

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

2020年09月25日（第3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. 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

3. 大型廃棄物保管庫設置に係る実施計画の変更申請

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

4 - 1. 揚重設備（クレーン）及び架台について

■ 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

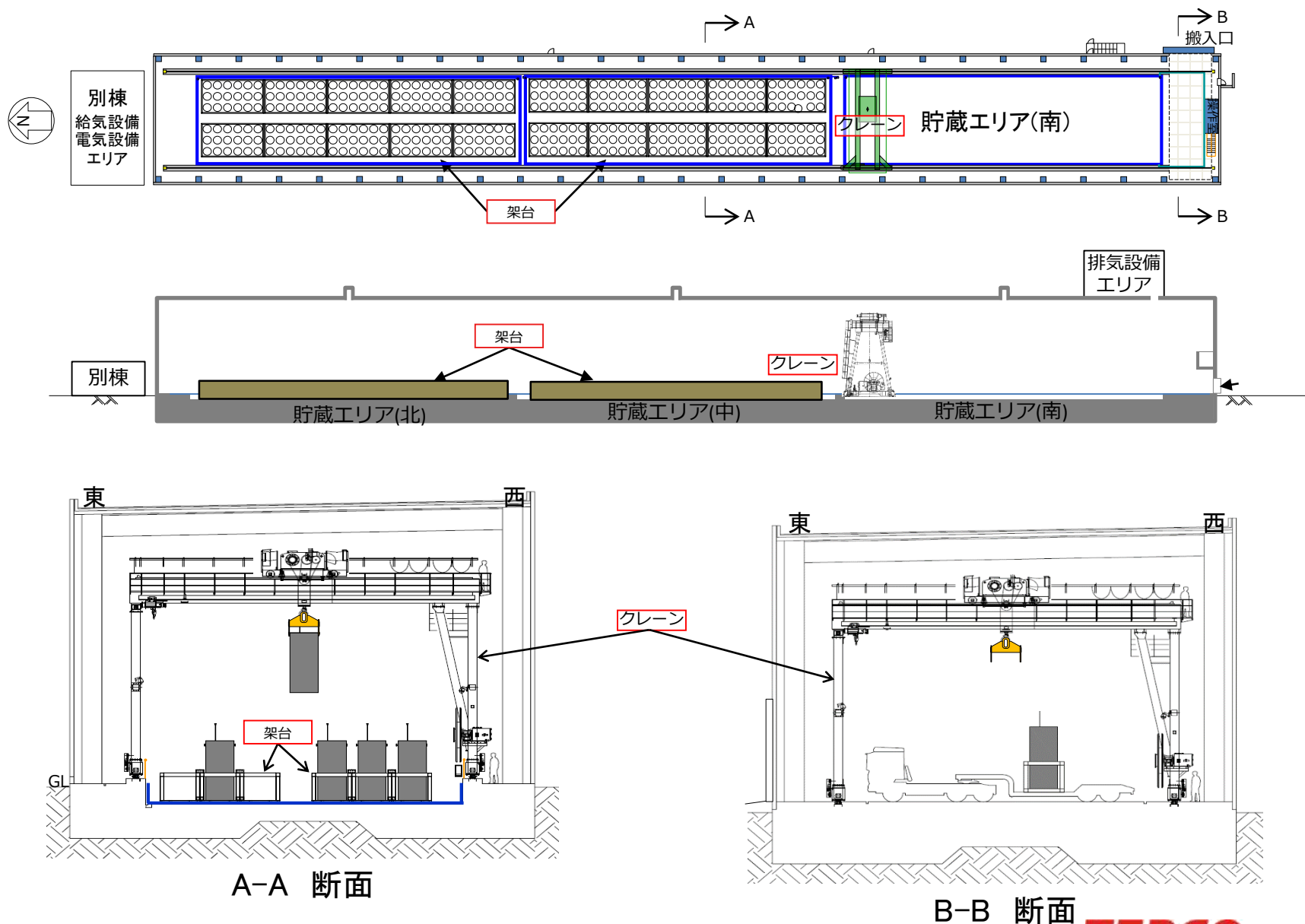
➤ 架台

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）

4-2. 揚重設備（クレーン）及び架台の概略図

<変更なし>

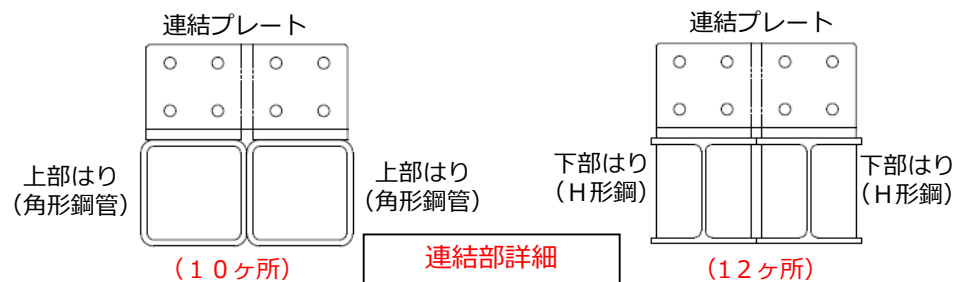
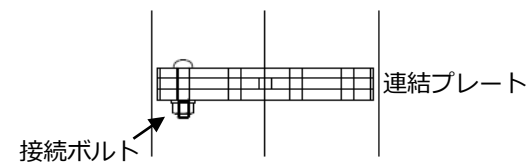
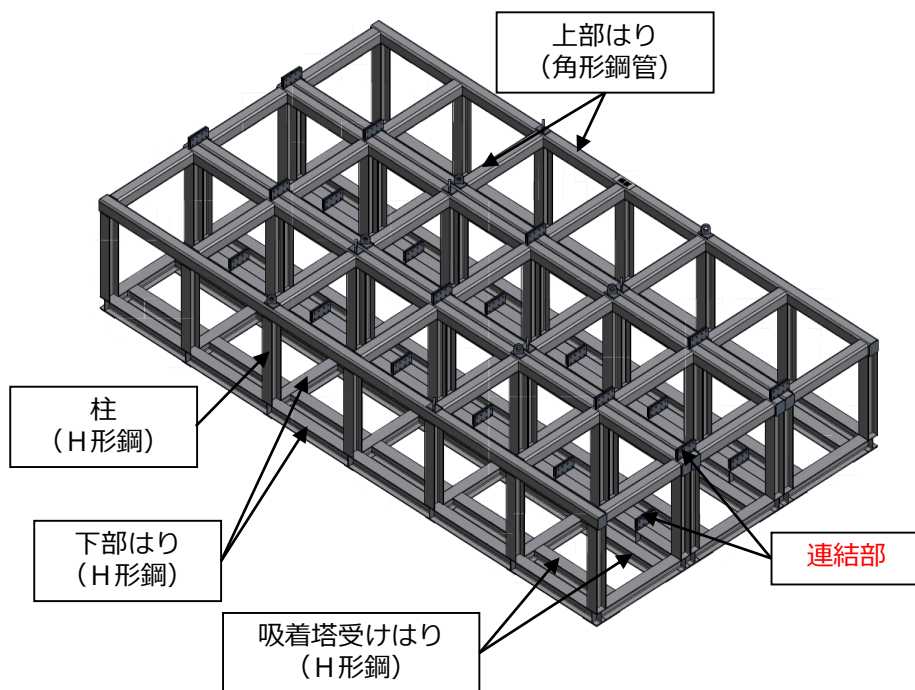


4-3. 架台の構造

- 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

主要材料

部位	材質	断面形状
上部はり (角形鋼管)	B C R 2 9 5	□200×200×12
下部はり (H形鋼)	S S 4 0 0	H200×200×8×12
吸着塔受けはり (H形鋼)	S S 4 0 0	H200×200×8×12
柱 (H形鋼)	S S 4 0 0	H200×200×8×12



5. 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)：21.07t/m ²	SARRY吸着塔 + 架台床荷重：8.4t/m ²
	レール床： クレーン重量110t+荷150t 車輪あたりの荷重(50t/輪)	レール床： クレーン重量60.7t+荷30t 車輪あたりの荷重(33.2t/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137Cs, 90Sr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。

