発電所に対して求める措置を講ずべき事項（以下、措置を講ずるべき事項）」のうち、関連する下記事項への適合状況について説明するものです。

- 放射性固体廃棄物の処理・保管・管理
⇒既認可の範囲内
- 放射性液体廃棄物の処理・保管・管理
⇒既認可の範囲内
- 放射性物質の放出抑制等による敷地境界周辺の放射線防護等
⇒既認可の範囲内
- 設計上の考慮
 - ✓ 準拠規格及び基準
 - ✓ 自然現象に対する設計上の考慮
 - ✓ 信頼性に対する設計上の考慮
- その他措置を講ずべき事項
⇒既認可の範囲内

3. 実施計画変更箇所

■ 実施計画Ⅱ変更箇所

実施計画Ⅱ記載箇所	変更内容
2 特定原子力施設の構造及び設備、工事の計画 2.45 大型廃棄物保管庫	2.45.1.5 主要な機器に揚重設備及び架台を追加 2.45.1.7 構造強度及び耐震性に架台を耐震 B クラス設備として評価することを追加 2.45.2.1 主要仕様にクレーン及び吸着塔保管体数を追加
2.45 添付資料	添付資料-7 使用済吸着塔保管架台の確認事項を追加 添付資料-13 使用済吸着塔保管架台に関する耐震性評価結果を追加

■ 実施計画Ⅲ変更箇所

	実施計画Ⅲ記載箇所	変更内容
第3編	2 放射性廃棄物等の管理に関する補足説明 2.2 線量評価 2.2.2 敷地内各施設からの直接線ならびにスカイシャイン線による実効線量	添付資料-1 ・大型廃棄物保管庫の第二セシウム吸着装置吸着塔保管上の制限を追加 ・大型廃棄物保管庫の吸着塔格納配置計画の追加 ・第二セシウム吸着装置吸着塔の保管容量の変更 これに伴う関連記載の適正化

4. 大型廃棄物保管庫設置に係る実施計画の変更申請

<変更なし>

大型廃棄物保管庫の新設，使用済吸着塔の保管運用に係る実施計画の変更申請は段階的に行うことを計画しており，今回の申請範囲は揚重設備（クレーン），架台設置である。

①大型廃棄物保管庫の建屋設置 <2020年5月27日認可>

今回の変更申請

②揚重設備（クレーン），架台（第二/第三セシウム吸着塔）設置

③大型廃棄物保管庫運用（第二/第三セシウム吸着塔保管）開始

- 建屋，クレーン設置工事竣工後，保管架台を順次設置し吸着塔保管を開始する

④セシウム吸着塔保管架台追設

- 保管架台の構造設計決定後実施計画の変更認可申請を行う

5 - 1. 揚重設備（クレーン）及び架台について

<変更なし>

■ 今回変更申請する設備

➤ 揚重設備（クレーン）

大型廃棄物保管庫に搬入される使用済吸着塔等の重量物を取り扱うため、労働安全衛生法（クレーン則）に準拠した、橋型クレーンを設ける。

➤ 架台

使用済吸着塔等の重量物は、支持物、架台を用いることにより安定に静置する。架台は床版に固定する。

■ 基本仕様

➤ 揚重設備（クレーン）

容量：30／2.8 t（主巻／補巻）

数：1

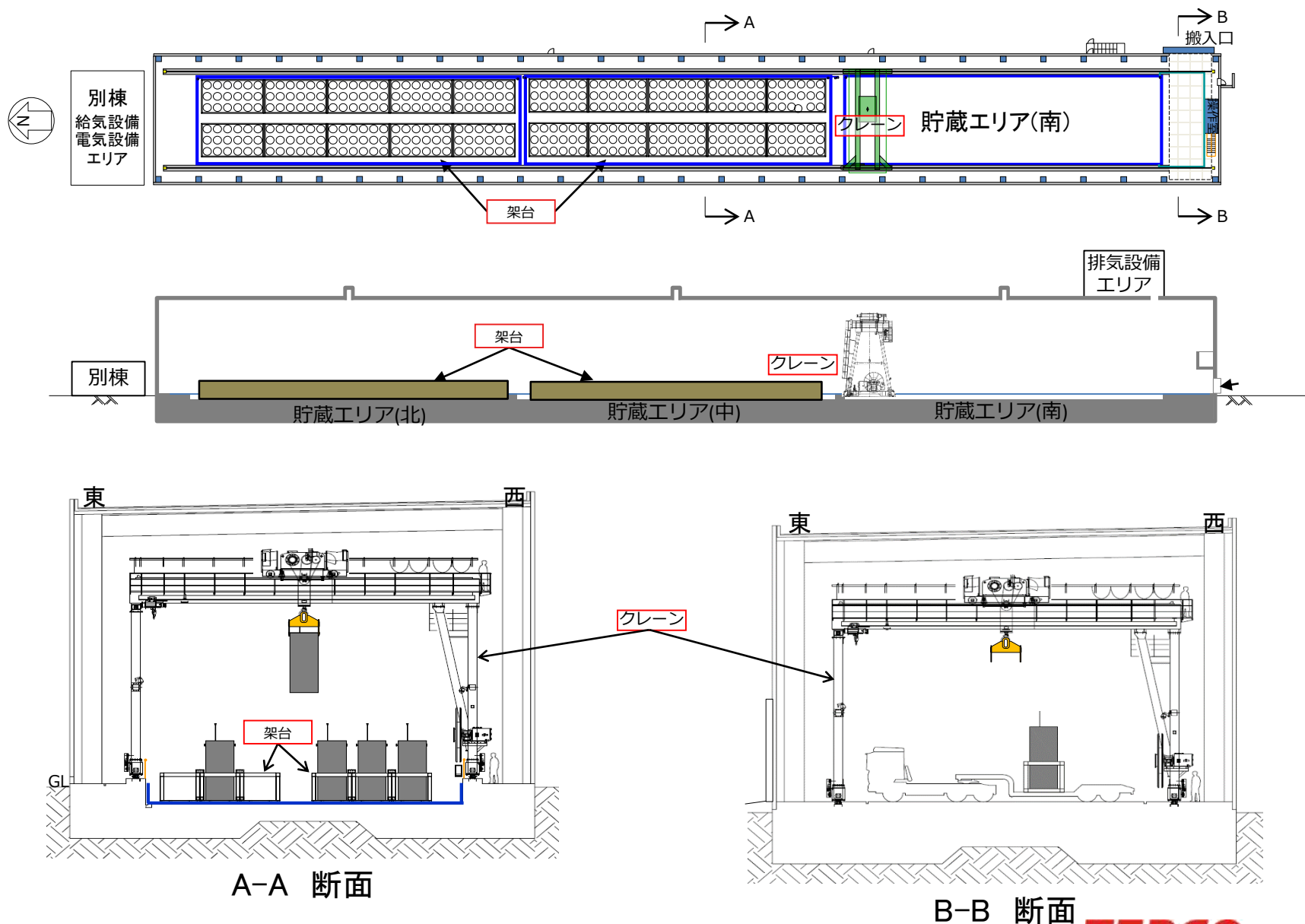
➤ 架台

吸着塔保管体数：360体（架台60基，20組）

（第二セシウム吸着装置吸着塔，第三セシウム吸着装置吸着塔，多核種除去設備処理カラム，高性能多核種除去設備吸着塔，RO濃縮水処理設備吸着塔，サブドレン他浄化装置吸着塔）

