

大型廃棄物保管庫に係る実施計画の変更について (大型廃棄物保管庫の耐震評価)

2022年11月08日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

大型廃棄物保管庫の耐震評価の考え方は、「耐震クラス分類と施設等の特徴に応じた地震動の設定及び必要な対策を判断する流れ」※¹に従うと以下のとおりとなる。

※¹：令和3年度第30回原子力規制委員会（令和3年9月8日資料2）より

①. 地震により安全機能を失った際の公衆への被ばく影響によりS, B, Cを分類

○大型廃棄物保管庫が地震により全ての安全機能を失った際（使用済吸着塔の金属構造物、鉛遮蔽、建屋等が“消失”）の公衆への被ばく線量は、5mSvを超過※²する。

※²：（参考）保守的な試算として、使用済吸着塔1体の放射エネルギー 1.0×10^{15} Bq（実施計画に記載のCs-137のみのS3線源）、評価距離358m（最短のBP78評価点）、実効線量率定数 0.0779 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{MBq}/\text{h}$) で計算した場合 5.3×10^3 mSv/yとなる。



1 - 2. 大型廃棄物保管庫の耐震評価の考え方

変更なし

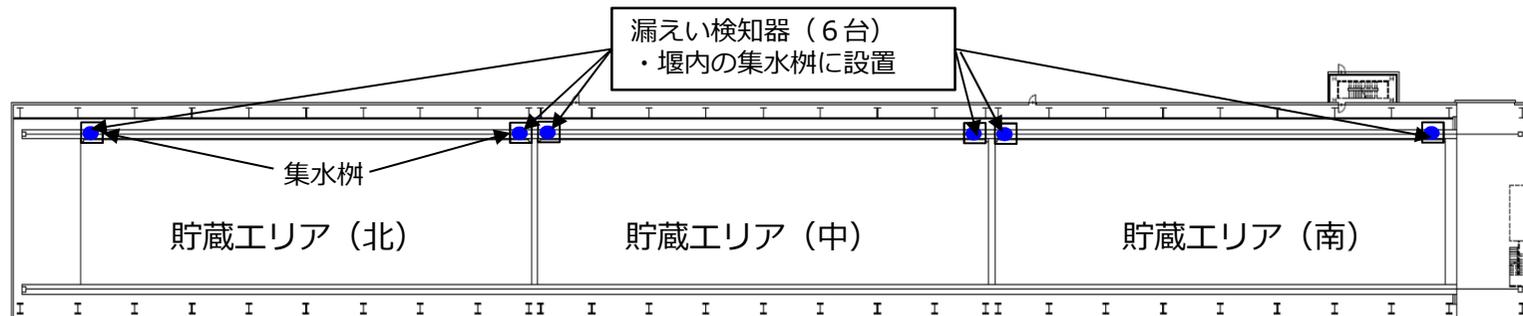
○大型廃棄物保管庫の各設備毎の安全機能、耐震クラス（S、B、C）は暫定的に以下のとおり。