6. 大型廃棄物保管庫の遮へい設計について

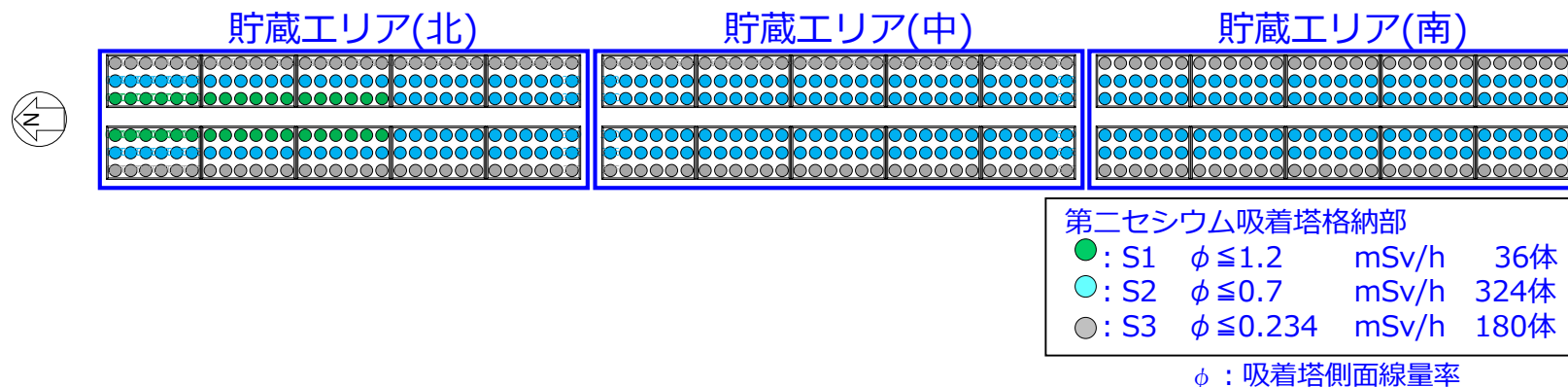
<8. 放射性廃棄物の処理・保管・管理>

<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。

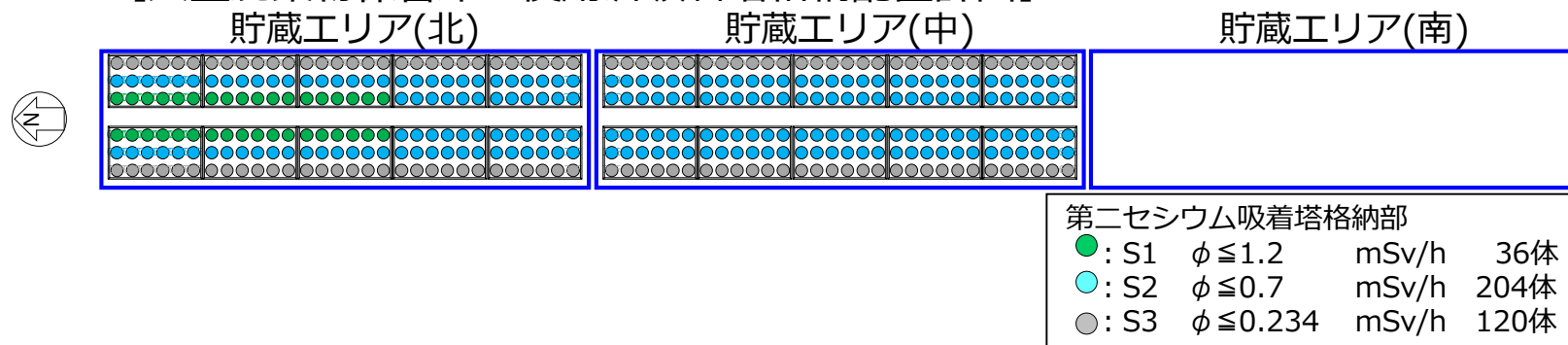
【大型廃棄物保管庫の吸着塔格納配置モデル】

※青字は第1回申請時の説明資料より



- 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】



7. 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。

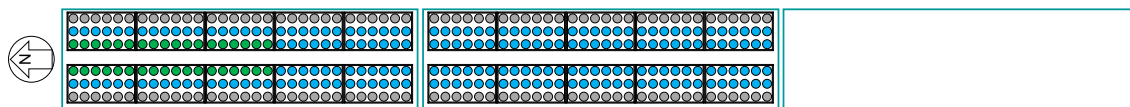
8-1. 架台内の吸着塔配置計画及び保管容量について（1）

<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>

<修正>

- 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。

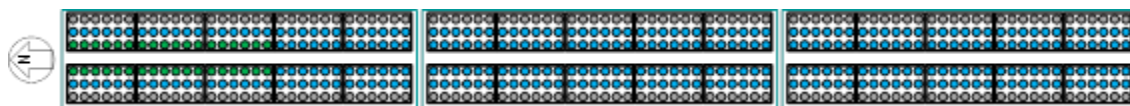
【吸着塔格納配置計画】



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

8-2. 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。

9 - 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>

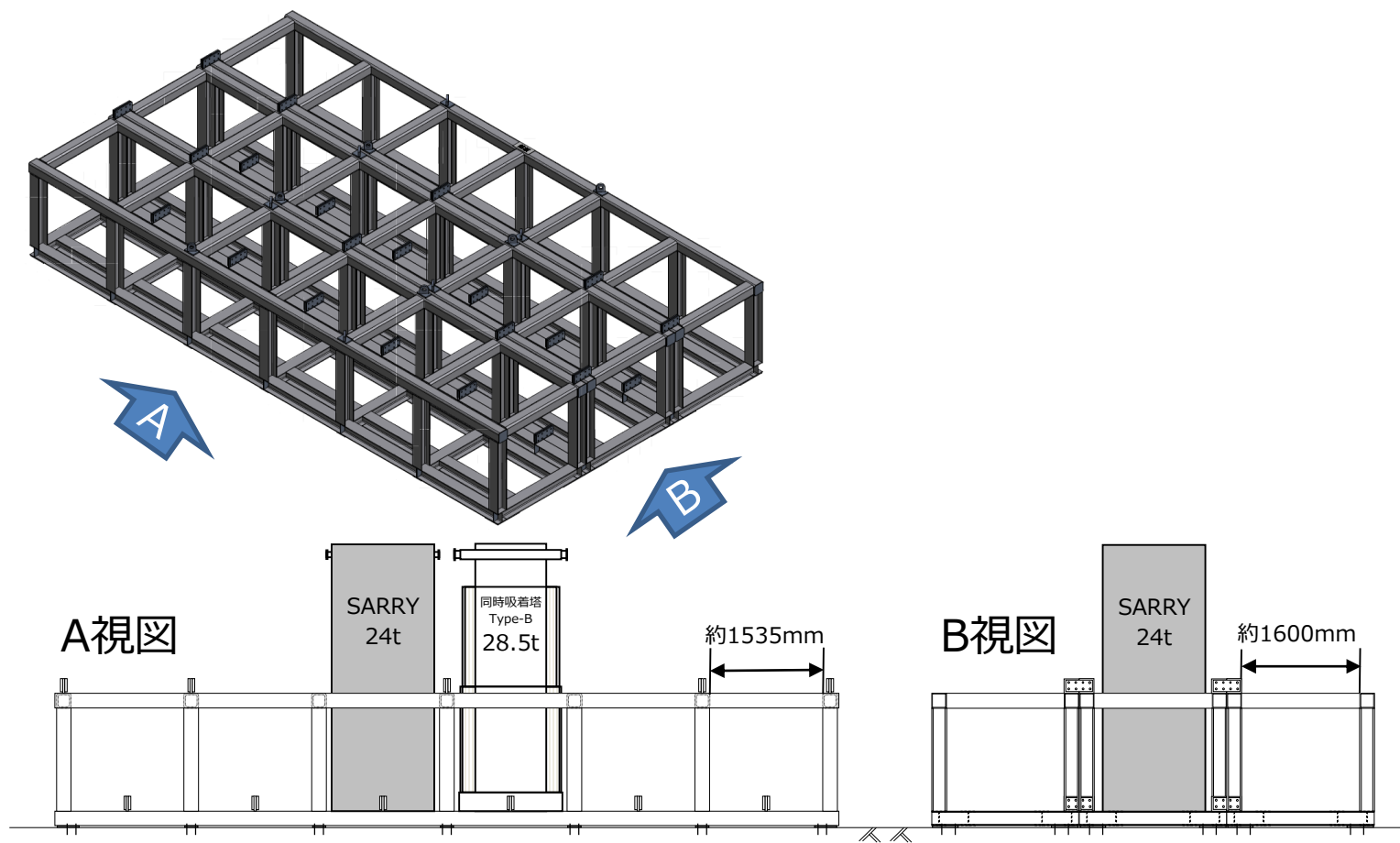
13

- 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。

9 - 2. 使用済吸着塔保管架台の構造強度

<14. 設計上の考慮 ②自然現象、環境条件に対する設計上の考慮>

- 使用済吸着塔架台の強度評価は、吸着塔受けはりに、吸着塔質量の等分布荷重が加わるものとして評価。



9 - 3. 使用済吸着塔保管架台の構造強度

<14. 設計上の考慮 ②自然現象、環境条件に対する設計上の考慮>

【自重に対する強度評価】

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

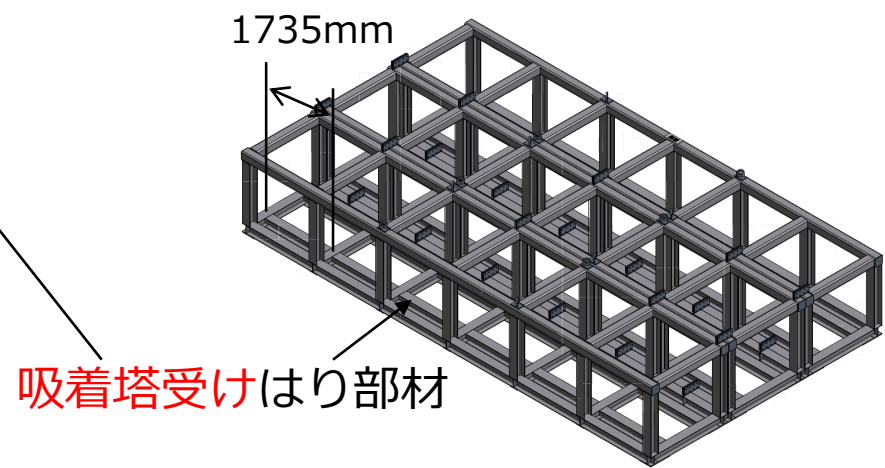
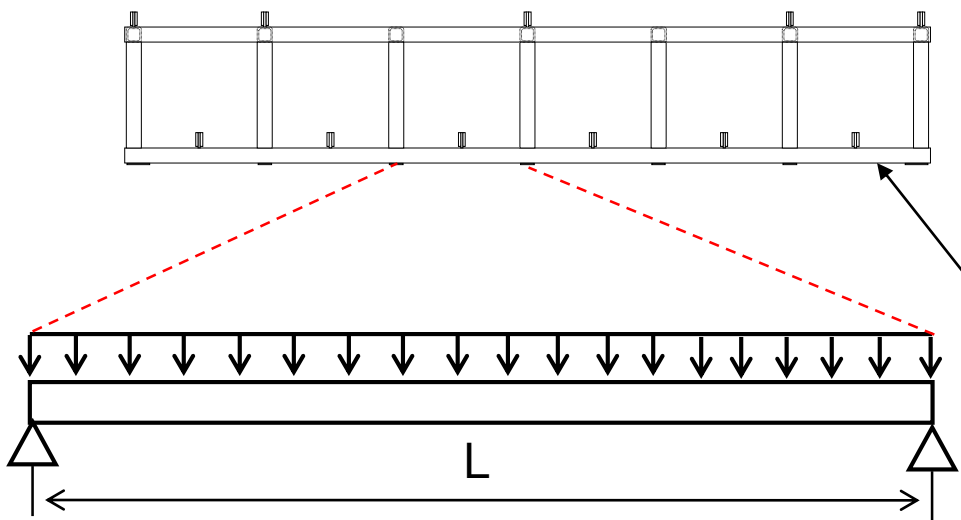
架台スパンL : 1735mm

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。



9 - 4 . 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、環境条件に対する設計上の考慮>