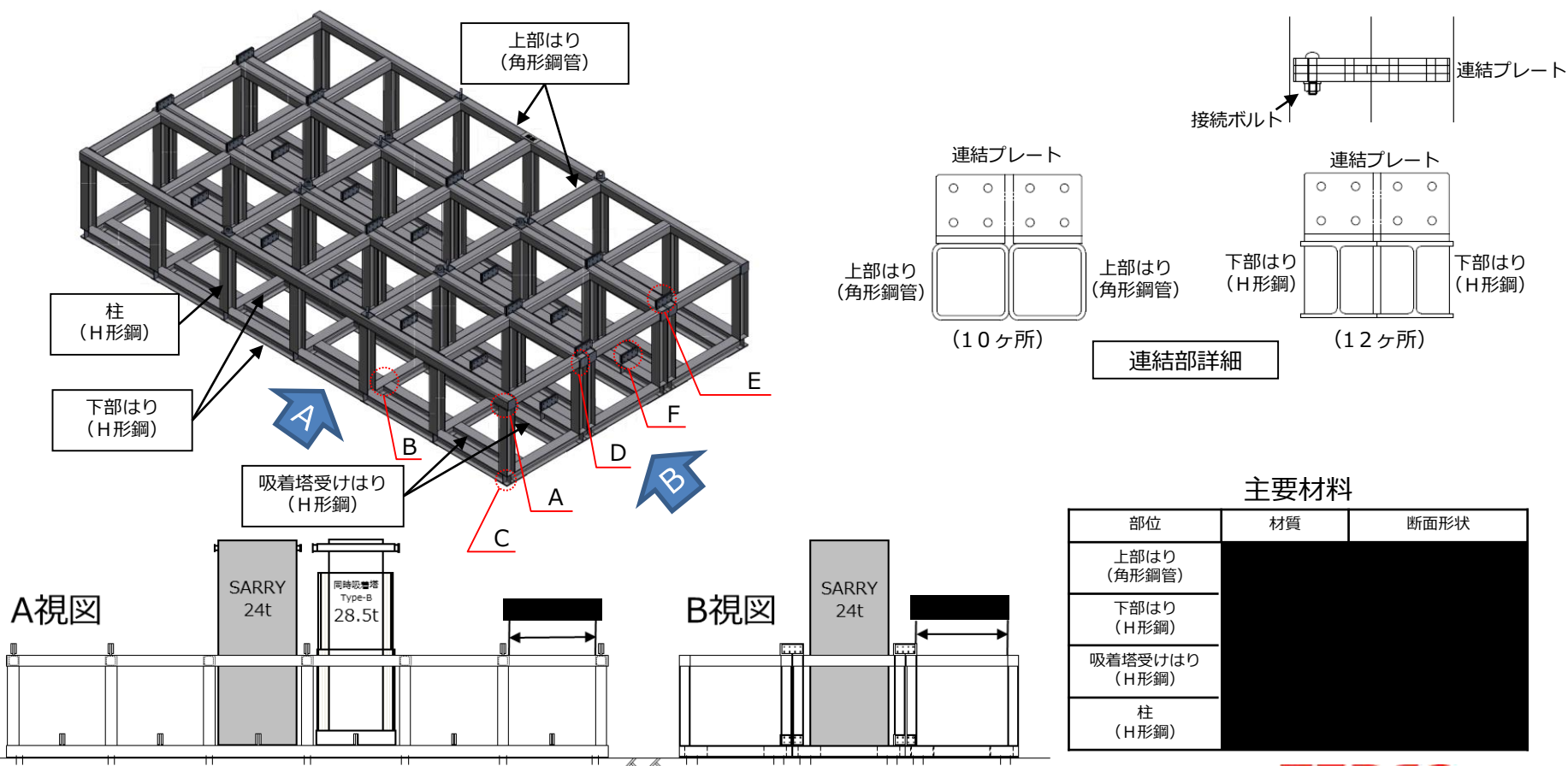
5-2. 揚重設備（クレーン）及び架台の概略図

<変更なし>

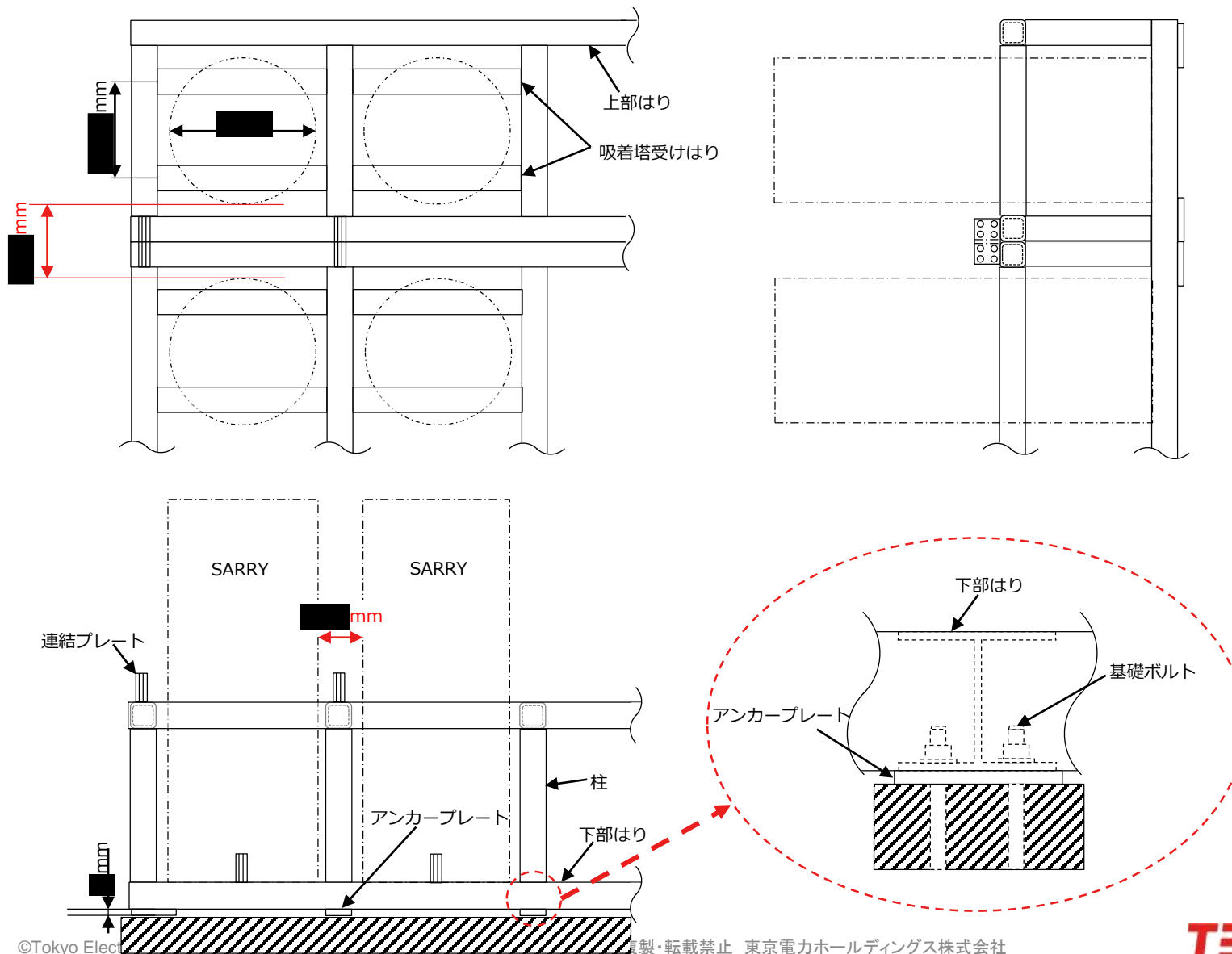


5-3. 架台の構造

- 架台は使用済吸着塔を6体格納できるもので、角形鋼管とH型鋼を溶接して構成したものである
- 設置にあたっては、架台3台を連結プレートと接続ボルトで連結した構造(18体/基)とする
- 18体/基格納できるSARRY架台を、貯蔵エリアあたり10組設置する
- 架台は貯蔵エリア(北)及び貯蔵エリア(中)に設置する
- **使用済吸着塔の格納は、架台下部の吸着塔受けはりに静置するものとし、架台への固定は行わない**



5-4. 架台の構造概略図



6. 既認可への影響について

- 下表に示す項目について、今回の申請内容は既認可の評価条件を逸脱していない。

	既認可の評価条件	今回の申請内容
遮へい設計	評価モデル：SARRY540体保管※ ※最も保守的な評価保管体数	SARRY保管数360体
漏えい拡大防止	漏えい量想定 評価モデル：KURION384基/堰 (1体あたりの漏えい量 1.65m^3) ※貯蔵エリア堰は3箇所	貯蔵エリアあたりの吸着塔保管量 SARRY180基/堰 (1体あたりの漏えい量 1.65m^3)
耐震・構造強度	床耐荷重(貯蔵エリア)： $21.07\text{t}/\text{m}^2$	SARRY吸着塔+架台床荷重： $8.4\text{t}/\text{m}^2$
	レール床： クレーン重量 $110\text{t}+$ 荷 150t 車輪あたりの荷重 ($50\text{t}/\text{輪}$)	レール床： クレーン重量 $60.7\text{t}+$ 荷 30t 車輪あたりの荷重 ($33.2\text{t}/\text{輪}$)
可燃性ガスの滞留防止	水素発生量評価モデル：SARRY540体保管	SARRY保管数360体
崩壊熱除去	発熱量評価モデル：処理（汚染水）に移行した ^{137}Cs 、 ^{90}Sr を全て吸着塔に捕集し保管	—

各項目の詳細については、次ページ以降に示す。

7. 大型廃棄物保管庫の遮へい設計について

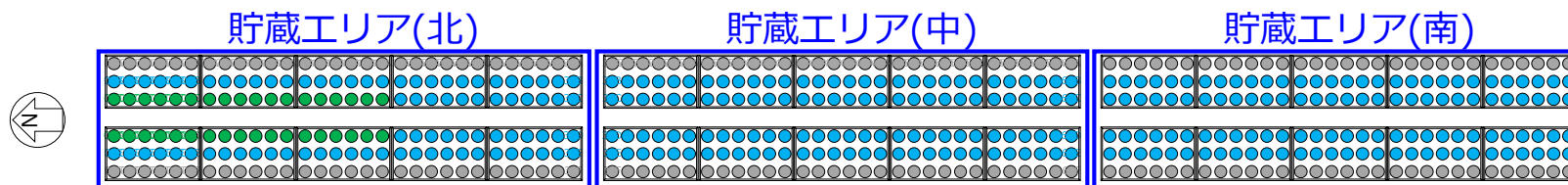
< 8. 放射性固体廃棄物の処理・保管・管理 >

<変更なし>

- 既認可では、遮へい設計における評価モデルとして、SARRY保管数540体を線量毎にS1～S3の3段階に区分し、貯蔵エリア(北)(中)(南)に配置し評価している。

【大型廃棄物保管庫の吸着塔格納配置モデル】

※青字は第1回申請時の説明資料より



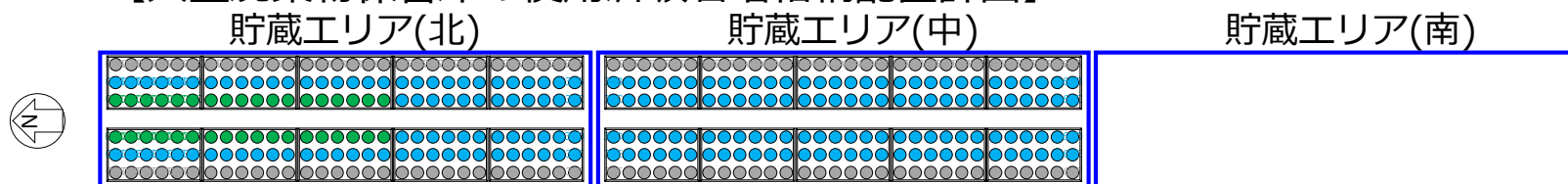
第二セシウム吸着塔格納部

●	: S1	$\phi \leq 1.2$	mSv/h	36体
●	: S2	$\phi \leq 0.7$	mSv/h	324体
●	: S3	$\phi \leq 0.234$	mSv/h	180体

ϕ : 吸着塔側面線量率

- 今回の申請内容は、使用済吸着塔格納配置計画に示した線量区分毎のSARRY保管数は、各線量区分の既認可評価モデルの範囲内である。

【大型廃棄物保管庫の使用済吸着塔格納配置計画】



第二セシウム吸着塔格納部

●	: S1	$\phi \leq 1.2$	mSv/h	36体
●	: S2	$\phi \leq 0.7$	mSv/h	204体
●	: S3	$\phi \leq 0.234$	mSv/h	120体

ϕ : 吸着塔側面線量率

8. 漏えい拡大防止について

<9. 放射性液体廃棄物の処理・保管・管理>

- 既認可では、吸着塔からの漏えい量は、KURION384基/堰を想定し、漏えい拡大防止を図っている。

大型廃棄物保管庫貯蔵エリアの堰としての容量は、設置する使用済吸着塔から想定される漏えい量に対して余裕のある設計とする。

想定漏えい事象	想定漏えい量 (m ³)	貯蔵エリア 床面積(m ²)	排除面積 (m ²)	想定水深※1 (mm)	堰高さ (mm)
→ SARRY1基	1.65	868	639 ※2	7.2 ※2	1000
→ SARRY180基	297.00		150 ※3	413.7 ※3	
KURION1基	1.65		700 ※4	9.8 ※4	
KURION384基	633.60		152 ※5,6	885.0 ※5,6	

※1：想定水深 = 想定漏えい量 ÷ (貯蔵エリア床面積 - 排除面積)

※2：SARRY架台の周辺に漏えい水が溜まることを想定し架台設置面積を排除面積とする

※3：貯蔵エリア全体に漏えいが広がると想定。架台の構造材は水没する為、吸着塔180体の遮へい胴の設置面積を排除面積とする

※4：KURION架台の外に漏えい水が溜まることを想定し架台設置面積を排除面積とする

※5：貯蔵エリア全体に漏えいが広がると想定し架台遮へい板設置面積と吸着塔192体の遮へい胴の設置面積の和を排除面積とする

※6：KURION吸着塔用の架台(10cm鋼板遮へい付き)については設計中であり、関連する評価値は今後変更があり得る。

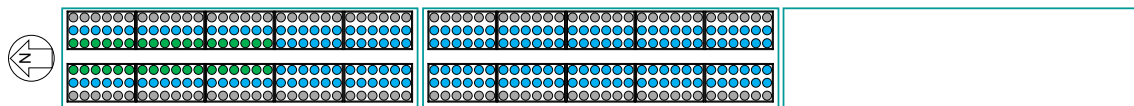
- 今回の申請内容は、想定される漏えい量は既認可の範囲内である。

9 - 1. 架台内の吸着塔配置計画及び保管容量について (1) <変更なし>

<11. 放射性物質の放出抑制等による敷地周辺の放射線防護等>

- 架台設置に伴い、2.2.2敷地内各施設からの直接線ならびにスカイシャイン線による実効線量の「添付資料-1 使用済セシウム吸着塔一時保管施設及び大型廃棄物保管庫におけるセシウム吸着装置・第二セシウム吸着装置吸着塔の線源条件と保管上の線源について」に、大型廃棄物保管庫における吸着塔配置計画を追加し、第二セシウム吸着装置吸着塔の保管容量確保状況に反映。
- なお、今回追加した配置計画は、吸着塔表面線量率 $\phi \leq 1.2 \text{mSv/h}$ を36塔、 $\phi \leq 0.7 \text{mSv/h}$ を204塔、 $\phi \leq 0.234 \text{mSv/h}$ を120塔であり、前回の変更申請（大型廃棄物保管庫設）における線量評価で想定した吸着塔格納配置モデル（ $\phi \leq 1.2 \text{mSv/h}$ を36塔、 $\phi \leq 0.7 \text{mSv/h}$ を324塔、 $\phi \leq 0.234 \text{mSv/h}$ を180塔）で網羅されていることから、線量評価に変更はない。

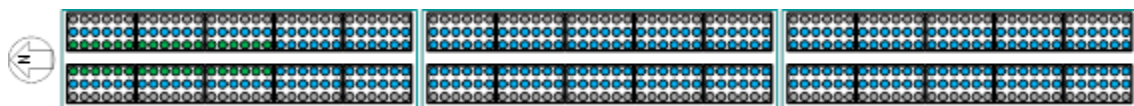
【吸着塔格納配置計画】



第二セシウム吸着装置吸着塔格納部		
● (Green)	: S1 $\phi \leq 1.2 \text{ mSv/h}$	36塔
● (Light Blue)	: S2 $\phi \leq 0.7 \text{ mSv/h}$	204塔
● (Grey)	: S3 $\phi \leq 0.234 \text{ mSv/h}$	120塔

ϕ : 吸着塔側面線量率

【線源条件として設定した吸着塔格納配置モデル】



第二セシウム吸着装置吸着塔格納部		
● (Green)	: S1 $\phi \leq 1.2 \text{ mSv/h}$	36塔
● (Light Blue)	: S2 $\phi \leq 0.7 \text{ mSv/h}$	324塔
● (Grey)	: S3 $\phi \leq 0.234 \text{ mSv/h}$	180塔

ϕ : 吸着塔側面線量率

9-2. 架台設置に伴う配置計画及び保管容量について (2) <変更なし>

<11. 放射性物質の放出抑制等による敷地周辺の放射線防護等>

【第二セシウム吸着装置吸着塔の線量別保管状況と保管容量確保状況】

	S1	S2	S3	S4
評価設定(mSv/時)	1.2	0.7	0.234	0.0082
格納制限(mSv/時)	$1.2 \geq \phi$	$0.7 \geq \phi$	$0.234 \geq \phi$	$0.0082 \geq \phi$
線量範囲(mSv/時)*	$1.2 \geq \phi > 0.7$	$0.7 \sim 0.234$	$0.234 \sim 0.0082$	0.0082以下
保管数**	0	19	197	0***
保管容量***	42 (6)	375 (171)	414 (294)	104

※：S2～S4の線量範囲（不等号の適用）はS1に準ずる。（平成31年4月24日現在）

※※：保管後の再測定によるカテゴリ変更を反映。

※※※：第一・第四施設及び大型廃棄物保管庫の合計。

※※※※：高性能多核種除去設備及びRO濃縮水処理設備の吸着塔95本の側面線量率はいずれも0.0082mSv/時未満である。

注：赤字が今回変更した数値。括弧内が変更前の数値。

10-1. 準拠規格及び基準について

<14. 設計上の考慮 ①準拠規格及び基準>

<変更なし>

- 構造強度については、「JSME S NC-1 発電用原子力設備規格 設計・建設規格」に従うことを基本方針とし、必要に応じて日本産業規格や製品規格に従い設計。
- 耐震設計については、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」に従い設計。

10-2. 使用済吸着塔保管架台の耐震性評価の基本方針

<修正>

<14. 設計上の考慮 ②自然現象に対する設計上の考慮>

地震応答解析の結果、使用済吸着塔保管架台の部材応力及び連結ボルト応力、基礎ボルト応力が、許容応力以下であり、使用済吸着塔保管架台の損傷により使用済吸着塔に波及的影響を及ぼさないことを確認する。