機器区分	設備名称	耐震上の安全機能※1	耐震クラス	直接支持構造物	間接支持構造物	波及的影響を考慮すべき施設	説明
				() 内は耐震クラス、【 】内は確認用地震動※2を示す			
(使用済吸着塔)		・閉じ込め機能 (液体、固体) ・遮蔽機能	S ※1	-※2	建屋(基礎) 【Ss】 架台【Ss】	建屋(屋根)【Ss】 建屋(壁)【Ss】 建屋(柱、梁)【Ss】 クレーン【Ss】	・使用済吸着塔が安全機能を喪失した場合5mSvを超過するためSクラス ※1 既設の使用済吸着塔はBクラスで認可済 ※2 基礎及び架台に固定しないため直接支持はなしとした
大型廃棄物保管庫	建屋(屋根)	・遮蔽機能	B	機器の支持構造物(B)	建屋(柱、梁) 【S _B 】	-	・建屋(屋根、壁)が安全機能を喪失した場合50μSvから5mSv以内となるためBクラス
	建屋(壁)	・遮蔽機能	B		建屋(柱、梁) 【S _B 】	-	
	建屋(柱、梁)	-	B		建屋(基礎) 【S _B 】	-	
	クレーン	・(運搬機能)	B		建屋(基礎) 【S _B 】	-	
	架台	-	B	建屋(基礎) 【S _B 】	-	・耐震上の安全機能がないため、JEAC4601-2015の制御棒貯蔵ラックを参考に設定(使用済燃料貯蔵ラックはSだが吸着塔自体が相応の耐震性を確保しているため制御棒貯蔵ラックを参考とした)	
	建屋(基礎(堰))	・漏洩拡大防止機能	C	機器の支持構造物(C)	-	-	・堰の漏洩拡大防止機能については、漏洩が微量であること、週一回のパトロールで漏洩を検知できふき取り等の対応が可能であり線量影響は微小。(堰については補足説明資料1を参照)
	換気設備	・水素の排出機能	C		建屋【S _C 】	-	・使用済吸着塔のベント口からの水素の排出については換気停止時に建屋上部の非常用ベント口を時間的余裕をもって機動的対応を含め手動で解放し対応できることから、線量影響はない。(機動的対応、水素評価については補足説明資料2を参照)
	非常用ベント口	・水素の排出機能	C		建屋【S _C 】	-	
	電源・計装設備	・(電源供給機能、計測機能)	C		建屋【S _C 】	-	

※1 括弧内は設備の機能を示す

※2 確認用地震動について、Ssは基準地震動、S_BはBクラスの施設に適用される地震動、S_CはCクラスの施設に適用される静的震度を示す。

- ・ 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。
- ・ 貯蔵エリア3か所にそれぞれ集水柵に漏えい検知器を設け、常時監視する設計とする。
- ・ 1週間に1回、巡視を行い、貯蔵エリアに漏えい等の異常がないことを確認する。



※上記については2020年4月3日面談にてご説明済。

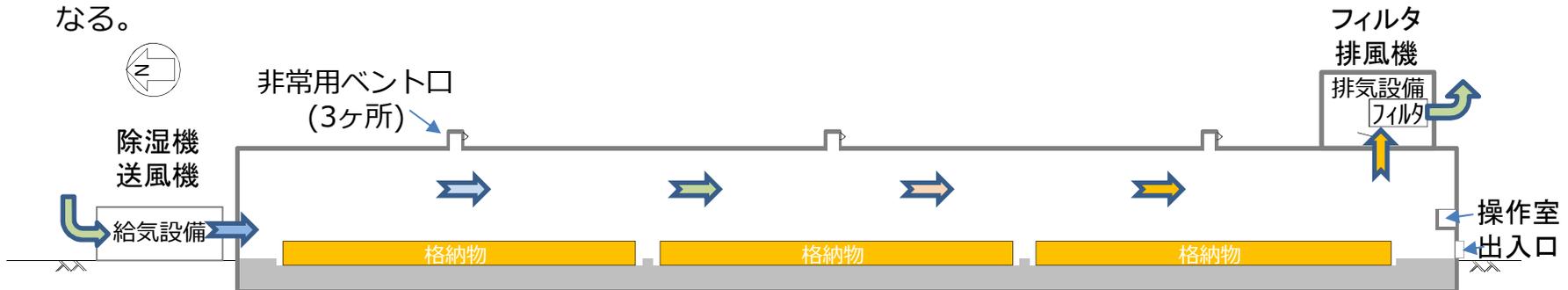
- ・ 腐食による漏えいについては微小欠陥部からのにじみ程度であり、漏えい発見までに吸着塔内の残水が大量に漏えいする可能性は低いと考えられるが、漏えい検知器や巡視により発見された場合は、その都度、ふき取り等で対応可能である。
- ・ 地震による漏えいについては、使用済吸着塔から漏えいが発生しないことを使用済吸着塔の耐震評価を実施し確認する。
- ・ 地震による堰への影響については、耐震評価を実施し、必要に応じて自主的に漏洩に対して信頼性を向上させる方法を検討する。