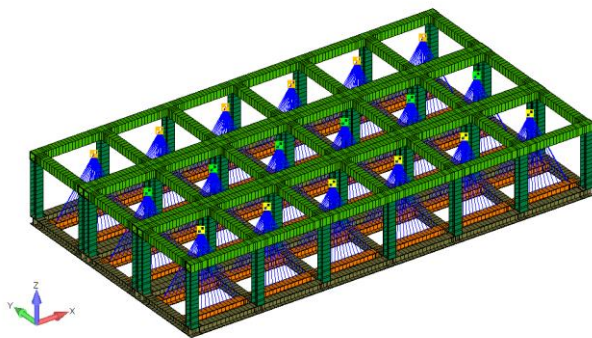
地震応答解析の結果、使用済吸着塔保管架台の部材応力及び接続ボルト応力とも、許容応力以下であり、使用済吸着塔保管架台の損傷により使用済吸着塔に波及的影響を及ぼさないことを確認する。

■ 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)の格納を想定し、構造強度及び耐震評価を実施

■ 地震応答解析モデル

- 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



吸着塔保管を模擬した
地震応答解析モデル

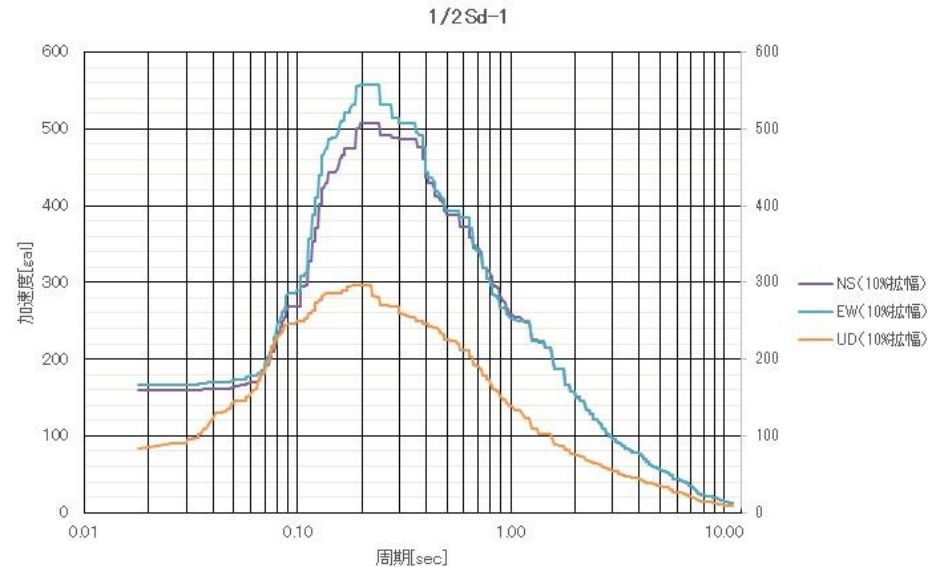
■ 設計用地震力

- 使用済吸着塔保管架台の評価震度は、「原子力発電所耐震設計技術規程 (JEAC4601-2015)」に基づき、一次固有振動数が20Hz以上なら静的震度、20Hz未満なら動的震度を使用。
なお、動的震度では加速度応答スペクトルを使用。
- 加速度応答スペクトルは、基準地震動Ssに対する弾性設計用地震動Sdに1/2を乗じたものに基づく水平地震力を、耐震設計技術規程記載の床応答スペクトルに従い、周期軸方向に±10%拡幅。

加速度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。



周期軸方向に±10%拡幅した 1/2Sdの
加速度応答スペクトル

9 - 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、環境条件に対する設計上の考慮>

■ 許容応力

➤ 部材の許容応力

- 部材の応力評価は、「原子力発電所耐震設計技術指針 (JEAG4601-1987)」に基づき評価。

➤ 部材の組合せ応力

- 各応力が同時に生ずる部材については、設計・建設規格に定める許容応力の1.5倍の値を用いるものとし、組合せ応力で評価。

➤ 接続ボルトの許容応力

- 接続ボルト材の許容応力は、設計・建設規格に従い評価。

■ 応力計算方法 (1 / 2)

➤ 応力計算式

①引張, 圧縮応力

$$\sigma_c \text{ または } \sigma_t = N/A \quad N: \text{軸力}, A: \text{断面積}$$

②曲げ応力

$$\sigma_b = M/Z \quad M: \text{曲げモーメント}, Z: \text{断面係数}$$

③せん断応力

$$\tau = Q/A_s \quad Q: \text{せん断力}, A_s: \text{せん断断面積}$$

➤ 部材

部材の応力評価として、次式に示すように、水平方向及び上下方向の地震荷重による応力の二乗和平方根 (SRSS) 法と自重による応力の絶対値との代数和法により応力値を計算。

$$\sigma = |\text{自重による応力}| + \sqrt{(\text{水平方向地震荷重の応力})^2 + (\text{上下方向地震荷重の応力})^2}$$

■ 応力計算方法 (2 / 2)