■ 基本方針

- 耐震設計審査指針における放射性物質を内蔵する施設（固体廃棄物取扱い設備）であるが、Bクラス相当として評価
- 架台の耐震性評価は、機器重量、重心高さが評価上最も厳しい高性能多核種除去設備吸着塔(ステンレス製)の格納を想定
- 耐震性に関する評価は「JEAC4601 原子力発電所耐震設計技術規程」に準拠した設計用地震力を適用
- 固有値解析により架台の振動特性を求め、共振のおそれのあるときは、動的地震力による評価を行い、静的地震力による評価と比較し厳しい方の評価を採用する。
- 静的地震力による評価は、地震による転倒モーメントと自重による安定モーメントを算出、比較することで転倒評価を実施し、架台を固定している基礎ボルトに作用するせん断荷重と許容せん断荷重を比較することにより滑動評価を実施する。また、連結ボルトの評価は、連結ボルトに作用するせん断応力とボルト許容応力を比較することにより評価を実施する。
- 動的地震力による評価は、自重解析は静的線形解析、動的解析はスペクトル応答解析により地震荷重を求め、SRSS法と自重による応力の絶対値との代数和法により、架台の部材応力及び連結ボルト応力、基礎ボルト応力を算出し許容応力との比較により評価する。

耐震 重要度分類	静的地震力		動的地震力	
	水平震度	鉛直震度	水平震度	鉛直震度
Bクラス	$K_h(1.8C_I)$	-	$1/2K_h(S_d)$	$1/2K_v(S_d)$

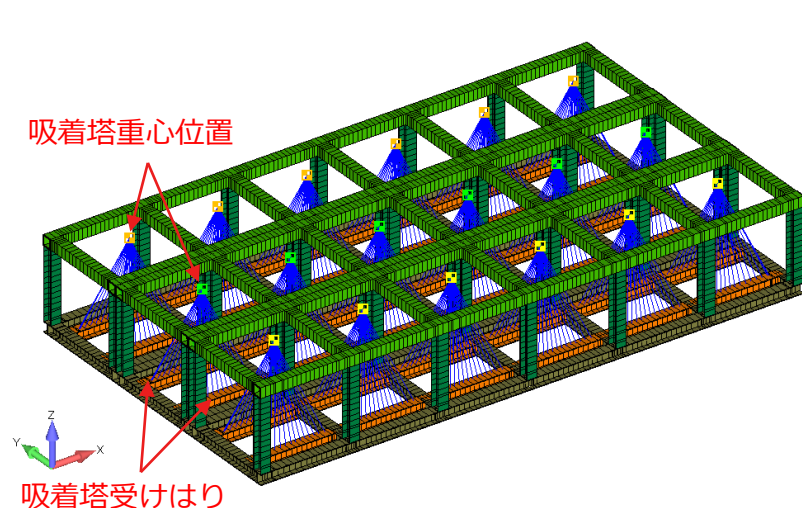
C_I (地震層せん断力係数 C_I)を震度とした値：標準せん断力係数0.2
 S_d ：弾性設計用地震動

10-3. 使用済吸着塔保管架台の解析モデル及び拘束条件

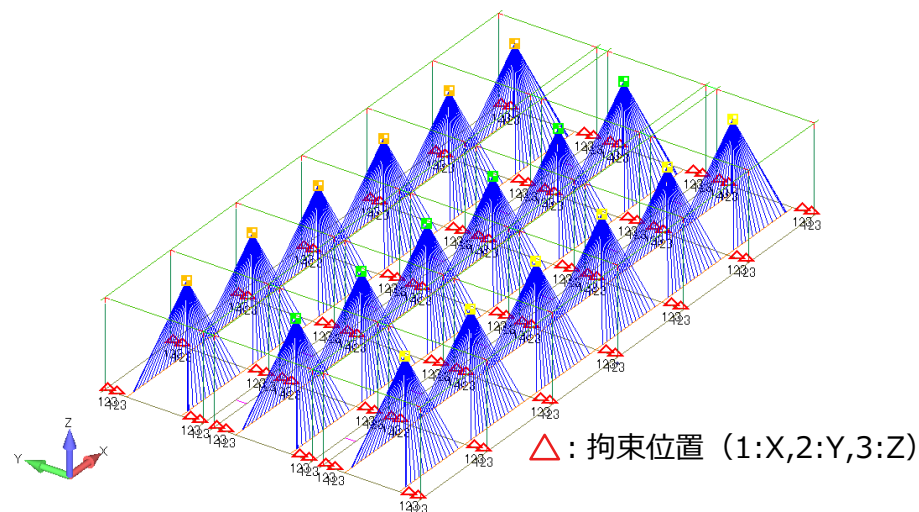
<14. 設計上の考慮 ②自然現象に対する設計上の考慮>

■ 地震応答解析モデル及び拘束条件

- 使用済吸着塔保管を模擬したモデルで評価
- 架台の鋼材は1次元バー要素でモデル化し、架台同士を繋ぐ連結プレートはバー要素にてモデル化
- 使用済吸着塔のモデルは重心位置を質点要素を設置し、吸着塔を静置する底部はりと質点要素を剛体要素で接続
- 使用済吸着塔保管架台の基礎ボルト底部位置の自由度を並進3方向(X,Y,Z)拘束とし、重力加速度を鉛直下方向、加速度応答スペクトルを水平X、水平Y、鉛直Z方向に作用させる。



吸着塔保管を模擬した地震応答解析モデル



吸着塔保管を模擬した拘束条件

10-4. 使用済吸着塔保管架台の固有値解析

<14. 設計上の考慮 ②自然現象に対する設計上の考慮>

地震応答解析モデルを用いた固有値解析を行った結果、使用済吸着塔保管状態での架台の一次固有振動数は7.7[Hz]となり、20[Hz]以下であるため剛構造ではないことを確認した。

次数	固有振動数 [Hz]	固有周期 [sec]	固有振動モードの特徴
1	7.6533	0.1307	吸着塔 1次振動モード
2	7.6733	0.1303	吸着塔 2次振動モード
3	7.6739	0.1303	吸着塔 3次振動モード
4	7.9417	0.1259	
5	7.9563	0.1257	
6	7.9568	0.1257	
7	8.4631	0.1182	
8	8.4709	0.1181	
9	8.4713	0.1180	
10	9.0965	0.1099	

材質名	SS400	
縦弾性係数 E[N/mm ²]	200933	
ポアソン比 ν [-]	0.3	
質量密度 ρ [ton/mm ³]	全体質量に応じて調整	
降伏応力 σ _y [N/mm ²]	厚さ 16mm 以下	243
	厚さ 16mm を超え 40mm 以下	233
	角形鋼管 BCR295	295
引張強さ σ _u [N/mm ²]	397	
(備考)		
・環境温度は 45℃ とする。		
・縦弾性係数 E は、「JSME S NJ1-2012 発電用原子力設備規格材料規格」(以下、「材料規格」という。) Part3 第 2 章, 表 1, 縦弾性係数に示す値		
・ポアソン比は、鋼構造設計規準 4 章材料表 4.3 に示す値		
・降伏応力 σ _y は、材料規格 p134 と日本鉄鋼連盟製品規定建築構造用冷間ロール成形角形鋼管 BCR295 に示す値		
・引張強さ σ _u は、材料規格 p150 に示す値		

名称	単位質量 [ton]	個数	合計質量 [ton]
保管架台	6.8	3	20.4
吸着塔	28.5	18	513.0
		合計	533.4

	断面形状	断面積	断面 2 次モーメント		断面係数	
		A _x	I _y	I _z	Z _y	Z _z
		[mm ²]	[mm ⁴]		[mm ³]	
1	■	8530	4.860×10 ⁷	4.860×10 ⁷	4.860×10 ⁵	4.860×10 ⁵
2	■	6353	4.720×10 ⁷	1.600×10 ⁷	4.720×10 ⁵	1.600×10 ⁵
(備考)						
・■の断面特性は、日本鉄鋼連盟製品規定建築構造用冷間ロール成形角形鋼管 BCR295p17 に示す値						
・■の断面特性は、日本規格学会 JIS ハンドブック 2016 鉄鋼 I p1729 に示す値						

10-5. 動的地震力の算定

<14. 設計上の考慮 ②自然現象に対する設計上の考慮>

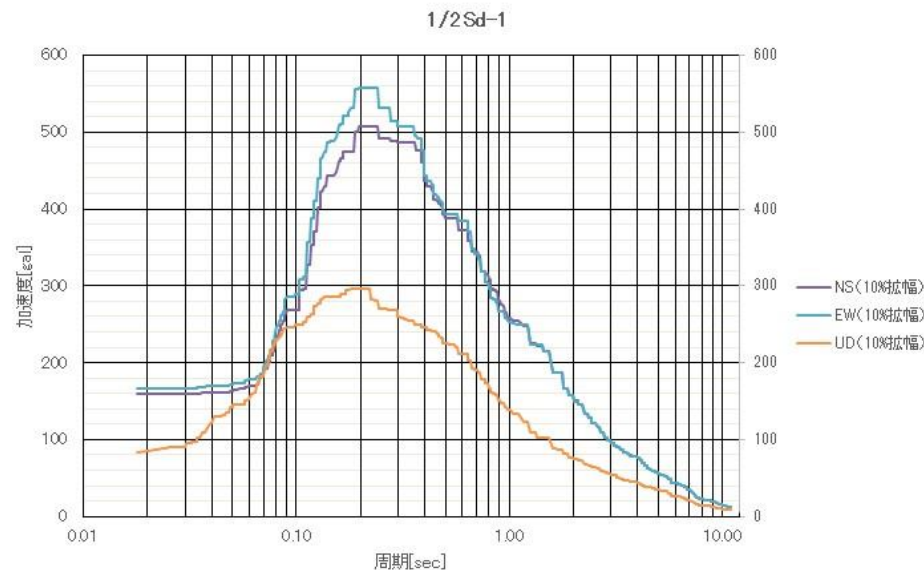
■ 動的地震力

- 耐震評価に用いる設計用床応答スペクトルは、大型廃棄物保管庫の地震応答解析で得られた建屋床応答スペクトル（弾性設計用地震動Sdの1/2）を、「原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601-2015）」に基づき、周期軸方向に±10%拡幅したもの。
- **基準地震動Ss-1に対する1/2Sd 時刻歴地震動の最大加速度は0.167G**

建屋床応答スペクトルの算出条件

位置	1階床
高さ(T.P.) [m]	26.685
計算周期点	181
減衰 [%]	5

- ※1 JEAC4601記載の建物・構築物に対する耐震設計より鉄筋コンクリート構造物の減衰定数5%を設定。
- ※2 上記は、建屋動的解析における時刻歴応答解析時に使用する減衰定数であり、架台の応答スペクトル作成においては、減衰定数1%を使用し解析を実施。



設計用床応答スペクトル

※上記動的地震力は、建屋側の地震応答解析の再評価前のものであるため、再評価の結果が出次第反映する。

10-6. 使用済吸着塔保管架台の耐震性評価

<14. 設計上の考慮 ②自然現象に対する設計上の考慮>

➤ 静的地震力及び動的地震力による耐震性評価の結果を以下に示す。

静的地震力による評価結果

機器名称	評価項目	水平震度	算出値	許容値	単位
高性能ALPS※ (吸着塔(ステンレス製) 6塔×3列及び架台)	転倒	0.36	3.5×10 ³	1.5×10 ⁴	kN・m
	滑動 (ボルトせん断)	0.36	<0	37	kN

※ SARRY/SARRY-2/高性能ALPS/RO濃縮水処理設備/サブドレ他浄化装置の吸着塔および既設ALPS処理カラムのうち、機器重量、重心高さが評価上最も厳しい高性能ALPS吸着塔(ステンレス製)にて評価を実施

動的地震力による評価結果

(解析モデル(吸着塔保管状態), 1/2Sd, 自重+水平EW(X)方向+鉛直Z方向)

評価項目	要素番号	使用部位	寸法	応力値 [N/mm ²]	許容応力 [N/mm ²]	評価
引張	12023	吸着塔受けはり	[図]	[図]	[図]	評価中
せん断	10074	吸着塔受けはり				
圧縮	14071	上部はり				
曲げ	10074	吸着塔受けはり				
組合せ (引張と曲げ)	10089	吸着塔受けはり				
組合せ (引張と曲げ)	10074	吸着塔受けはり				
組合せ (圧縮と曲げ)	10074	吸着塔受けはり				

(注) 許容応力は、小数点以下を切り捨てとする。

継続ボルト応力評価 (解析モデル(吸着塔保管状態))

地震	地震組合せ	評価項目	要素番号	応力値 [N/mm ²]	許容応力 [N/mm ²]	評価
1/2Sd	自重+水平 EW(X)+鉛直Z	せん断	50204	[図]	[図]	評価中
		引張	50302			
	自重+水平 NS(Y)+鉛直Z	せん断	50203			
		引張	50303			

(注) 許容応力は、小数点以下を切り捨てとする。

(解析モデル(吸着塔保管状態), 1/2Sd, 自重+水平NS(Y)方向+鉛直Z方向)