■機動的対応について

通常時、非常用ベント口は定期的に外観点検を実施する。地震により通常使用する階段がアクセスルートとして使用できない場合は、**屋上の状況を高所作業車等を用いて確認する。梯子車等にて屋上へアクセスする。状況確認の結果また、地震により**非常用ベント口が通常解放できない場合は、**屋上の損傷状況を確認し、**安全を確保しながら**非常用ベント口補修工事又は開口部設置工事の実施**の措置を実施する。**屋上確認作業や工事に必要となる資機材については水素濃度評価により98日間と余裕があることから所内で保有する資機材又は調達により確保する。**

■水素濃度評価について※2020年4月3日面談にてご説明済。

- ・大型廃棄物保管庫では貯蔵する吸着塔から発生する可燃性ガスの除去のため、換気設備を設ける。
- ・外気は給気フィルタを介して取入れ、建屋の端部から給気する。貯蔵物からの発生を想定する水素を取り込んだ空気は、給気側とは反対の貯蔵エリア天井部に設けた開口から2階に設ける排気フィルタへ導き、排出する。
- ・換気設備が停止した場合は、必要に応じて貯蔵エリア天井部の非常用ベント口及び人用の出入口を開放して、水素の滞留を防止する。
- ・排気は放出管理の対象とする。
- ・水素濃度の評価結果
 - ①通常換気時、保管庫内は給気～排気口に向けた気体の流れにより水素は拡散され、局所的な水素の滞留は生じない。保管庫内の平均水素濃度は約0.004%、天井付近の最大水素濃度は約0.006%となる。
 - ②換気系停止時に非常用ベント口及び人用出入口（各三か所）を解放して自然換気を行う場合では、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)。
 - ③建屋内を閉空間とした場合、水素濃度の時間推移から、建屋平均水素濃度が4%を超えるまでの時間は98日間となる。



1 - 3. 大型廃棄物保管庫の耐震評価の考え方

変更なし

6



○よって、大型廃棄物保管庫の全体としての耐震クラスについては以下のとおりとなる。

Sクラス

【動的地震力】 Ss900機能維持、Sd450弾性範囲

【静的地震力】 水平3.0Ci (0.6G)、鉛直1.0Cv (0.2G)



②. ①の耐震クラスを踏まえて、廃炉活動への影響、上位クラスへの波及的影響、供用期間、設計の進捗状況、内包する液体の放射エネルギー等を考慮した上で、施設等の特徴に応じた地震動の設定及び必要な対策（耐震性の確保の代替策等）を判断する。