➤ 接続ボルト

①せん断応力

接続ボルトのせん断応力値は、次式により計算。

$$\tau = |\text{自重によるせん断応力}| + \sqrt{(\text{水平方向地震荷重のせん断応力})^2 + (\text{上下方向地震荷重のせん断応力})^2}$$

(注) ただし、各種せん断力は、接続ボルト結合部における2方向のせん断力を二乗和平方根(SRSS)法により組み合わせて計算。

$$Q = \sqrt{(Q_x)^2 + (Q_y)^2}$$

②ボルトの引張応力

接続ボルトの引張応力は、ボルトの引き抜きの起こる方向を正とし、水平方向、鉛直方向の荷重及び自重による引張軸力を代数和法にて求めて引張応力値を計算。

$$\sigma_t = |\text{自重による応力}| + \sqrt{(\text{水平方向地震荷重の応力})^2 + (\text{上下方向地震荷重の応力})^2}$$

9 - 8 . 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、環境条件に対する設計上の考慮>

■ 固有値解析

➤ 使用済吸着塔保管状態での固有値解析結果

- 吸着塔保管状態での固有値解析の結果，1次固有振動数は7.7[Hz]となり，剛構造ではないことを確認。

吸着塔保管状態固有値解析結果

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	
11	9.0982	0.1099	
12	9.0983	0.1099	
13	9.6812	0.1033	
14	9.6821	0.1033	
15	9.6822	0.1033	
16	10.0854	0.0992	
17	10.0855	0.0992	
18	10.0856	0.0992	
19	10.7597	0.0929	
20	7.6533	0.1307	

9 - 9 . 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、環境条件に対する設計上の考慮>

■ 耐震解析

地震応答解析モデルを用い、以下条件により部材応力及び接続ボルト応力評価を実施。

(1) 材料物性と断面特性

- 使用済吸着塔保管架台に使用するSS400の材料物性
- 鋼材の断面特性

SS400の材料特性

鋼材の断面特性

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	

	断面形状	断面積	断面 2 次モーメント		断面係数	
		Ax [mm ²]	I _y [mm ⁴]	I _z [mm ⁴]	Z _y [mm ³]	Z _z [mm ³]
1	□200×200×12	8530	4.860×10 ⁷	4.860×10 ⁷	4.860×10 ⁵	4.860×10 ⁵
2	H200×200×8×12	6353	4.720×10 ⁷	1.600×10 ⁷	4.720×10 ⁵	1.600×10 ⁵

(備考)
 ・ □200×200×12 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
 ・ H200×200×8×12 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

架台の主要材料

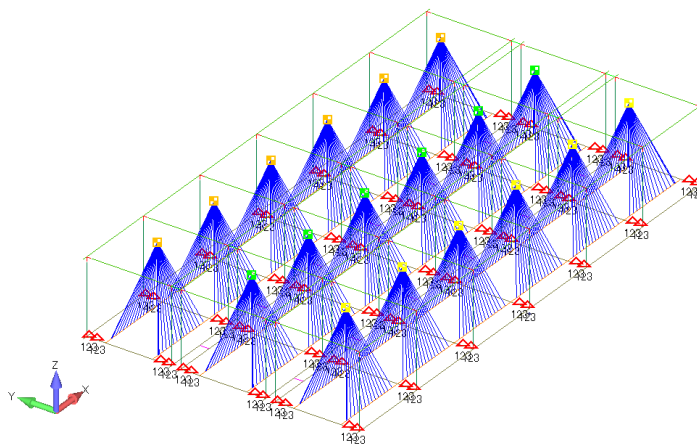
部位	材質	断面形状
上部はり (角形鋼管)	BCR295	□200×200×12
下部はり (H形鋼)	SS400	H200×200×8×12
吸着塔受けはり (H形鋼)	SS400	H200×200×8×12
柱 (H形鋼)	SS400	H200×200×8×12

(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

(2) 使用済吸着塔保管架台拘束条件

- 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。



拘束位置
(吸着塔保管を模擬したモデル)

荷重の種類, 方向, 大きさ

荷重	加速度方向	周期[sec]	振動数[Hz]	最大震度 [gal]	最大震度 [mm/sec ²]
自重	鉛直-Z	—	—	980.665	9806.65
地震波 1/2Sd	水平 X	0.220	4.5455	507	5070
	水平 Y	0.220	4.5455	557	5570
	鉛直 Z	0.200	5.0000	297	2970

- ✓ 解析手法は、自重解析を静的線形解析、動的解析はスペクトル応答解析では大質量法（ラージマス法）を使用。

9-11. 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、環境条件に対する設計上の考慮>

<修正>

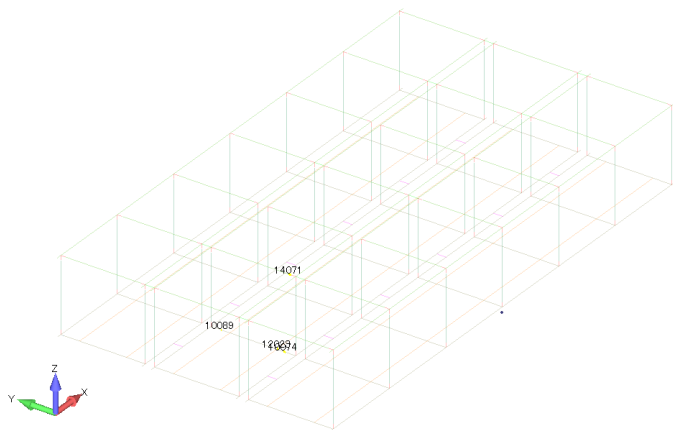
➤ 解析結果 (部材応力評価)

- 部材応力評価の結果、許容応力以下であることを確認。

(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	H200×200×8×12	4.98	243	OK
せん断	10074	吸着塔受けはり	H200×200×8×12	44.34	140	OK
圧縮	14071	上部はり	□200×200×12	0.62	237	OK
曲げ	10074	吸着塔受けはり	H200×200×8×12	40.34	243	OK
				計算値	許容値	
組合せ (引張と曲げ)	10089	吸着塔受けはり	H200×200×8×12	0.17	1.0	OK
	10074	吸着塔受けはり	H200×200×8×12	0.17	1.0	OK
組合せ (圧縮と曲げ)	10074	吸着塔受けはり	H200×200×8×12	0.17	1.0	OK
	10074	吸着塔受けはり	H200×200×8×12	0.17	1.0	OK

(注) 許容応力は、小数点以下を切り捨てとする。



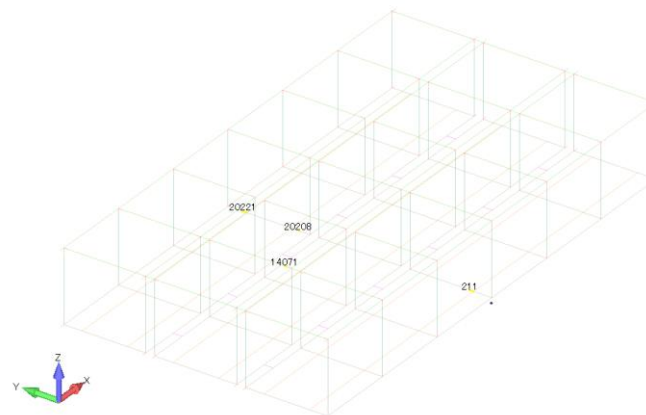
部材応力最大位置

(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)

(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	H200×200×8×12	10.82	243	OK
せん断	20208	吸着塔受けはり	H200×200×8×12	79.05	140	OK
圧縮	14071	上部はり	□200×200×12	0.62	237	OK
曲げ	20221	吸着塔受けはり	H200×200×8×12	78.88	243	OK
				計算値	許容値	
組合せ (引張と曲げ)	20221	吸着塔受けはり	H200×200×8×12	0.37	1.0	OK
	211	吸着塔受けはり	H200×200×8×12	0.32	1.0	OK
組合せ (圧縮と曲げ)	20221	吸着塔受けはり	H200×200×8×12	0.33	1.0	OK
	211	吸着塔受けはり	H200×200×8×12	0.32	1.0	OK

(注) 許容応力は、小数点以下を切り捨てとする。



部材応力最大位置

(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)