評価項目	要素番号	使用部位	寸法	応力値 [N/mm ²]	許容応力 [N/mm ²]	評価
引張	20208	吸着塔受けはり	[図]	[図]	[図]	評価中
せん断	20208	吸着塔受けはり				
圧縮	14071	上部はり				
曲げ	20221	吸着塔受けはり				
組合せ (引張と曲げ)	20221	吸着塔受けはり				
組合せ (引張と曲げ)	211	吸着塔受けはり				
組合せ (圧縮と曲げ)	20221	吸着塔受けはり				
組合せ (圧縮と曲げ)	211	吸着塔受けはり				

(注) 許容応力は、小数点以下を切り捨てとする。

基礎ボルト応力評価 (解析モデル(吸着塔保管状態))

地震	地震組合せ	評価項目	要素番号	応力値 [N/mm ²]	許容応力 [N/mm ²]	評価
1/2Sd	自重+水平 EW(X)+鉛直Z	せん断	[図]	[図]	[図]	評価中
		引張				
	自重+水平 NS(Y)+鉛直Z	せん断				
		引張				

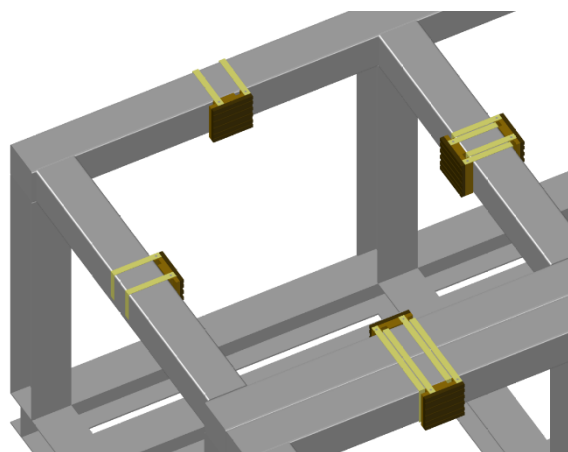
(注) 許容応力は、小数点以下を切り捨てとする。

※動的地震力による評価結果は、建屋側の地震応答解析の再評価の結果が出次第反映する。

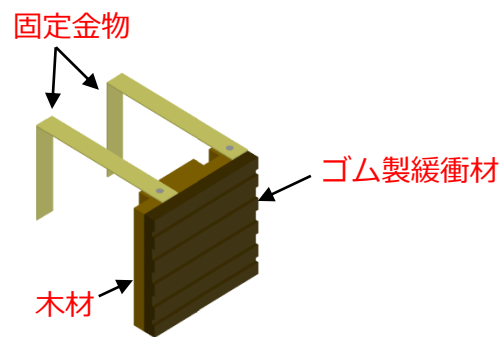
10-7. 使用済吸着塔保管架台の構造強度評価

<14. 設計上の考慮 ②自然現象に対する設計上の考慮>

- 使用済吸着塔を保管した状態において、架台の吸着塔受けはりに作用する応力を算出し、部材の許容応力と比較することにより強度評価を行う。また、保管した使用済吸着塔が地震力により滑り、上部はりと接触した場合に上部はりへ作用する応力を算出し、部材の許容応力と比較することにより強度評価を行う。
 なお、吸着塔受けはりに作用する応力は、吸着塔質量の等分布荷重が加わるものとして応力を算出し評価する。
- 使用済吸着塔の保護措置として、保管する使用済吸着塔と架台上部はりとのすき間に緩衝材の取付けを行い、地震力により吸着塔が動くことを制限するとともに、架台上部はりへの接触による衝撃を緩和することとする。



緩衝材取付イメージ



緩衝材イメージ

10-8. 使用済吸着塔保管架台の構造強度評価

<14. 設計上の考慮 ②自然現象に対する設計上の考慮>

【使用済吸着塔保管状態における強度評価】

吸着塔受けはり部材 (H形鋼)

SS400の曲げ応力 $\sigma_{max} = M_{max} / Z = WL / 8Z = 65MPa$

吸着塔1塔の重量 28500kg

吸着塔重量W : 14250kg H形鋼2本で支えているため

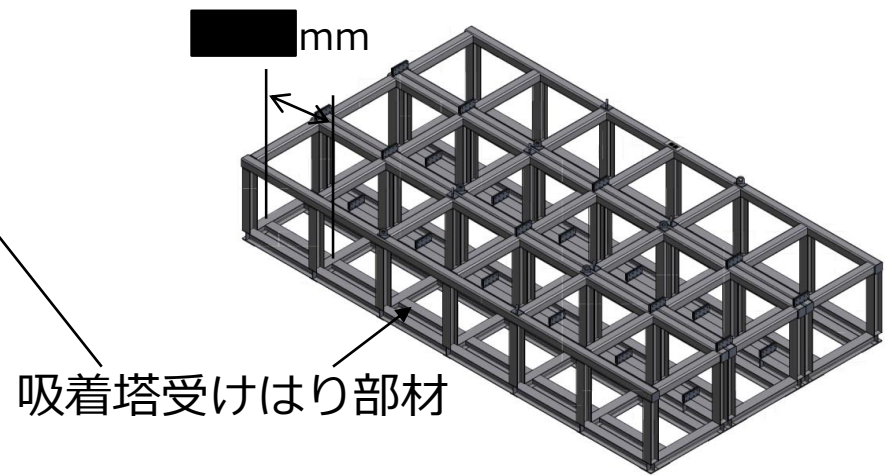
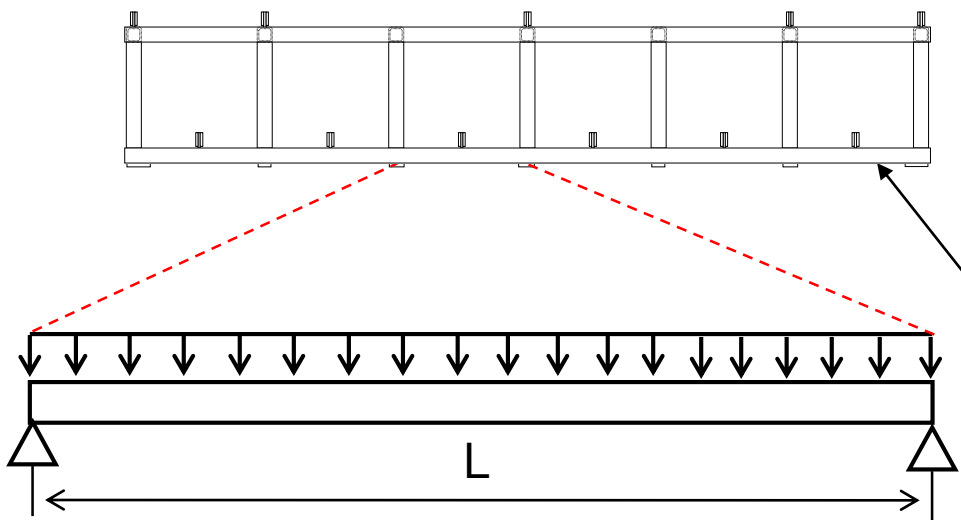
架台スパンL : mm

H形鋼断面係数Z : 472000mm³

SS400の許容曲げ応力 163MPa

***SS400の許容曲げ応力以下であることを確認 65MPa < 163MPa**

吸着塔質量W(N)等分布荷重 W/L (N/mm)として部材力を算出する。



10-9. 使用済吸着塔保管架台の構造強度評価

<14. 設計上の考慮 ②自然現象に対する設計上の考慮>

【水平震度に対する強度評価】

上部はり部材（角形鋼管）

BCR295 の曲げ応力度 $\sigma_{max} = M_{max} / Z = WaL / 4Z = 94MPa$

水平震度 $a : 0.36$

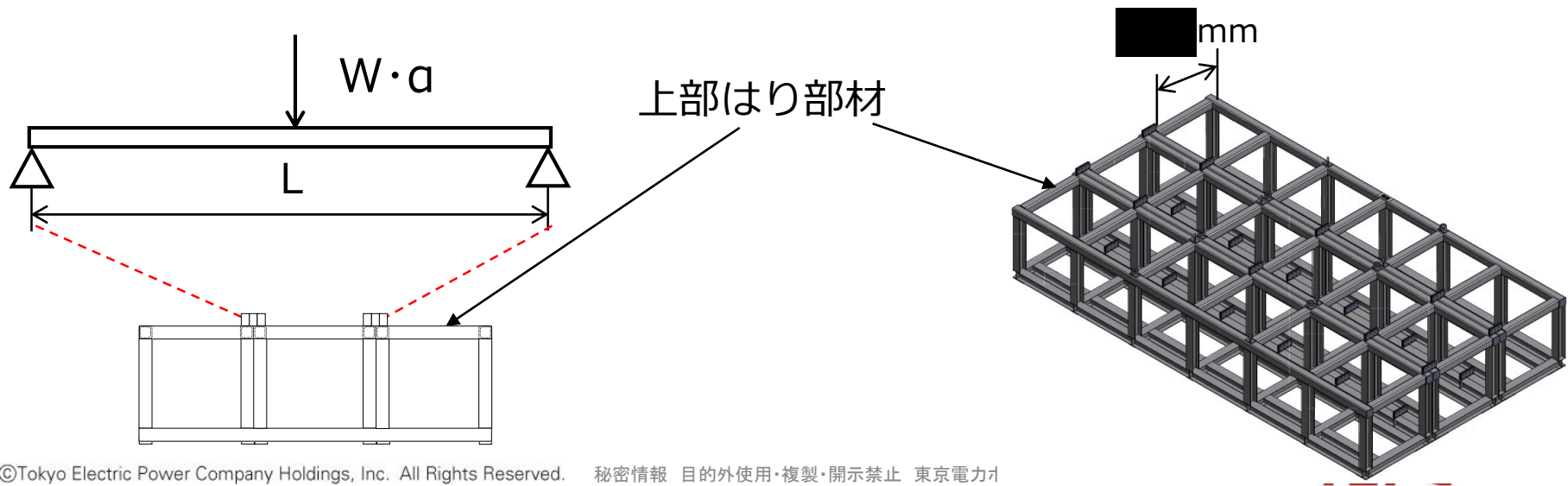
吸着塔 $W : 28500kg$

架台スパン $L : \blacksquare mm$

角形鋼管断面係数 $Z : 486000mm^3$

BCR295 の許容曲げ応力度 $280MPa$

*** BCR295 の許容曲げ応力以下であることを確認 $94MPa < 280MPa$**



10-10. 使用済吸着塔保管架台の構造強度評価

<14. 設計上の考慮 ②自然現象に対する設計上の考慮>

【接続ボルト強度評価】

吸着塔保管状態の架台3列のうち2列の荷重が上部連結ボルトに作用した場合

接続ボルトに作用するせん断力 $Q=H \times n=1256.4\text{kN}$

吸着塔1基を保管した場合の水平力 $H: 104.7\text{kN}$

吸着塔数量 $n: 12$ 基

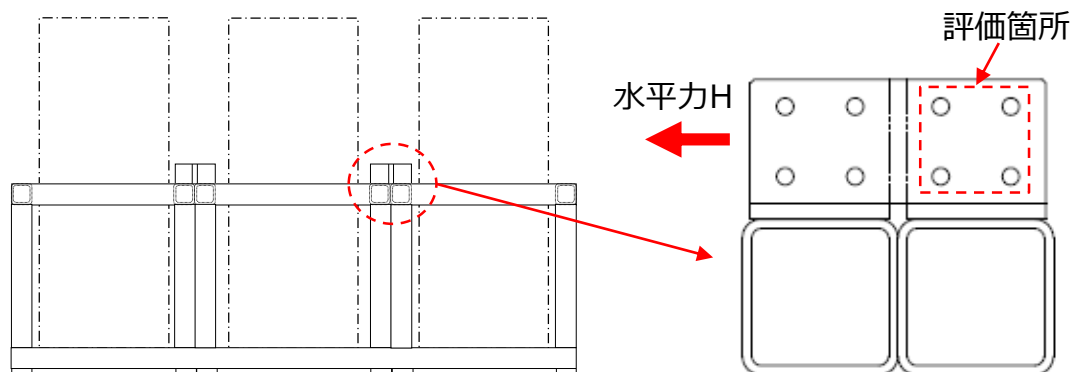
ボルトの許容せん断力 $Q_a=\tau_a \times n' \times n''=2820.0\text{kN}$

ボルト (M20) の許容耐力 $\tau_a: 141\text{kN}$ (鋼構造設計規準より)

本数 $n': 4$ 本 (連結プレート1つあたりに取付けられるボルト本数)

上部連結プレート個数 $n'': 5$ 個

***ボルト許容せん断力以下であることを確認 $1256.4\text{kN} < 2820.0\text{kN}$**



1 1 - 1. クレーンの耐震性評価の基本方針

<14. 設計上の考慮 ②自然現象に対する設計上の考慮>

大型廃棄物保管庫に設置するクレーンの構造強度及び耐震性は、検討に用いる地震動として弾性設計用地震動Sdに対する地震応答解析を実施し、クレーン本体が変位、転倒しないこと、またトロリが落下しないことを確認し、クレーンが大型廃棄物保管庫建屋及び貯蔵エリアの使用済吸着塔に波及的影響を及ぼさないことを確認する。

■ 基本方針

- クレーンは耐震Cクラスであるものの、Bクラス機器への波及的影響が懸念されることから、Bクラス相当として評価する。
- 弾性設計用地震動Sdは、基準地震動Ssの1/2とする。
- 地震力は、大型廃棄物保管庫の弾性設計用地震動Sd×1/2による床応答スペクトルを適用する。
- 労働基準監督署による検査に合格したクレーンを使用する。