1 - 4 . 大型廃棄物保管庫の耐震評価の考え方

変更なし

7



○大型廃棄物保管庫は建屋については既認可、建設中であり、状況をまとめると以下のとおり。

項目	大型廃棄物保管庫の状況	備考
廃炉活動への影響	<ul style="list-style-type: none"> ・屋外の一時保管施設で保管している使用済吸着塔を屋内保管することで、周辺環境への汚染拡大防止、放射線影響軽減を図り、長期間、安定に保管すること目的として設置する建屋。 ・現状、第二／第三セシウム吸着塔の保管用架台は、第一/第四施設に十分数が確保できているため、使用済吸着塔の保管容量の逼迫リスクは低い（最大の発生量を考慮しても4年程度は屋外保管可能）が、大型廃棄物保管庫の運用開始が大幅に遅延した場合は影響あり。 	<ul style="list-style-type: none"> ・大型廃棄物保管庫を新設する場合、5年程度の工期が想定され、屋外保管の逼迫リスクが高まる。一方、既設の補強（2年程度と想定）を行うことにより工程短縮が可能である。（メリットデメリット表参照）
上位クラスへの波及的影響	使用済吸着塔への波及的影響が考えられるため、建屋、クレーンについて波及的影響を与えない耐震設計を実施中。	
供用期間	長期間（使用済吸着塔の最終処分までの間）	
設計の進捗状況	<ul style="list-style-type: none"> ・建屋はBクラス建屋として認可済であり、Sクラスを想定した建屋として設計していない。 ・建屋については建設中であり、Ss900を考慮した耐震設計中。耐震設計の要求で耐震補強を検討中。 ・クレーン、使用済吸着塔架台についてはSs900を考慮した耐震設計中。 	
内包する液体の放射エネルギー	<ul style="list-style-type: none"> ・第二／第三セシウム吸着塔には1基あたり最大1.65m³の内包水があるものと仮定。放射能濃度は10⁷Bq/リットルオーダー。 ・堰はSs900でも施設外への漏洩を防止する設計とする。 ・週1回のパトロールで吸着塔からの漏洩がないことを確認し、漏洩が確認された場合はふき取り等の対応を速やかに実施する。 	Ss900で堰（建屋基礎）がNGの場合は、自主的に漏洩に対して信頼性を向上させる方法を検討する。

1 - 5. 大型廃棄物保管庫の耐震評価の考え方

変更なし

8

メリットデメリット表

	メリット	デメリット
建屋の耐震補強	<ul style="list-style-type: none">・吸着塔保管までの工程を短縮可能（耐震補強は設計含め2年程度と想定）・クレーン、架台の設置作業と並行実施可能	<ul style="list-style-type: none">・建屋外部に補強バットレス等のエリアが必要
建屋の新設	<ul style="list-style-type: none">・最新の耐震設計の考え方で設計が可能	<ul style="list-style-type: none">・吸着塔保管までの工程が遅延（建屋新設は設計含め5年程度と想定）・建設中の建屋の活用方法の検討が必要・クレーン、架台の設計・設置が中断