9 - 1 2 . 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、環境条件に対する設計上の考慮>

<修正>

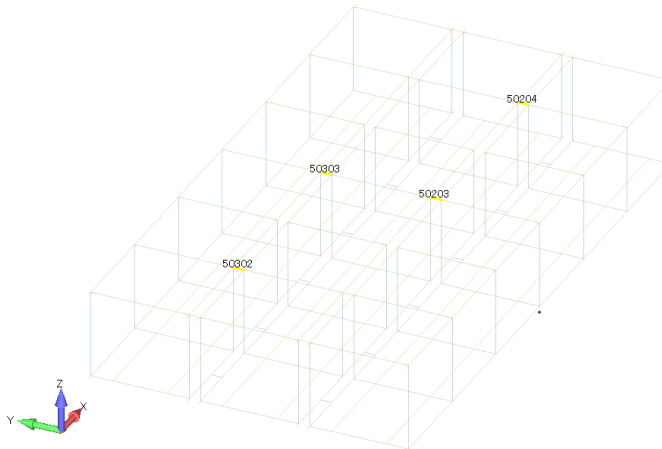
➤ 解析結果（接続ボルト応力評価）

- 接続ボルト応力評価の結果，吸着塔保管を模擬した状態でのモデルにおいて，許容応力以下であることを確認。

接続ボルト応力評価（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	せん断	50204	0.28	140	OK
	EW(X)+鉛直Z	引張	50302	0.46	243	OK
	自重+水平	せん断	50203	5.11	140	OK
	NS(Y)+鉛直Z	引張	50303	0.57	243	OK

(注) 許容応力は，小数点以下を切り捨てとする。



接続ボルト応力最大位置
(解析モデル(吸着塔保管状態))

9-13. クレーンの耐震性評価

<14. 設計上の考慮 ②自然現象、環境条件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 S_d に対する地震応答解析を実施し、クレーンが転倒しないこと並びに、トロリが落下しないことを確認し、クレーンが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 S_d は、基準地震動 S_s の1/2とする。
- 動的解析・評価手法は、日本クレーン協会「クレーン耐震設計指針」(JCAS 1101-2018)に従うこととし、地震力は、大型廃棄物保管庫の弾性設計用地震動 $S_d \times 1/2$ による床応答スペクトルを適用する。

9-14. クレーンの耐震性評価

<14. 設計上の考慮 ②自然現象、環境条件に対する設計上の考慮>

クレーン耐震評価条件（1 / 2）

■ 前提条件

➤ クレーン本体車輪の滑り

- ・ 走行レール上のクレーン本体は、走行方向（大型廃棄物保管庫では南北方向）に対して最大静止摩擦係数以上の水平力が加わった場合、滑りを生じる

➤ トロリ車輪の滑り

- ・ 横行レール上に乗っているトロリは、横行方向（大型廃棄物保管庫では東西方向）に対して最大静止摩擦係数以上の水平力が加わった場合、滑りを生じる

➤ 車輪／駆動輪の数

- ・ クレーン本体及びトロリの車輪のうち摩擦を受ける駆動輪のみとする

➤ 走行方向の滑りを考慮した水平力

水平力 = 鉛直方向荷重 $\times \mu \times$ (制動車輪数 / 総車輪数)

最大静止摩擦係数 $\mu = 0.3$ ※

制動車輪数 / 総車輪数 = 0.5

※日本クレーン協会規格「クレーン耐震設計指針」（JCAS 1101-2018）5.2.1項

➤ 転倒／脱線 防止機構

鉛直上向き方向の力に対しクレーン本体及びトロリは、浮き上がり防止爪によって支持する

■ 固有周期の計算方法

➤ 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) を含む

9-15. クレーンの耐震性評価

<14. 設計上の考慮 ②自然現象、環境条件に対する設計上の考慮>

クレーン耐震評価条件（2 / 2）

■ 計算モデル

- 3次元梁モデルを作成

※解析コード：MSC Nastran 2008 R1

■ クレーン可動部の位置

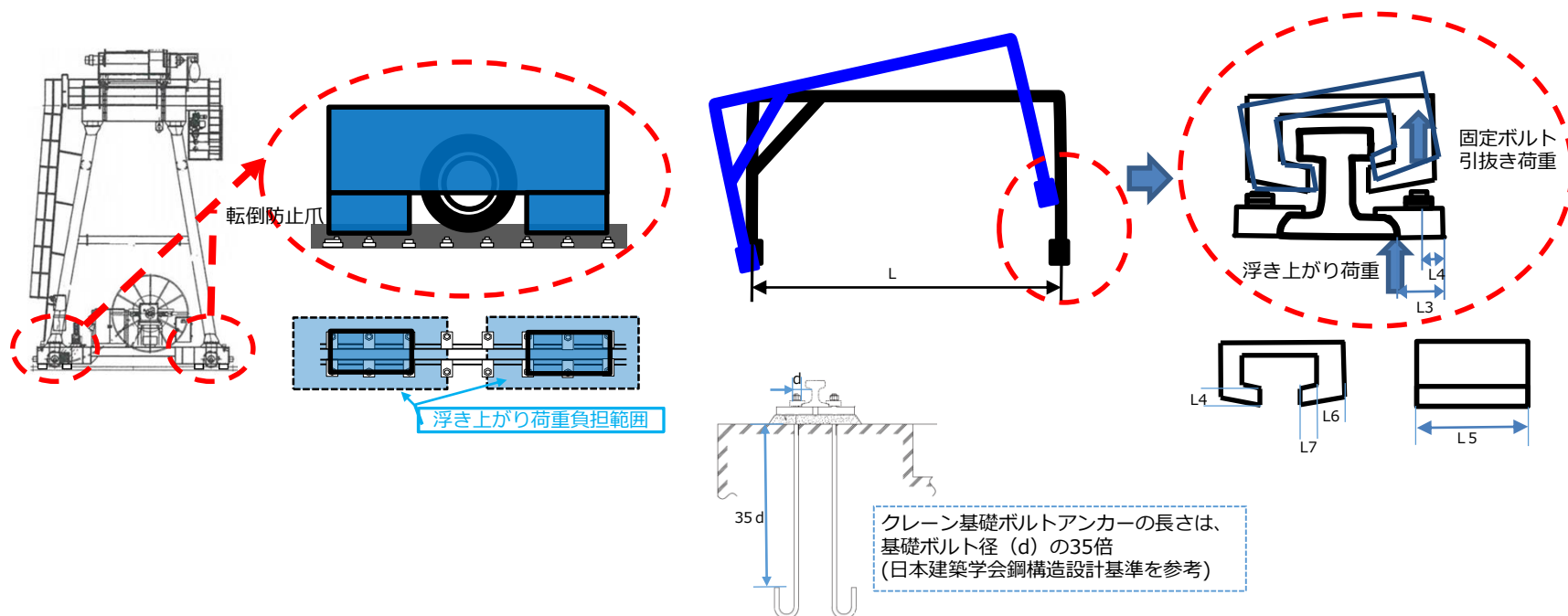
- クレーンガーダ上でのトロリはガーダ中央，最も剛脚寄り，最も揺脚寄りの位置のうち，最大の影響となるケースで応答スペクトル法による解析を行う。
- また，吊り荷の位置は保管庫ピット内のSARRY吸着塔上を余裕をもって通過可能な高さで評価する。なお，吊り荷の振れは考慮しない。

9-16. クレーンの耐震性評価

<14. 設計上の考慮 ②自然現象、環境条件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・脱線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。