■ 動的評価における地震力の組合せについて

- 本クレーンにおいては、既認可である使用済燃料プールからの燃料取り出し設備（実施計画Ⅱ章2.12）のうち、3号機燃料取扱設備クレーンの耐震性評価にて用いられている水平2方向それぞれの地震荷重に鉛直地震荷重を二乗和平方根（SRSS）法で組合せる手法を採用することとする。

1 1 - 2. クレーンの耐震性評価条件

<14. 設計上の考慮 ②自然現象に対する設計上の考慮>

■ 前提条件

- クレーン本体及び横行浮上り防止装置の評価は、車輪・レール間の滑りを考慮しない評価とし、走行浮上り防止装置及びレール取付部材については、走行方向への車輪・レール間の滑りを考慮した評価を実施する。

■ クレーン可動部の位置

- クレーンガーダ上でのトロリはガーダ中央、最も剛脚寄り、最も揺脚寄りの位置のうち、最大の影響となるケースで応答スペクトル法による解析を行う。
- 吊り荷の位置は保管庫ピット内のSARRY吸着塔上を余裕をもって通過可能な高さで評価する。なお、吊り荷の振れは考慮しない。

■ 吊り荷条件

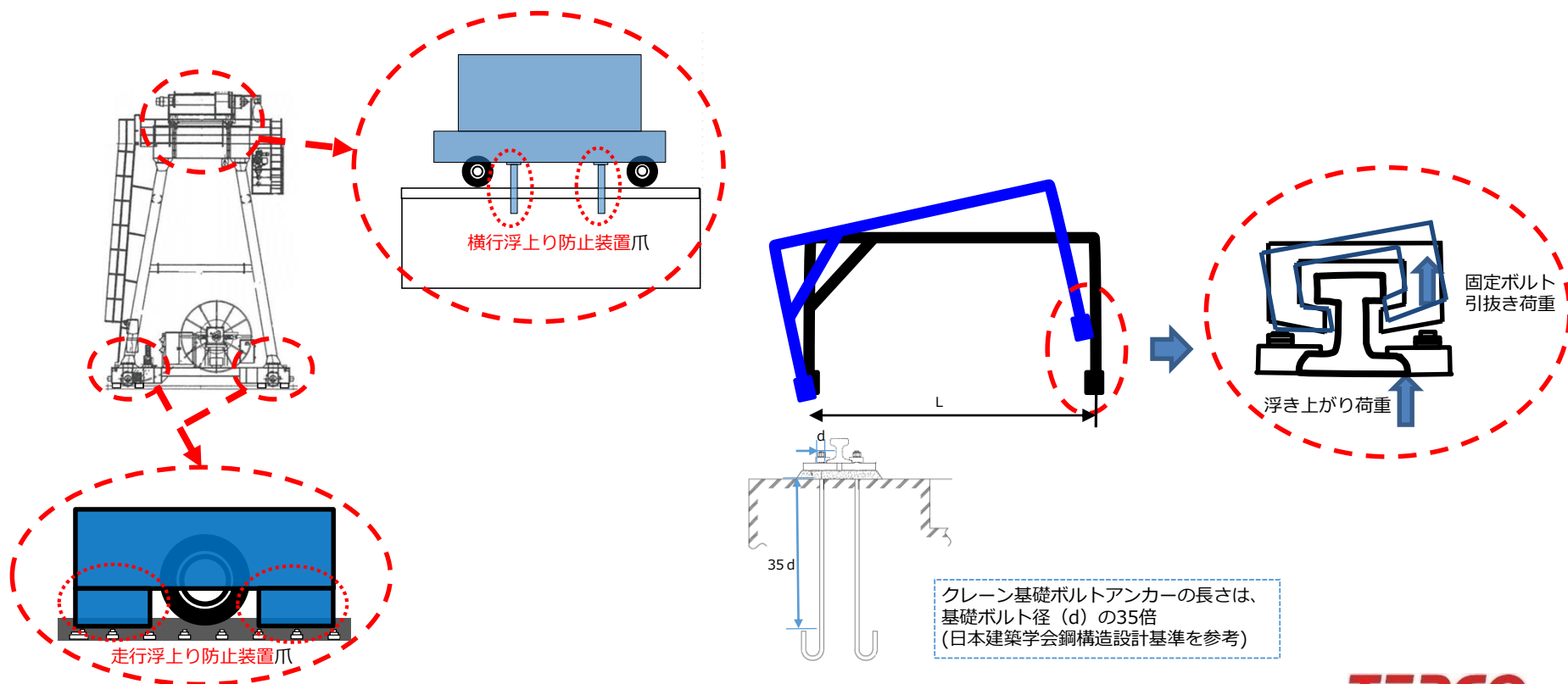
- 吊り荷の荷重（30000kg）を考慮した評価を行う。

11-3. クレーンの耐震性評価

<14. 設計上の考慮 ②自然現象に対する設計上の考慮>

評価方法

- 弾性設計用地震動Sdによる動的地震力にて転倒評価を行い、クレーン本体及びトロリの浮上り防止装置の各構造物及び走行レール並びに各構造物取付ボルトの応力を算出し、許容限界と比較評価する。なお、許容応力は「発電用原子力設備 設計・建設規格」に従い評価する。

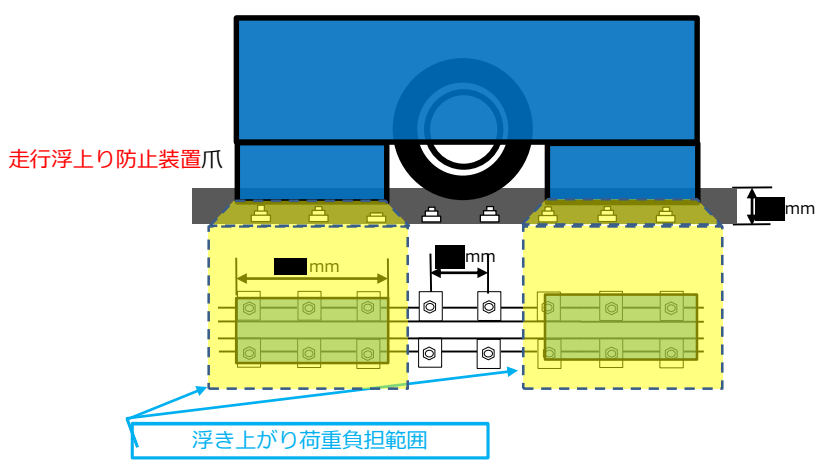


【参考】 走行レール取付ボルト浮上り荷重負担範囲

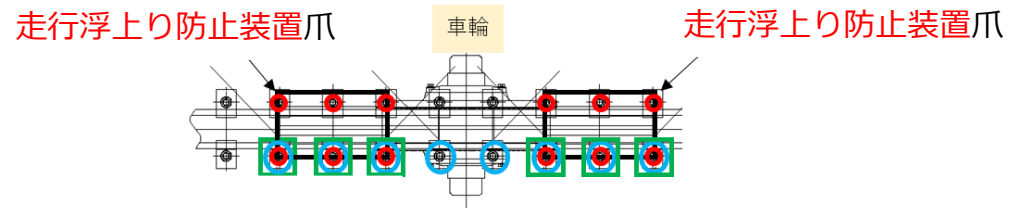
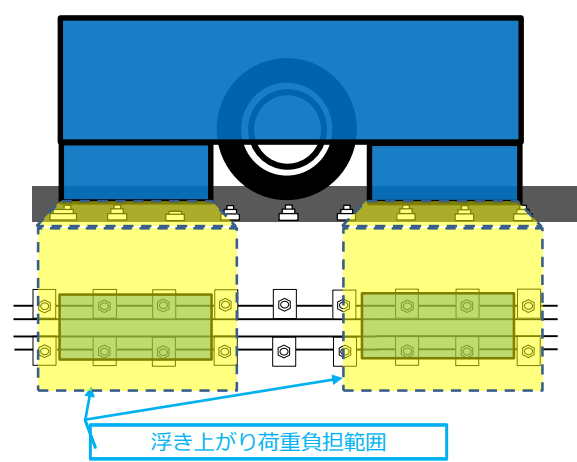
<修正>

- 浮上がり荷重は、走行浮上り防止装置爪を中心に下図のように走行レールを持ち上げるように伝わるため、荷重をうける走行レール基礎ボルトは下図に示す範囲と考え、保守的に12本で評価した。

走行浮上り防止装置爪がボルト上にある場合に荷重を受ける固定ボルトは12本



走行浮上り防止装置爪がボルトとボルトの間にある場合に荷重を受ける固定ボルトは16本

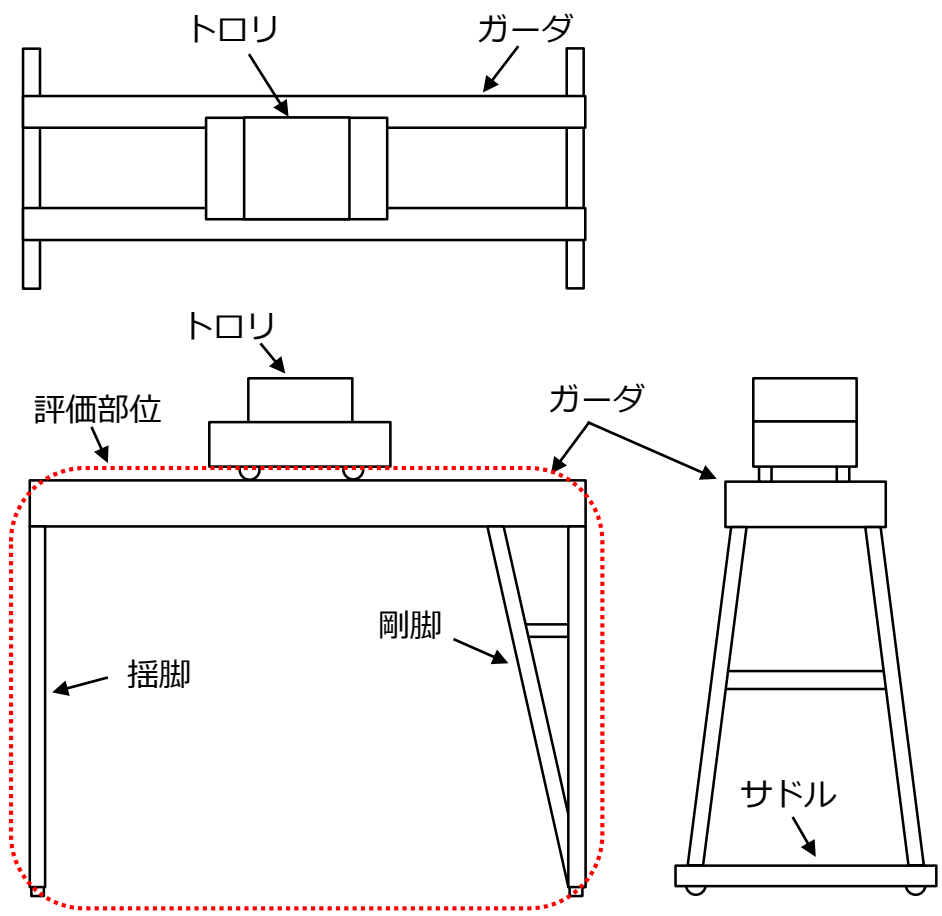


11-4. クレーンの耐震性評価

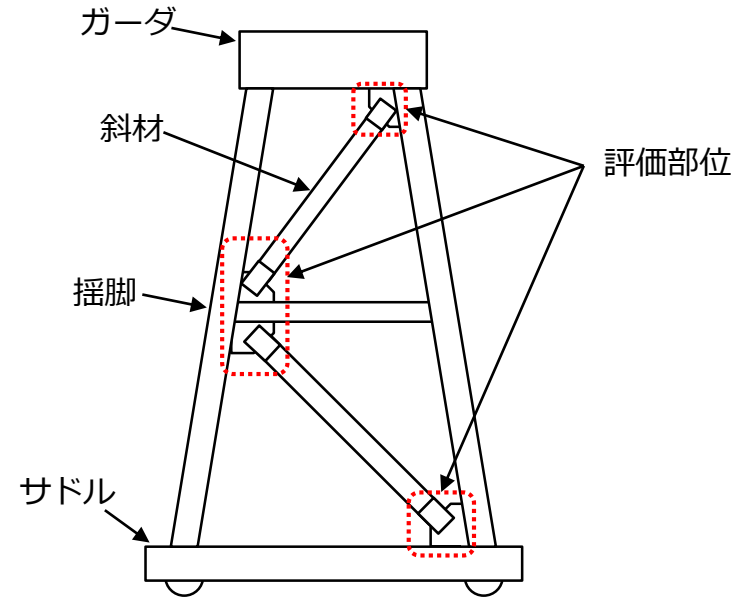
<14. 設計上の考慮 ②自然現象に対する設計上の考慮>

■ 応力評価部位

①クレーン本体部材評価部位



②クレーン本体連結ボルト評価部位

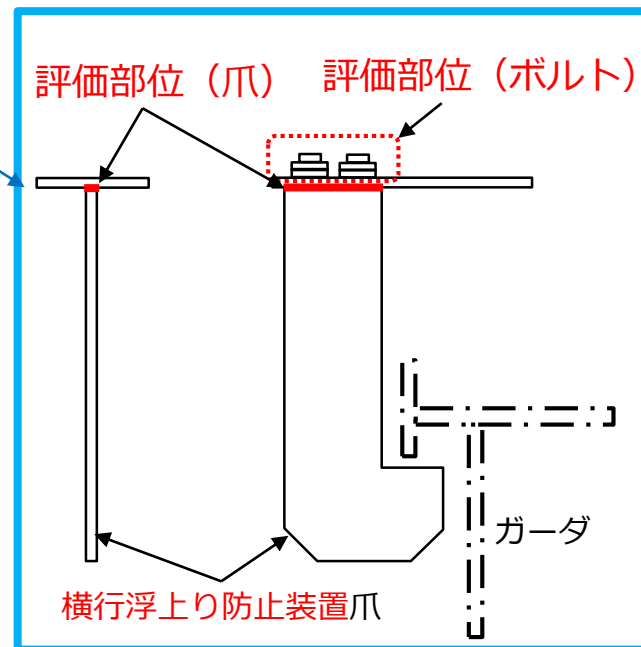
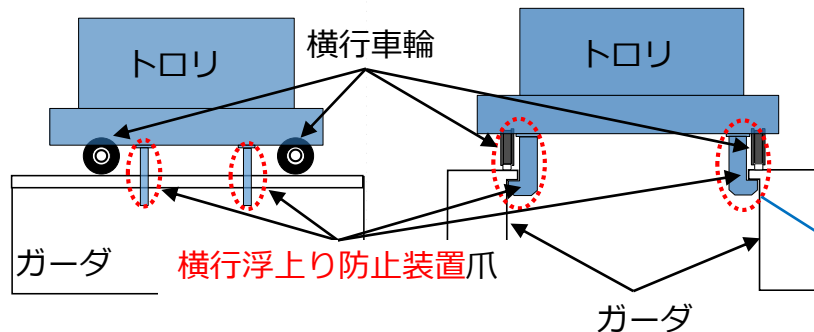