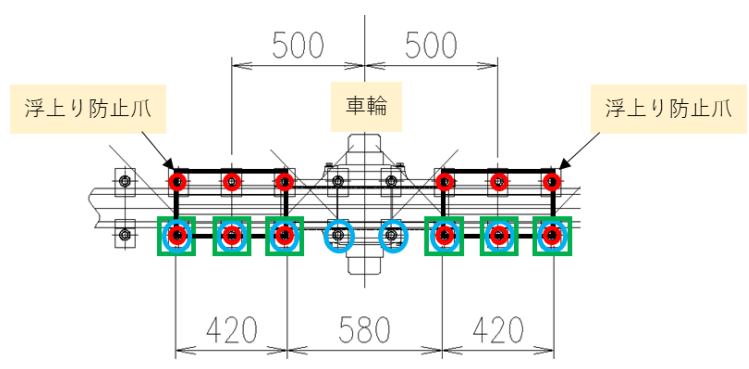
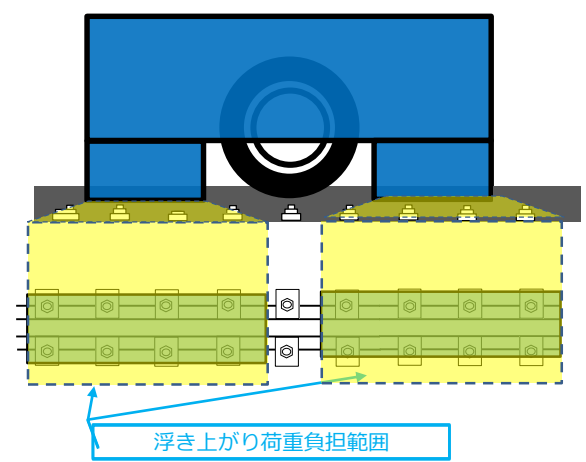
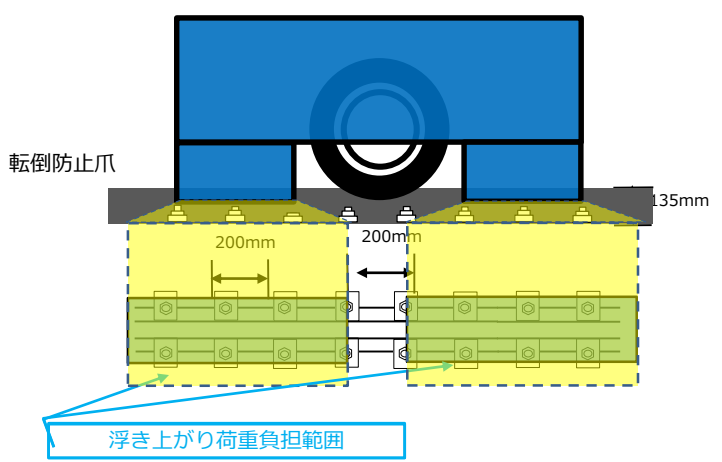
【参考】クレーンレール基礎ボルト浮上り荷重負担範囲

<追加>

- 浮上がり荷重は、転倒防止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固定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。

転倒防止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

転倒防止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



9-17. クレーンの耐震性評価

<14. 設計上の考慮 ②自然現象、環境条件に対する設計上の考慮>

許容応力

■許容応力は、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」に基づき評価

長期						
部材				すみ肉溶接	ボルト/高力ボルト	
引張 f_t	圧縮 f_c	曲げ f_b	せん断 f_s	せん断 f_s	引張 f_{to}	せん断 f_{so}
F/1.5	(a)	(b)	F/1.5 $\sqrt{3}$	F/1.5 $\sqrt{3}$	F/2	F/1.5 $\sqrt{3}$

※短期の場合は1.5倍とする。

(a) 許容圧縮応力(f_c)

a. 圧縮材の有効細長比が限界細長比以下の場合

$$f_c = \left\{ 1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \frac{F}{v}$$

b. 圧縮材の有効細長比が限界細長比を超える場合

$$f_c = 0.277F \left(\frac{\Lambda}{\lambda} \right)^2$$

λ : 圧縮材の有効細長比 $\lambda = l_k / i$

l_k : 座屈長さ(mm)

i : 座屈軸についての断面二次半径(mm)

Λ : 限界細長比

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6F}}$$

E : 縦弾性係数

F : 許容応力算定用基準値

v : 次の計算式より計算した値

$$v = 1.5 + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2$$

(b) 許容曲げ応力(f_b)

$$f_b = \text{Min} \left(\frac{0.433 \cdot E \cdot A_f}{l_b \cdot h}, \frac{F}{1.5} \right)$$

l_b : 圧縮フランジの支点間距離(mm)

h : はりのせい(mm)

A_f : 圧縮フランジの断面積(mm²)

E : 縦弾性係数

9-18. クレーンの耐震性評価

<14. 設計上の考慮 ②自然現象、環境条件に対する設計上の考慮>

弾性設計用地震動 $S_d \times 1/2$ の地震力に対して転倒評価をおこない、地震によるクレーン本体の浮き上がり荷重に対し、転倒防止機構によりレールからの浮き上がり、脱線しないことを確認する。

■ 爪部強度

➤ 浮上り荷重による評価

- 爪部曲げ応力

$$\text{爪部先端部曲げ応力} = \frac{\text{浮上り荷重} \times \text{爪部突起長さ} L7}{\text{爪部断面係数} \times \text{爪個数}}$$

$$\text{爪部断面係数} = \frac{\text{爪部とレールの接触面幅} L5 \times \text{爪部とレールの接触面高さ} L4^2}{6}$$

- 相当曲げ応力

$$\text{相当曲げ応力} = \sqrt{\text{爪部曲げ応力}^2 + 3 \times \text{爪部のせん断応力}^2}$$

➤ 水平荷重による評価

- 爪部せん断応力

$$\text{爪部せん断応力} = \frac{\text{水平荷重}}{\text{爪先端せん断断面積} \times \text{爪個数}}$$

9-19. クレーンの耐震性評価

<14. 設計上の考慮 ②自然現象、環境条件に対する設計上の考慮>

応力計算方法

■ 走行レール固定ボルト強度

➤ 浮上り荷重による評価

$$\text{固定ボルト 1 本あたりの引抜き荷重} = \frac{\text{爪 1 個あたりの浮上り荷重}}{\text{荷重を受けるボルト本数}}$$

$$\text{固定ボルト 1 本あたりの引抜き応力} = \frac{\text{固定ボルト 1 本あたりの引抜き荷重}}{\text{固定ボルト有効断面積}}$$

➤ 水平荷重による評価

$$\text{水平荷重による固定ボルトへの応力} = \frac{\text{水平荷重}}{\text{固定ボルト有効断面積} \times \text{荷重を受ける固定ボルト本数}}$$

9-20. クレーンの耐震性評価

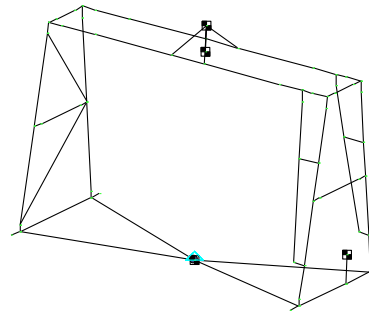
<14. 設計上の考慮 ②自然現象、環境条件に対する設計上の考慮>

<追加>

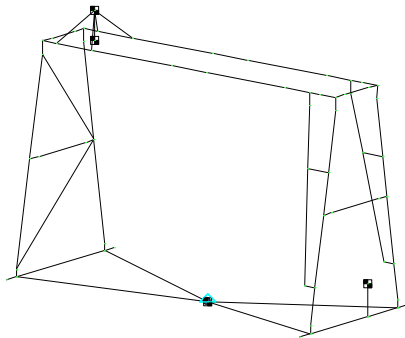
33

■ 計算モデル

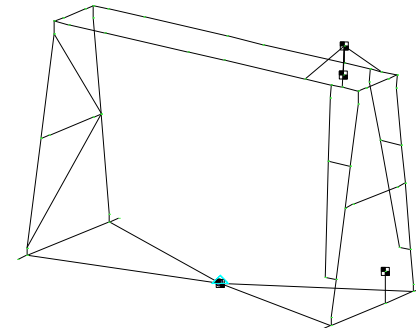
大型廃棄物保管庫クレーンをトロリ位置よりモデル化



トロリ中央



トロリ揺脚側



トロリ剛脚側



9-21. クレーンの耐震性評価

<14. 設計上の考慮 ②自然現象、環境条件に対する設計上の考慮>

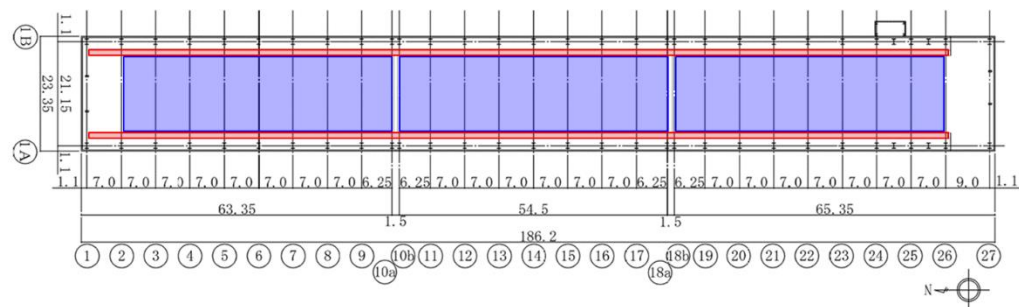
■ 応力評価結果

トロリ位置	固有振動数			部材裕度				
	X [Hz]	Y [Hz]	Z [Hz]	引張	せん断	圧縮	曲げ	組合せ
中央	3.03	5.46	1.36	3.69	3.47	3.61	1.30	1.25
揺脚側	4.81	8.61	1.38	3.94	3.77	3.86	1.62	1.42
剛脚側	3.03	10.36	1.36	3.94	2.86	3.86	1.51	1.37
トロリ位置	連結 ボルト 裕度	トロリ浮上り防止爪 裕度		クレーン浮上り防止爪裕度		走行レール固定部裕度		判定
		浮上り 防止爪	取付 ボルト	浮上り 防止爪	取付 ボルト	レール クリップ	クリップ 取付ボルト	
中央	1.49	2.91	4.01	3.68	1.37	2.69	2.11	OK
揺脚側	1.81	浮上り なし	浮上り なし	5.02	1.68	3.23	2.88	OK
剛脚側	1.70	浮上り なし	浮上り なし	2.48	1.09	2.21	1.42	OK