11-5. クレーンの耐震性評価

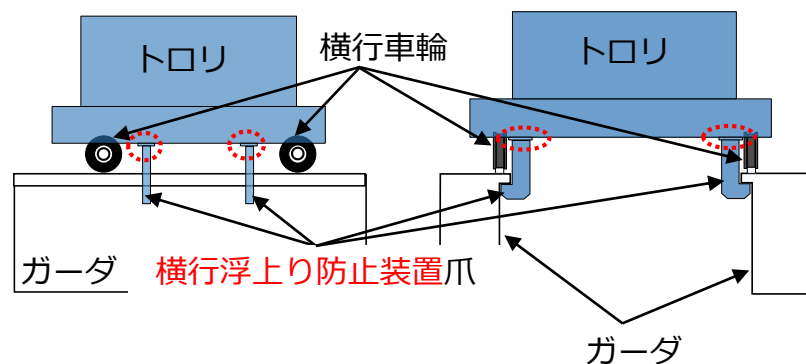
<14. 設計上の考慮 ②自然現象に対する設計上の考慮>

■ 応力評価部位

③ 横行浮上り防止装置爪評価部位



④ 横行浮上り防止装置爪取付ボルト評価部位

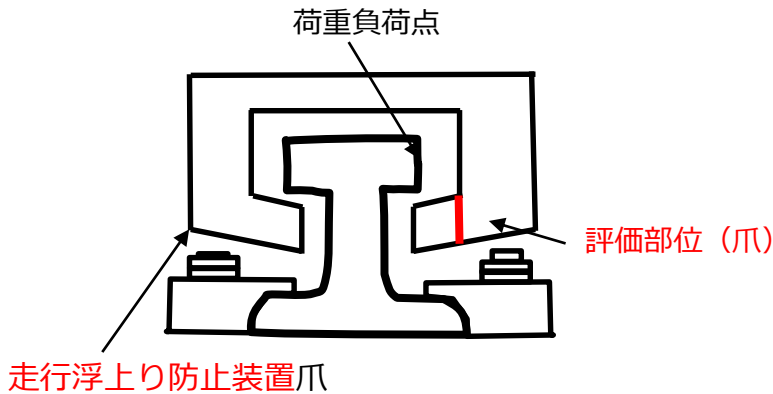


11-6. クレーンの耐震性評価

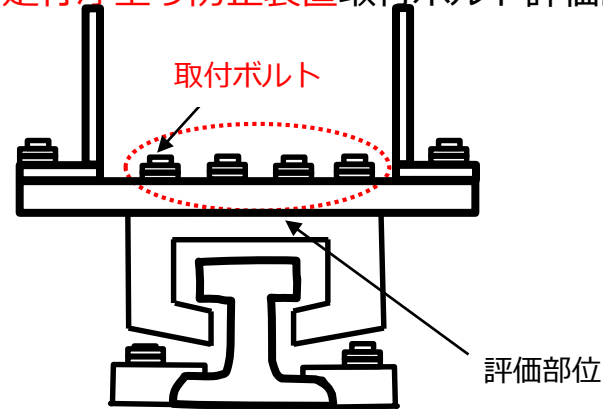
<14. 設計上の考慮 ②自然現象に対する設計上の考慮>

■ 応力評価部位

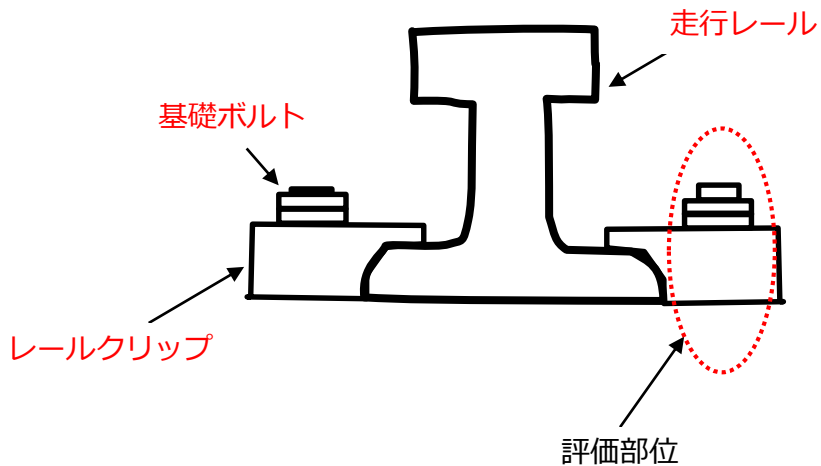
⑤ 走行浮上り防止装置爪評価部位



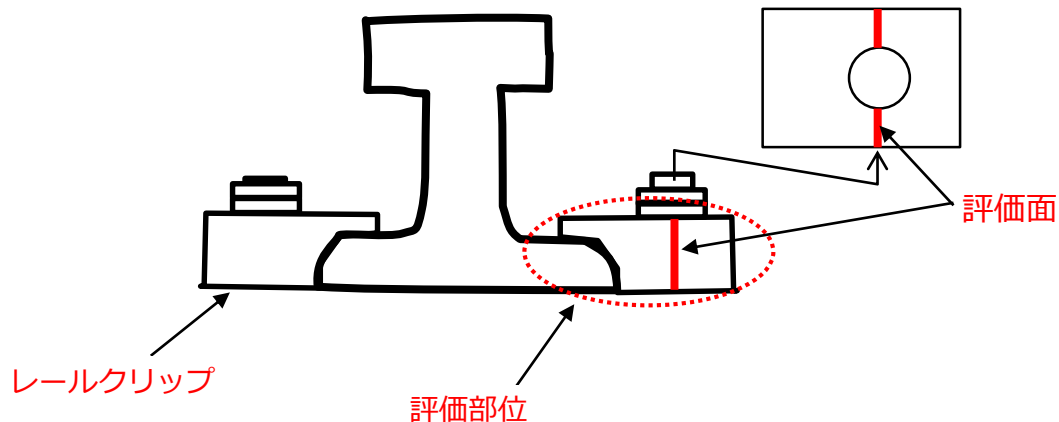
⑥ 走行浮上り防止装置取付ボルト評価部位



⑦ 走行レール基礎ボルト評価部位



⑧ 走行レールレールクリップ評価部位



11-7. クレーンの固有値解析

<14. 設計上の考慮 ②自然現象に対する設計上の考慮>

■ 固有周期

クレーンの解析モデルを用いたトロリ位置（中央，揺脚側，剛脚側）毎の固有値解析を行った結果を以下に示す。

➤ 固有値解析の条件

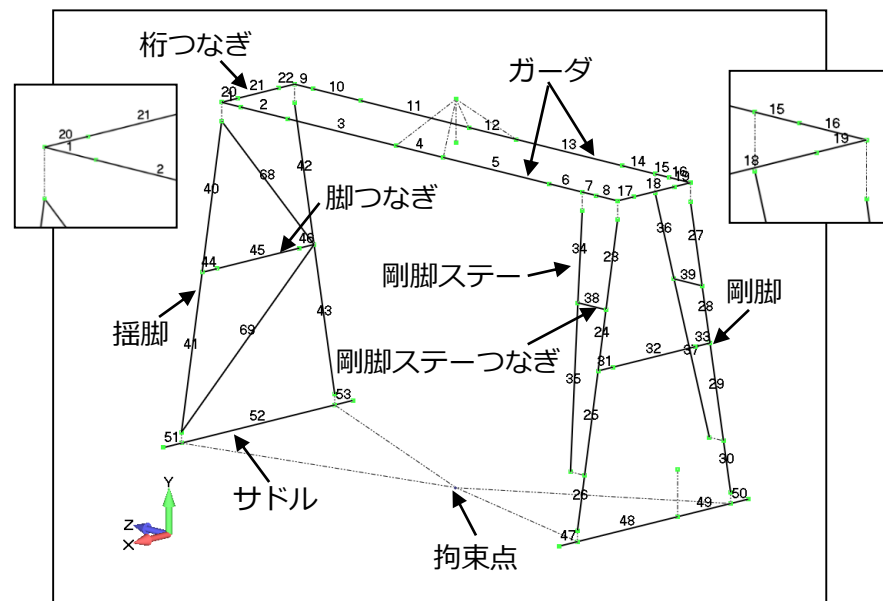
固有周期の評価に際しては以下の質量を用いる

(1) クレーン本体質量

(2) トロリ質量※

※吊り荷質量30,000kg(クレーン定格値) 含む

トロリ位置	固有振動数		
	X [Hz]	Y [Hz]	Z [Hz]
中央	評価中		
揺脚側			
剛脚側			



クレーン解析モデル

※固有値解析結果は、建屋側の地震応答解析の再評価の結果が出次第反映する。

11-8. クレーンの耐震性評価

<14. 設計上の考慮 ②自然現象に対する設計上の考慮>

■ 応力計算式

➤ クレーン本体部材

①引張, 圧縮応力

$$\sigma_{t1}, \sigma_c = R_1 / A_1$$

②曲げ応力

$$\sigma_{b1} = M_2 / Z_2 + M_3 / Z_1$$

③せん断応力

$$\tau_1 = \text{MAX} \{ (R_2 / A_2) + (M_1 / Z_{p1}), (R_3 / A_3) + (M_1 / Z_{p2}) \}$$

④組合せ応力

$$\sigma_1 = \sigma_{t1} + \sigma_{b1}$$

$$\tau_1 = \text{MAX} \{ (R_2 / A_2) + (M_1 / Z_{p1}), (R_3 / A_3) + (M_1 / Z_{p2}) \}$$

$$\sigma_{k1} = \sqrt{\sigma_1^2 + 3 \times \tau_1^2}$$

記号	表示内容	単位	記号	表示内容	単位	記号	表示内容	単位
	算出値			算出値			算出値	
A ₁	R1軸方向の力を受ける断面積	Mm ²	R ₁	解析モデル図を用いたNASTRANによる解析から算出したクレーン本体部材の長手方向に作用する引張, 圧縮力	N	Z ₁	M3を受ける断面係数	mm ³
	評価中						評価中	
A ₂	R2軸方向の力を受ける断面積	Mm ²	R ₂	解析モデル図を用いたNASTRANによる解析から算出したクレーン本体部材の鉛直方向に作用するせん断力	N	Z ₂	M2を受ける断面係数	mm ³
	評価中						評価中	
A ₃	R3軸方向の力を受ける断面積	Mm ²	R ₃	解析モデル図を用いたNASTRANによる解析から算出したクレーン本体部材の短手方向に作用するせん断力	N	Z _{p1}	R2軸方向の応力を組み合わせる時のM1を受けるねじり断面係数	mm ³
	評価中						評価中	
M ₁	R1軸廻りのモーメント	N・mm	R ₃	解析モデル図を用いたNASTRANによる解析から算出したクレーン本体部材の短手方向に作用するせん断力	N	Z _{p2}	R3軸方向の応力を組み合わせる時のM1を受けるねじり断面係数	mm ³
	評価中						評価中	
M ₂	R2軸廻りのモーメント	N・mm	R ₃	解析モデル図を用いたNASTRANによる解析から算出したクレーン本体部材の短手方向に作用するせん断力	N	Z _{p2}	R3軸方向の応力を組み合わせる時のM1を受けるねじり断面係数	mm ³
	評価中						評価中	
M ₃	R3軸廻りのモーメント	N・mm	R ₃	解析モデル図を用いたNASTRANによる解析から算出したクレーン本体部材の短手方向に作用するせん断力	N	Z _{p2}	R3軸方向の応力を組み合わせる時のM1を受けるねじり断面係数	mm ³
	評価中						評価中	

11-9. クレーンの耐震性評価

<14. 設計上の考慮 ②自然現象に対する設計上の考慮>

■ 応力計算式

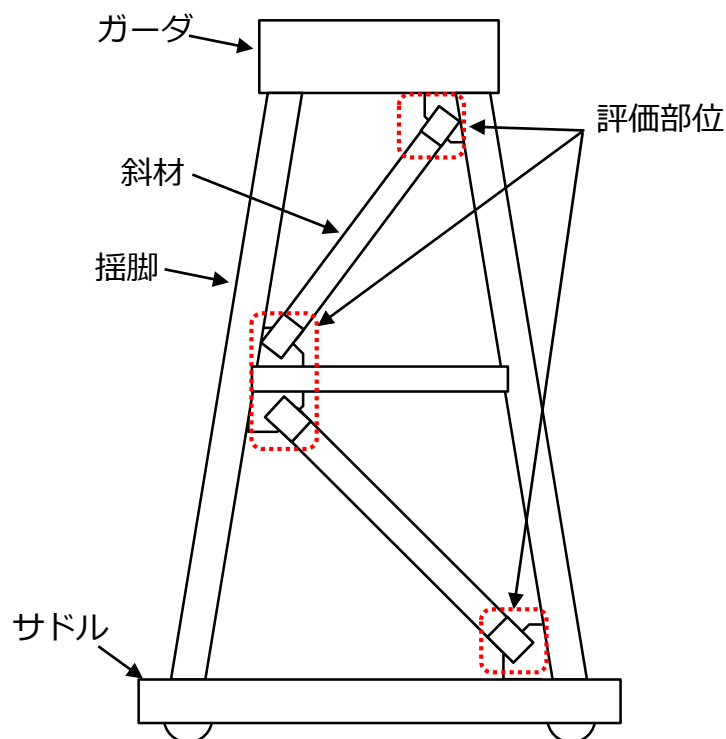
➤ クレーン本体連結ボルト

①引張応力

$$\sigma_{t2} = N_b / A_{b1}$$

②せん断応力

$$\tau_{b1} = Q_b / A_{b1}$$



記号	表示内容	単位
	算出値	
A_{b1}	高力ボルトの断面積	mm^2
	評価中	
N_b	解析モデル図を用いたNASTRANによる解析から算出した高力ボルト1本あたりに作用する引張力	N
	評価中	
Q_b	解析モデル図を用いたNASTRANによる解析から算出した高力ボルト1本あたりに作用するせん断力	N
	評価中	

11-10. クレーンの耐震性評価

<14. 設計上の考慮 ②自然現象に対する設計上の考慮>

■ 応力計算式

➤ 走行浮上り防止装置爪

①爪 1 個当たりの荷重

$$P_2 = P_1 / 2$$

②爪にかかるPによる曲げモーメント

$$M_4 = P_2 / l_1$$

③曲げ応力

$$\sigma_{b2} = M_4 / Z_3$$

④せん断応力

$$\tau_2 = P_2 / A_4$$

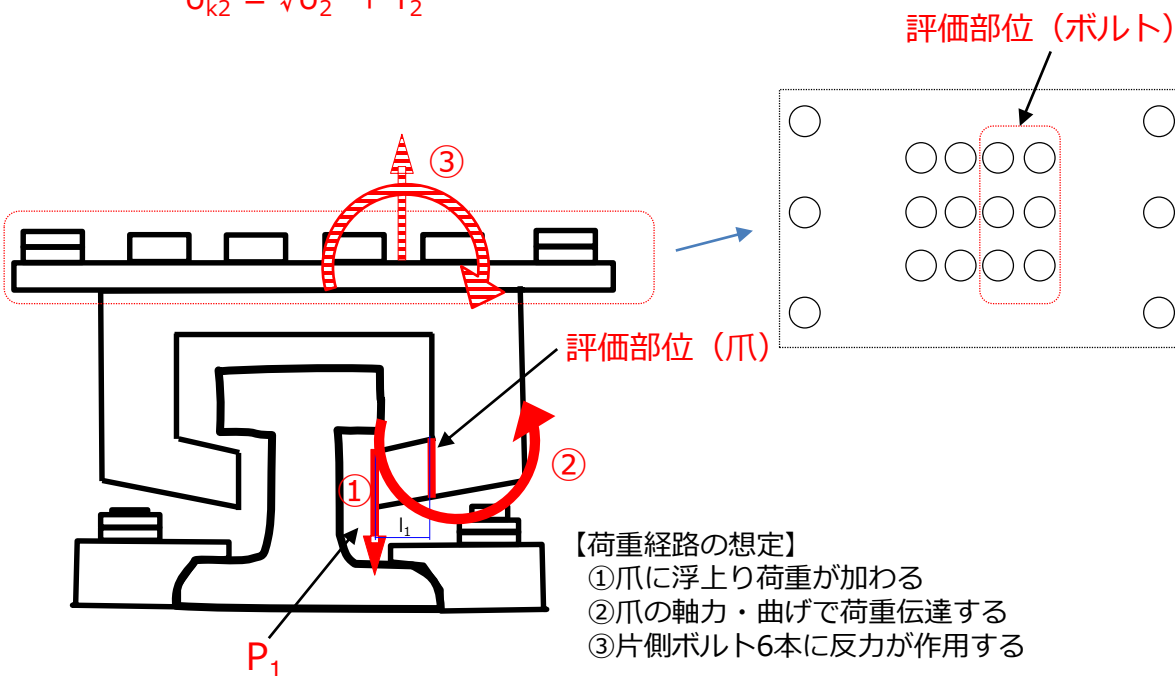
⑤爪組合せ応力

$$\sigma_{k2} = \sqrt{\sigma_2^2 + \tau_2^2}$$

➤ 走行浮上り防止装置取付ボルト

①取付ボルト 1 本当たりに作用する応力

$$\sigma_{t3} = P_{b1} / A_{b2}$$



記号	表示内容	単位
	算出値	
A ₄	走行浮上り防止装置爪の断面積	mm ²
	評価中	
A _{b2}	走行浮上り防止装置取付ボルトの断面積	mm ²
	評価中	
l ₁	走行浮上り防止装置爪先端の長さ	mm
	評価中	
P ₁	解析モデル図を用いたNASTRANによる解析から算出したクレーン本体が横行方向 (EW方向) へ浮上る際に走行浮上り防止装置爪へ作用する荷重	N
	評価中	
P _{b1}	解析モデル図を用いたNASTRANによる解析から算出したクレーン本体が横行方向 (EW方向) へ浮上る際に走行浮上り防止装置取付ボルトへ作用する荷重	N
	評価中	
Z ₃	走行浮上り防止装置爪の断面係数	mm ³
	評価中	

1 1 - 1 1. クレーンの耐震性評価

<14. 設計上の考慮 ②自然現象に対する設計上の考慮>

■ 応力計算式

➤ 横行浮上り防止装置爪

①爪にかかるPによる曲げモーメント

$$M_5 = P_3 \times l_2$$

②曲げ応力

$$\sigma_{b3} = M_5 / Z_4$$

③引張応力

$$\sigma_{t4} = P_1 / A_5$$

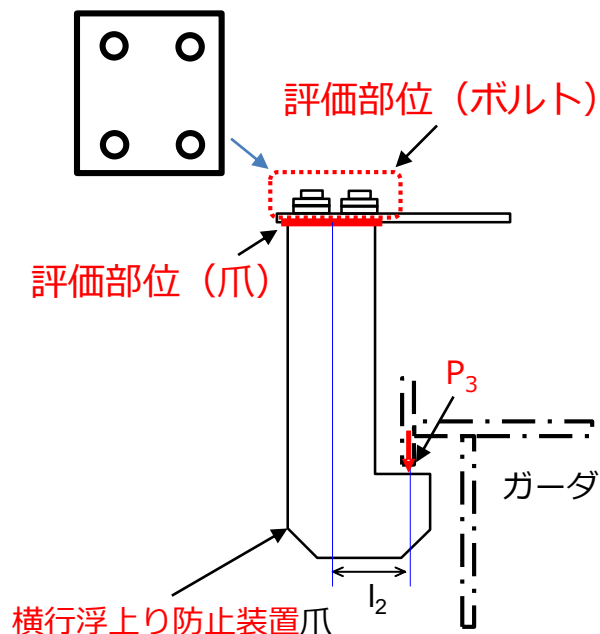
④組合せ応力

$$\sigma_{k3} = \sigma_{b3} + \sigma_{t4}$$

➤ 横行浮上り防止装置取付ボルト

①取付ボルト1本当たりに作用する応力

$$\sigma_{t5} = P_{b2} / A_{b3}$$



記号	表示内容	単位
	算出値	
A_5	横行浮上り防止装置爪の断面積	mm ²
	評価中	
A_{b3}	横行浮上り防止装置取付ボルトの断面積	mm ²
	評価中	
l_2	レール接触面から爪接合部までの距離	mm
	評価中	
P_3	解析モデル図を用いたNASTRANによる解析から算出した横行浮上り防止装置爪へ作用する荷重	N
	評価中	
P_{b2}	解析モデル図を用いたNASTRANによる解析から算出した横行浮上り装置取付ボルト1本当たりに作用する引張力	N
	評価中	
Z_4	横行浮上り防止装置爪の断面係数	mm ³
	評価中	

1.1-1.2. クレーンの耐震性評価

<14. 設計上の考慮 ②自然現象に対する設計上の考慮>

■ 応力計算式

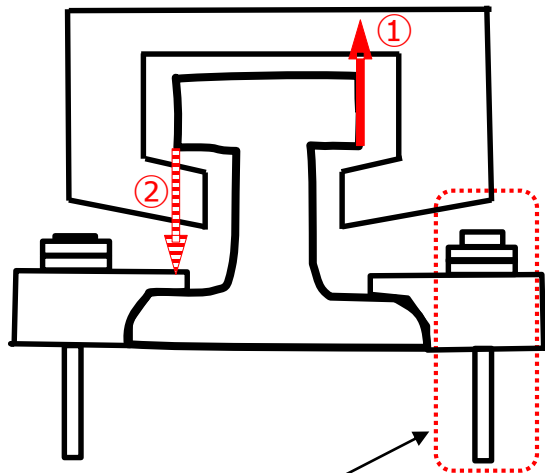
➤ 走行レール基礎ボルト

①引張応力

$$\sigma_{t6} = P_t / A_{b4}$$

②せん断応力

$$T_{b2} = S_b / A_{b4}$$



評価部位

【荷重経路の想定】

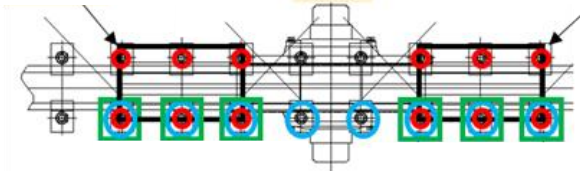
- ①走行レールに荷重が加わる
- ②走行レールに反力が作用する
- ③基礎ボルトに引張力とせん断力が作用する

記号	表示内容	単位
	算出値	
A_{b4}	走行レール取付ボルトの断面積	mm ²
	評価中	
P_t	解析モデル図を用いたNASTRANによる解析から算出したクレーン本体が横行方向（EW方向）へ浮上る際に走行レール基礎ボルト1本当たり作用する引張力	N
	評価中	
S_b	解析モデル図を用いたNASTRANによる解析から算出したクレーン本体が横行方向（EW方向）へ浮上る際に走行レール基礎ボルト1本当たり作用するせん断力	N
	評価中	

走行浮上り防止装置爪

車輪

走行浮上り防止装置爪



- ・・・引張力は赤丸ボルト12本で負担することを想定。
- ・・・せん断力は青丸ボルト8本で負担することを想定。
- ・・・モーメントによる引張力は片側6本で負担することを想定。