10. 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、環境条件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（ 50t/輪 ）として、基礎スラブを設計している。

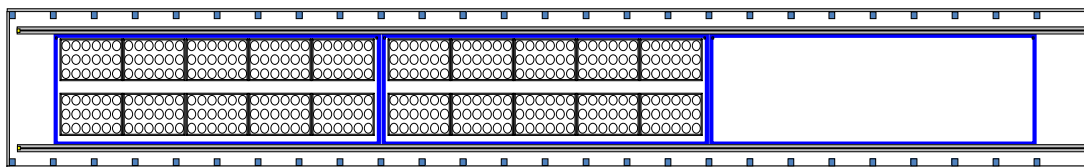


■ : 貯蔵エリアに作用する範囲
貯蔵エリア全体に廃棄体が設置されることを想定し、 21.07t/m^2 の荷重を考慮し構造設計を実施。

■ : 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 50t/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（ 33.2t/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 ($21.0\text{t/基} \times 10\text{基}$)	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 ($28.5\text{t/体} \times 18\text{体/基} \times 10\text{基}$)		



1 1. 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)

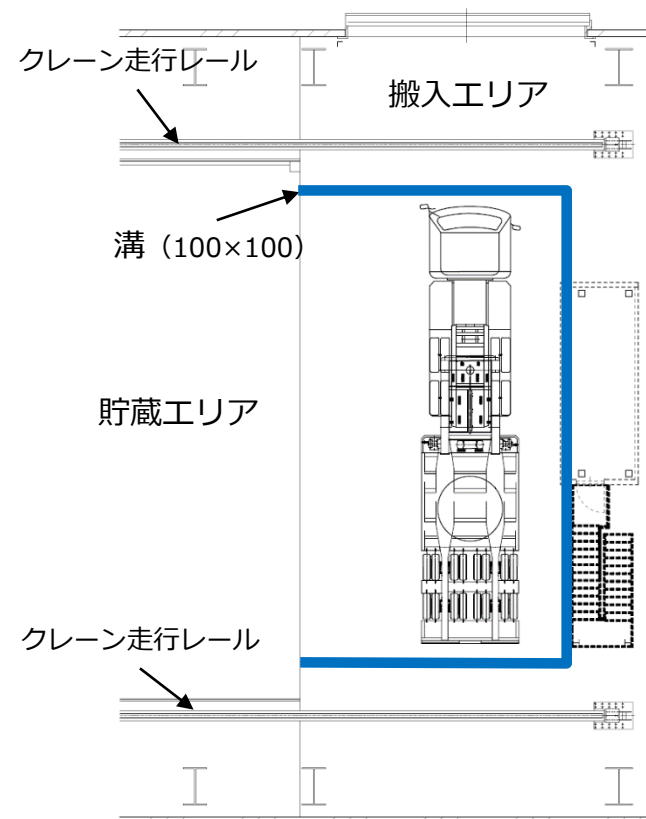
補巻：吸着塔以外の軽い物品の移動を想定

➤ 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)



12. 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

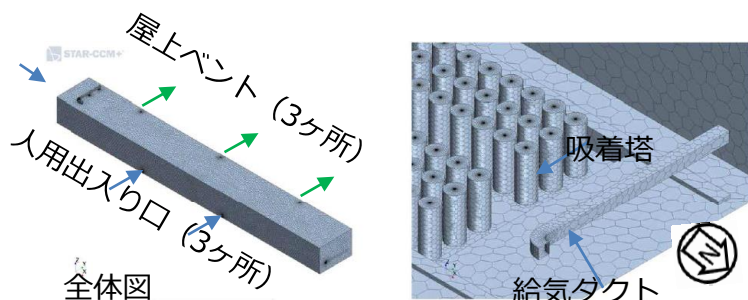
前提①水素発生量は約 $1.1\text{m}^3/\text{h}$ （約 2 l/h/基 at Cs137濃度 3.0×10^{15} ※1× 540基 = 1080 l/h ≒ 約 $1.1\text{m}^3/\text{h}$ ）に設定
※1 実施計画Ⅲ 2.2添付資料-1 表3内S2を引用

- 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

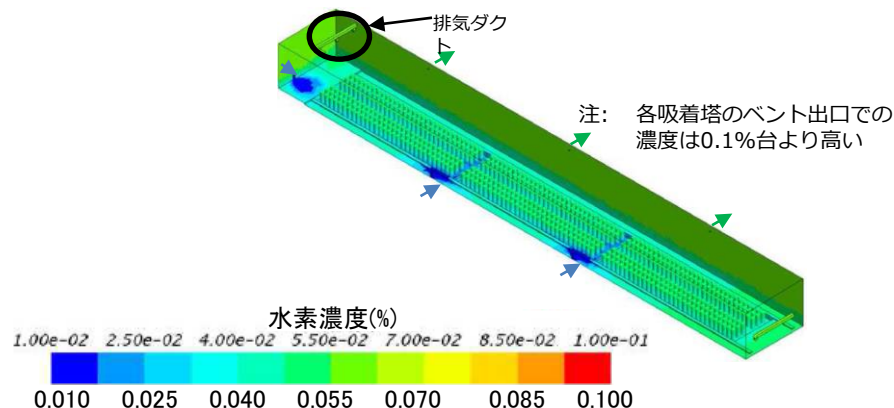
前提②屋上ベント及び人用出入り口(各3ヶ所、左下図)のみを開とする

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。

13. 崩壊熱による建屋内温度上昇率の評価

<15. その他措置を講ずべき事項>

- 既認可では、使用済吸着塔の崩壊熱による建屋内温度上昇が、使用済吸着塔内の吸着材に悪影響を与えないことを評価した。崩壊熱としては、1～3号機炉心の総崩壊熱量に含まれる ^{137}Cs 、 ^{90}Sr の寄与のうち処理（汚染水）に移行した分を想定しており、吸着塔の種類、体数に依存しない評価としている。
この為、大型廃棄物保管庫に保管する使用済吸着塔の種類、体数がどのようなケースであっても、崩壊熱は建屋内温度評価に用いた値の範囲内である。

【参考】大型廃棄物保管庫の動的解析について（1/5）

<追加>

■ 解析方法

- 動的解析に用いる建屋－地盤連成地震応答解析モデルは、水平動は建屋と地盤相互作用を評価したスウェイ・ロッキングモデルとし、鉛直動は上下バネマスモデルを使用。
- 建屋は、形状及び構造特性等を考慮し、水平モデルは質点とはりから要素からなる集中質点系に置換した解析モデルとし、鉛直モデルは質点とばね要素とした集中質点系解析モデルを設定。
- 地盤は、建屋の埋込み効果を無視し、建屋底面位置で地盤を剥ぎ取り底面ばねによってモデル化する。また、入力地震動は、自由地盤の次元波動論による解析より求められる建屋底面位置での応答波（2E波）とする。

■ 検討に用いる地震動

- 1 F 耐震安全性評価にて用いる基準地震動 S_s を影響する断層等を考慮し3波として算出し、基準地震動 S_s に対する弾性設計用地震動 $S_d \times 1/2$ を設定する。
- 解放基盤面をT.P.約-197mと定義する。

■ 地震応答解析を行うにあたり以下の条件を設定。

➤ 建屋の振動諸元

(1)水平動モデル

- a. 建屋は、曲げとせん断変形を考慮した集中質点系モデルとする。
- b. 重量は原則として各床上端の位置に集中させ、かつ回転慣性重量を考慮する。
- c. 剛性は、曲げ及びせん断剛性をもつ無質量のはり要素とする。なお、上屋（鉄骨部）は、フレーム解析によるQ- δ 曲線結果より求める等価せん断剛性とする。
- d. 建屋は、NS方向及びEW方向の2方向について各々モデル化する。