11-13. クレーンの耐震性評価

<14. 設計上の考慮 ②自然現象に対する設計上の考慮>

■ 応力計算式

➤ 走行レールレールクリップ

①引張応力

$$\sigma_{t7} = T_1 / A_6 + T_2 / A_6$$

②曲げ応力

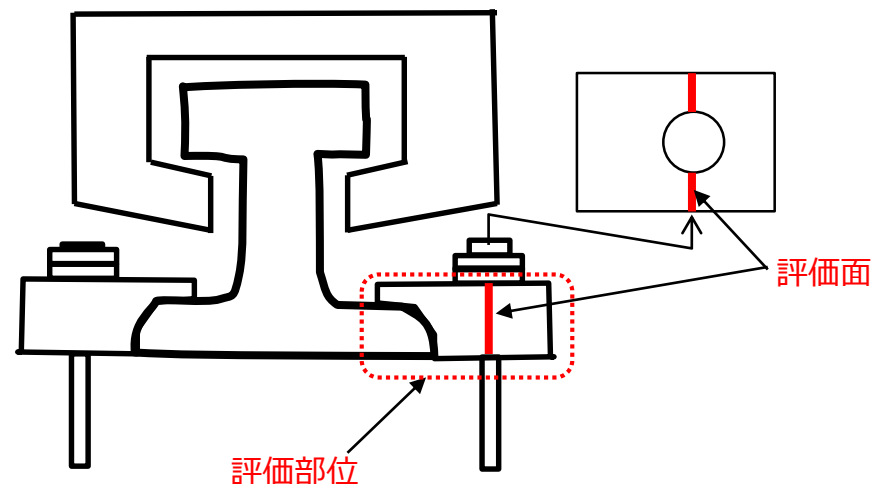
$$\sigma_{b3} = M_6 / Z_5 + M_7 / Z_5$$

③せん断応力

$$\tau_3 = S_1 / A_6 + S_2 / A_6$$

④組合せ応力

$$\sigma_{k4} = \sqrt{\{(\sigma_{t7} + \sigma_{b3})^2 + 3 \times \tau_3^2\}}$$



記号	表示内容	単位	記号	表示内容	単位	記号	表示内容	単位
	算出値			算出値			算出値	
A ₆	走行レールレールクリップの断面積	mm ²	S ₂	解析モデル図を用いたNASTRANによる解析から算出したクレーン本体が横行方向（EW方向）へ浮上る際にレールクリップに作用する鉛直方向せん断力	N	T ₂	解析モデル図を用いたNASTRANによる解析から算出したクレーン本体が横行方向（EW方向）へ浮上る際にレールクリップに作用する鉛直方向引張力	N
	評価中			評価中				
M ₆	走行レールレールクリップに作用する水平方向曲げモーメント	N・mm	T ₁	解析モデル図を用いたNASTRANによる解析から算出したクレーン本体が横行方向（EW方向）へ浮上る際にレールクリップに作用する水平方向引張力	N	Z ₅	走行レールレールクリップの断面係数	mm ³
	評価中			評価中				
M ₇	走行レールレールクリップに作用する鉛直方向曲げモーメント	N・mm	T ₁	解析モデル図を用いたNASTRANによる解析から算出したクレーン本体が横行方向（EW方向）へ浮上る際にレールクリップに作用する水平方向引張力	N	Z ₅	走行レールレールクリップの断面係数	mm ³
	評価中			評価中				
S ₁	解析モデル図を用いたNASTRANによる解析から算出したクレーン本体が横行方向（EW方向）へ浮上る際にレールクリップに作用する水平方向せん断力	N	T ₁	解析モデル図を用いたNASTRANによる解析から算出したクレーン本体が横行方向（EW方向）へ浮上る際にレールクリップに作用する水平方向引張力	N	Z ₅	走行レールレールクリップの断面係数	mm ³
	評価中			評価中				

11-14. クレーンの耐震性評価

<14. 設計上の考慮 ②自然現象に対する設計上の考慮>

■ 応力評価結果

応力評価の結果、クレーン本体の各部材ならびに浮上り防止装置の各構造物及び走行レール並びに各構造物取付ボルトが全て許容応力の範囲内であり、クレーンが橋形の形状を維持し転倒しないこと、並びにトロリが落下に至らないため、建屋及び使用済吸着塔に波及的影響が無いことを確認した。

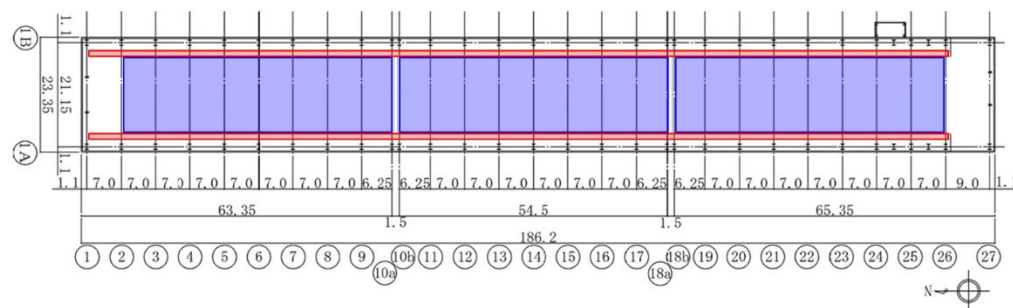
評価部位		応力	算出応力 [MPa]	許容応力 [MPa]
クレーン本体		組合せ	評価中	
連結ボルト		引張		
走行浮上り防止装置	爪	組合せ		
	取付ボルト	引張		
横行浮上り防止装置	爪	組合せ		
	取付けボルト	引張		
走行レール	基礎ボルト	引張		
	レールクリップ	組合せ		

※応力評価結果は、建屋側の地震応答解析の再評価の結果が出次第反映する。

12. 貯蔵エリアの床の耐荷重について

<14. 設計上の考慮 ②自然現象に対する設計上の考慮>

- 既認可では、貯蔵エリアの床の耐荷重を 21.07t/m^2 、レール基礎に作用する荷重をクレーン重量 110t + 定格荷重 150t を考慮した車輪一輪あたりの荷重（ $50\text{t}/\text{輪}$ ）として、基礎スラブを設計している。

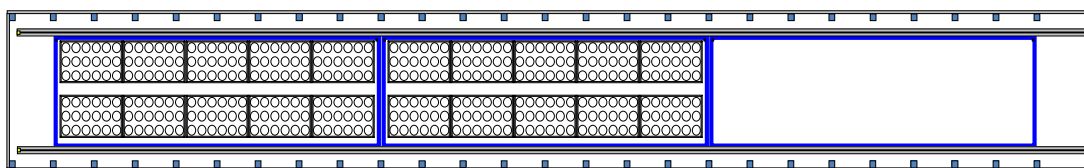


■ : 貯蔵エリアに作用する範囲
貯蔵エリア全体に廃棄体が設置されることを想定し、 21.07t/m^2 の荷重を考慮し構造設計を実施。

■ : レール基礎に作用する範囲
 150t クレーンの走行を想定し、クレーン重量 110t 、輪圧 $50\text{t}/\text{輪}$ 、定格荷重 150t を考慮して構造設計を実施。

- 今回の申請では、貯蔵エリアの床荷重が 8.4t/m^2 、クレーン重量においては、 60.7t + 定格荷重 30t を考慮した車輪一輪あたりの荷重（ $33.2\text{t}/\text{輪}$ ）となっており、床荷重及びレール基礎に作用する荷重より小さい値であるため床耐荷重は既認可評価の範囲内である。

	重量	底面積	貯蔵エリア荷重
SARRY架台	210t/貯蔵エリア ($21.0\text{t}/\text{基} \times 10\text{基}$)	639 m^2 ($(10.65\text{m} \times 6.0\text{m}) \times 10\text{基}$)	8.4 t/m^2
SARRY吸着塔	5,130t/貯蔵エリア ($28.5\text{t}/\text{体} \times 18\text{体}/\text{基} \times 10\text{基}$)		



13. クレーンの基本仕様・落下防止等の安全対策

<14. 設計上の考慮 ⑧信頼性に対する設計上の考慮>

◆ 基本仕様として既設の一時保管施設の設計・機能を踏襲し、以下の安全対策を実施する

➤ 主要仕様

- 定格荷重 30/2.8t (主/補)

【設定根拠】

主巻：想定される使用済吸着塔で最も重いもの※ (28.5t+吊具0.65t) の移動を想定

※：高性能多核種除去設備吸着塔 (ステンレス製)

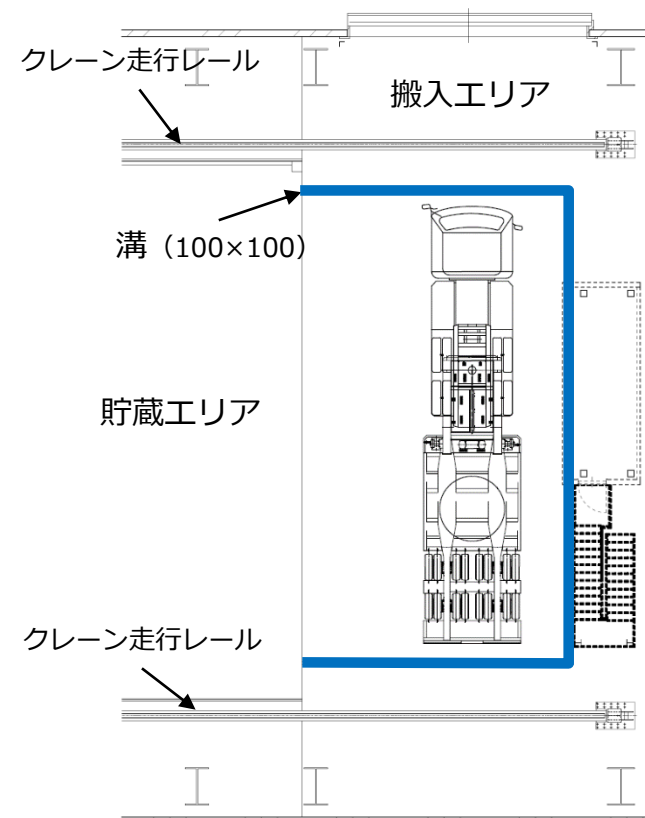
補巻：吸着塔以外の軽い物品の移動を想定

➤ 落下防止対策

- ワイヤロープ二本掛けのホイストを使用することで、ワイヤロープ一本の破断による荷の落下を防止する
- 停電、その他故障発生時に主巻ブレーキが動作し、ドラム空転による荷の落下を防止する

➤ その他の安全対策

- 主巻の横行・走行の端部での停止用に、機械的ストッパーに加え、電気的リミット装置を設け二重化する
- 搬入エリアに貯蔵エリア内へ漏えい物を流下させる溝を設け、万一、搬入エリアで大量漏えいした際もエリア外への漏えい拡大を防止する。(右図)



14. 非常時の水素の滞留（評価条件と結果）

＜15. その他措置を講ずべき事項＞

- 既認可では、換気設備停止時の水素の滞留について、水素発生量評価モデル（SARRY 540体保管）で評価を実施した。

評価目的：屋上ベント開のみで水素滞留が防止できるかを評価する

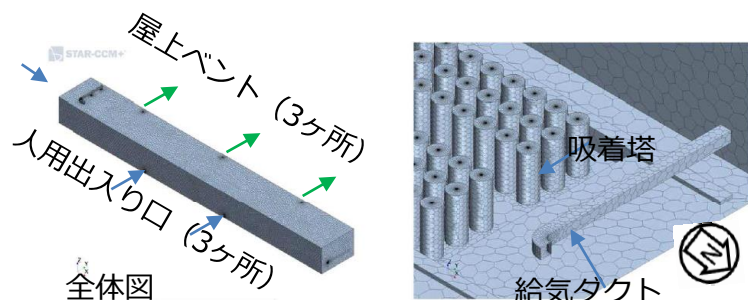
前提①水素発生量は約 $1.1\text{m}^3/\text{h}$ （約 2 l/h/基 at Cs137濃度 3.0×10^{15} ※1× 540基 = 1080 l/h ≒ 約 $1.1\text{m}^3/\text{h}$ ）に設定
※1 実施計画Ⅲ 2.2添付資料-1 表3内S2を引用

- 全ての放射線エネルギーが水に吸収されるものと保守側に仮定
- 吸収エネルギー100eVあたりの水素分子生成数(G値)は0.45で算出
- 最も水素発生量の多いSARRY吸着塔(約 2 l/h/基)のみでモデル化(540基)
(参考) KURION吸着塔の水素発生量：約 0.6 l/h/基 at Cs137濃度約 8.3×10^{14} ※2×1152基 = 約 $0.7\text{m}^3/\text{h}$
※2 実施計画Ⅲ 2.2添付資料-1 表1内K4を引用

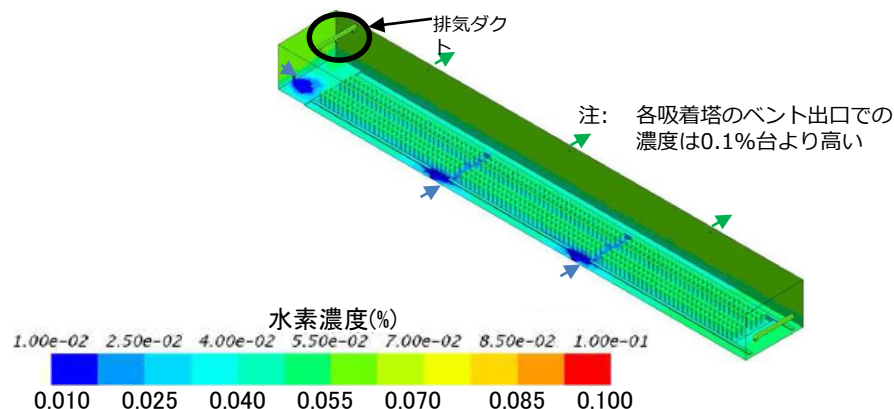
前提②屋上ベント及び人用出入り口(各3ヶ所、左下図)のみを開とする

前提③希釈された水素の浮力のみを駆動力として考慮

- 評価結果：保管庫内の平均水素濃度は約0.06%（天井付近の最大濃度も同じ）に止まる(可燃限界の4%より十分低い)
換気設備停止時、水素の滞留の可能性が高い箇所として、保管庫上部の窪み形状である排気ダクト内を代表箇所に選定し水素濃度を確認した。
排気ダクト内の水素濃度は0.058~0.059%で保管庫内の平均水素濃度とほぼ同じであり、水素が高濃度に滞留することがないことを確認した



北端(給気側)拡大図
(本解析では給気量ゼロ)



- 今回の申請は、SARRY360体の保管であり、水素の滞留防止対策の既認可評価モデル範囲内である。