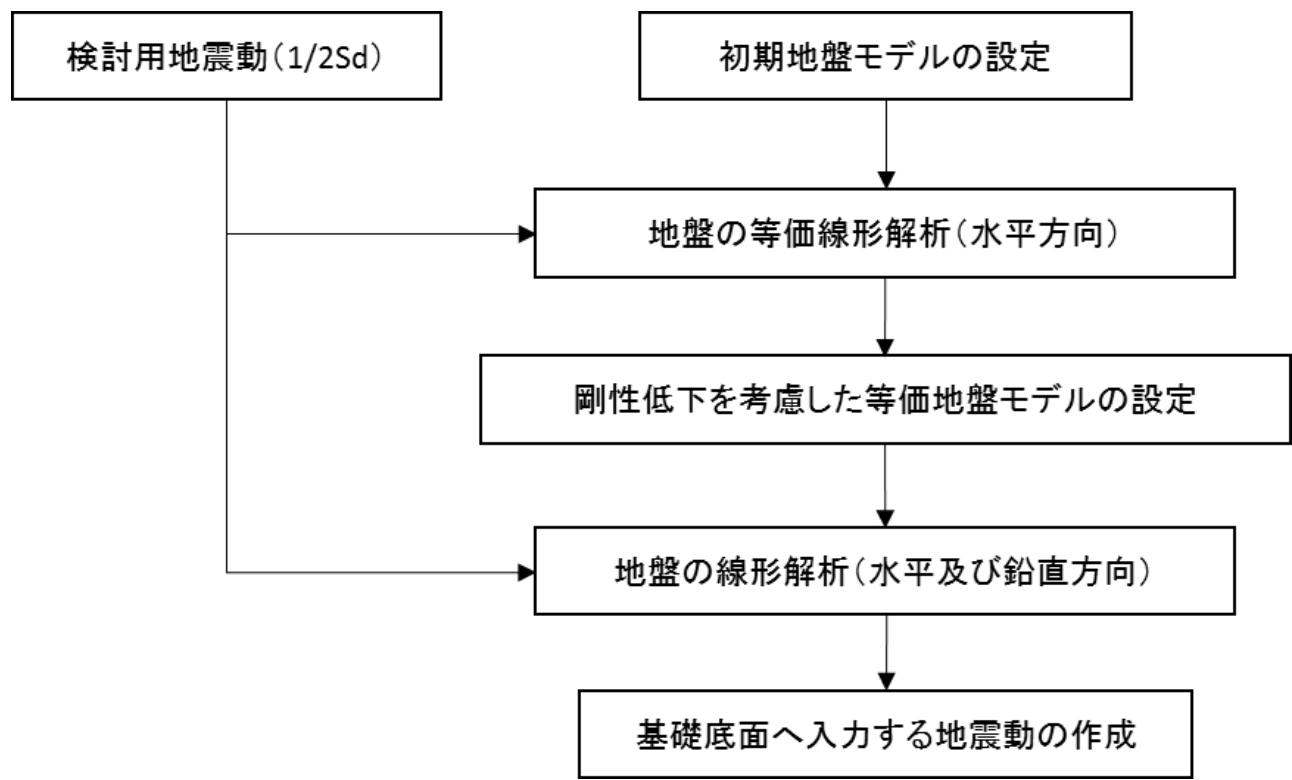
(2)鉛直動モデル

- a. 建屋は、鉛直方向軸変形を考慮した集中質点系モデルとする。
- b. 重量は、原則として各床上端の位置に集中させる。
- c. 剛性は、軸剛性をもつ無質量のばね要素とする。

【参考】大型廃棄物保管庫の動的解析について (2/5)

<追加>

- 基礎底面へ入力する地震動は、以下に示す算定フローに従い、一次元波動論により地盤の等価線形解析を行い、剛性低下を考慮した等価地盤モデルを設定。
- これらの等価地盤モデルを用いて、水平及び鉛直方向の地盤応答解析（線形解析）により建屋基礎底面における入力地震動を求める。



基礎底面へ入力する地震動の算定フロー

【参考】大型廃棄物保管庫の動的解析について（3/5）

<追加>

- 初期地盤モデルは、以下の条件により設定する。
 - 富岡層の地質区分及び地盤定数は、1F-5～6-R/B建屋の地盤モデルを用い、ひずみ依存特性は、富岡層砂岩及び泥岩を用いる。
 - 段丘堆積層と砂岩層のレベルは、段丘堆積層は基礎下端T.P.23.05m～T.P.22.55m、中砂砂岩はT.P.22.55m～T.P.16.40mとする。
 - 段丘堆積層の地盤物性は、土木側地盤安定解析で採用された値を用いる。

- 等価線形解析及び等価地盤モデルの設定は、以下の条件により設定
 - a. 等価線形解析
 - サブレイヤーの層割りは初期せん断波速度 V_s の1/100以下を目安とする。
 - もとになる地震波の周波数成分は50Hzまで考慮する。
 - 収束計算は各層のせん断弾性係数 G 及び減衰定数 h の相対誤差が5%以下とする。
 - 減衰定数 h は $1/2S_d$ では2%を下限値とする。
 - 解析プログラムは「SHAKE」を用いる。

 - b. 等価地盤モデルの設定
 - 地層毎の剛性低下率 G/G_0 および減衰定数 h は、層厚重み平均とする。
 - 剛性低下後のS波速度は、 $V_s = \sqrt{G/\rho}$ より算定する。 ρ は密度（ $=\gamma/9.80665$ ）
 - 剛性低下後のP波速度は、 $V_p = \sqrt{\frac{2(1-\nu)}{1-2\nu}} \cdot V_s$ より算定する。

- 線形解析による入力地震動は、以下の条件を基礎底面へ入力し算定する。
 - 等価線形解析で得られた等価地盤モデルを用いて線形解析により基礎底面の応答（2E）を求める。
 - 鉛直方向は、水平方向の等価線形解析で得られた等価地盤モデルを用い、P波の鉛直入射と仮定して、水平方向と同様に基礎底面の（2E）を求める。

【参考】大型廃棄物保管庫の動的解析について（4/5）

<追加>

- 地盤ばねの算定は、以下方針により行う。
 - 基礎スラブの形状により、矩形基礎の算定式にて底面ばねを設定する。
 - 地層は水平層状と仮定し、一次元波動論による解析を用いた地層構成と同一とし、多治見の方法による成層補正によって等価な半無限弾性地盤とする。

➤ 矩形基礎地盤ばねの算定式

- 地盤のばね剛性（地反力：三角形分布）

$$\text{水平：} K_{\chi} = \frac{2\pi b \rho V_s^2}{2-\nu} B_{\chi}, \quad \text{回転：} K_{\phi} = \frac{\pi b^3 \rho V_s^2}{2(1-\nu)} B_{\phi}, \quad \text{上下：} K_z = \frac{\pi b \rho V_s^2}{1-\nu} B_z$$

$$\text{形状係数} B_{\chi} = (2-\nu) \left[\frac{b}{c} (1-\nu) \log \tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{c}{b} \right) + \log \tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{b}{c} \right) \right]^{-1}$$

$$\text{形状係数} B_{\phi} = 4 \left[3 \log \tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{b}{c} \right) \right]^{-1}$$

$$\text{形状係数} B_z = 2 \left[\frac{b}{c} \log \tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{c}{b} \right) + \log \tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{b}{c} \right) \right]^{-1}$$

ここに、

b：X方向の基礎幅の1/2， c：Y方向の基礎幅の1/2

- 地盤の減衰係数（等価減衰係数）

$$\text{水平：} C_h = \rho \cdot V_s \cdot A, \quad \text{回転：} C_{\phi x} = \rho \cdot V_p \cdot I_y, C_{\phi y} = \rho \cdot V_p \cdot I_x, \quad \text{上下：} C_v = \rho \cdot V_p \cdot A$$

ここに、

A：基礎面積， I_x， I_y：基礎の断面2次モーメント

【参考】大型廃棄物保管庫の動的解析について（5/5）

<追加>

- 地震応答解析手法は以下に基づき行うこととする。
 - 固有値解析は減衰項を無視して行う。
 - 応答解析の条件は以下のとおりとする。
 - 時間刻み 0.01秒
 - 積分法 直接積分 Newmark β 法 ($\beta=1/4$)
 - 材料減衰 歪みエネルギー比例型減衰
 - 線形解析
 - 解析プログラムは「DYNA2E Ver.7.2.18」を用いる。

- 建屋動的解析結果より求めた各質点の加速度時刻歴を基に，設計用減衰定数を用いて床応答スペクトルを作成。