1 - 6. 大型廃棄物保管庫の耐震評価の考え方

変更なし

○大型廃棄物保管庫の状況を考慮した、設備毎の耐震クラス分類は最終的には次表のとおり。

機器区分	設備名称	耐震クラス ※ 1	耐震上の安全機能 ※ 2	耐震上の具体的な要求事項	備考
(使用済吸着塔)		S	<ul style="list-style-type: none"> 閉じ込め機能 遮蔽機能 	<ul style="list-style-type: none"> Ss900で吸着塔が損傷しない、遮蔽機能が失われないこと。 	<ul style="list-style-type: none"> 既設の使用済吸着塔はBクラスとして認可済 大型廃棄物保管庫に保管予定の使用済吸着塔の安全機能喪失時の公衆への被ばく線量が5mSvを超えるため耐震クラスはS
大型廃棄物保管庫	建屋（屋根）	B +（波及的影響）	<ul style="list-style-type: none"> 遮蔽機能 波及的影響防止 	<ul style="list-style-type: none"> B+クラスの地震力で遮蔽機能が失われないこと Ss900で倒壊等により、吸着塔を破損させないこと。 	<ul style="list-style-type: none"> 建屋はBクラスとして認可済 吸着塔が健全な状態で建屋遮蔽がないものとして線量評価を実施した結果、公衆被ばく線量は、50μSvから5mSvの範囲となるためB 長期的に使用するのでB+
	建屋（壁）	B +（波及的影響）	<ul style="list-style-type: none"> 遮蔽機能 波及的影響防止 	<ul style="list-style-type: none"> B+クラスの地震力で遮蔽機能が失われないこと Ss900で倒壊等により、吸着塔を破損させないこと 	
	建屋（柱、梁）	B +（波及的影響）	<ul style="list-style-type: none"> 波及的影響防止 	<ul style="list-style-type: none"> Ss900で倒壊等により、吸着塔を破損させないこと 	
	建屋（基礎（堰））	B +（間接支持）	<ul style="list-style-type: none"> 間接支持 	<ul style="list-style-type: none"> Ss900で使用済吸着塔の間接支持機能を失わないこと 	<ul style="list-style-type: none"> 建屋はBクラスとして認可済（Bに統一） 長期的に使用するのでB+ 堰による漏洩拡大防止については、吸着塔の内包水の漏洩量は微量であり週1回のパトロール等で対応可能である。Ss900での耐震性を確認し、NGの場合は、自主的に漏洩に対して信頼性を向上させる方法を検討する。
	クレーン	B +（波及的影響、共振）	<ul style="list-style-type: none"> （運搬機能） 波及的影響防止 	<ul style="list-style-type: none"> B + クラスの地震力で運搬機能が失われないこと Ss900で倒壊等により、吸着塔を破損させないこと 	
	架台	B +（間接支持）	<ul style="list-style-type: none"> 間接支持 	<ul style="list-style-type: none"> Ss900で使用済吸着塔の間接支持機能を失わないこと 	<ul style="list-style-type: none"> 長期的に使用するのでB+
	換気設備	C	<ul style="list-style-type: none"> （換気機能） 	<ul style="list-style-type: none"> Cクラスの地震力で換気機能が失われないこと 	<ul style="list-style-type: none"> 換気設備、非常用ベント口はCクラスとして認可済 非常時の水素の排出については時間的余裕をもって手動で対応可能。
	非常用ベント口	C	<ul style="list-style-type: none"> 水素の排出機能 	<ul style="list-style-type: none"> Cクラスの地震力で水素の排出機能が失われないこと 	
	電源・計装設備	C	<ul style="list-style-type: none"> （電源供給機能、計測機能） 	<ul style="list-style-type: none"> Cクラスの地震力で電源供給機能、計測機能が失われないこと 	<ul style="list-style-type: none"> 電源・計装設備はCクラスとして認可済

※ 1 括弧内は耐震クラスに加えて考慮すべき事項を示す

※ 2 括弧内は設備の機能を示す

1 - 7. 大型廃棄物保管庫の耐震評価の考え方

変更なし



○前表を踏まえ、大型廃棄物保管庫の施設の特徴に応じた地震動の設定は以下のとおりとする。

設備名称	動的地震力		静的地震力	確認用地震動（波及的影響、間接支持機能）	説明
	機能維持	弾性範囲（共振時のみ）			
（使用済吸着塔）	Ss900	—	—	—	・実力としてSs900地震動により吸着塔本体が破損し、内包水や吸着材が漏えいしないことを確認する。
建屋（屋根）	1/2Ss450	1/2Sd225	水平：1.5Ci (0.3G) 鉛直：—	Ss900	・Ss900で使用済吸着塔に波及的影響は与えないが、建屋の遮蔽機能は維持できない。 建屋遮蔽がないものとして線量評価を実施した結果、公衆被ばく線量は、50μSvから5mSvの範囲となるため、長期間使用する設備であることを考慮し、B+クラスの地震力を適用する。
建屋（壁）					
建屋（柱、梁）					
建屋（基礎（堰））					
クレーン					
使用済吸着塔架台	水平：1.8Ci (0.36G) 鉛直：—				
換気設備	—	—	水平：1.2Ci (0.24G) 鉛直：—	—	・認可済
非常用ベント口					
電源・計装設備					

（注）地震力の算定に際しては、水平2方向、鉛直1方向の適切な組合せを行う。

○必要な対策（耐震性の確保の代替案等）

Ss900に対して各設備が耐震性を確保することから、機動的対応などの運用上の対策は必要ない。

1. 大型廃棄物保管庫の耐震評価の考え方

変更なし

11

(参考) 令和3年度第30回原子力規制委員会（令和3年9月8日資料2）抜粋

別添

1Fの耐震設計における耐震クラス分類と地震動の適用の考え方

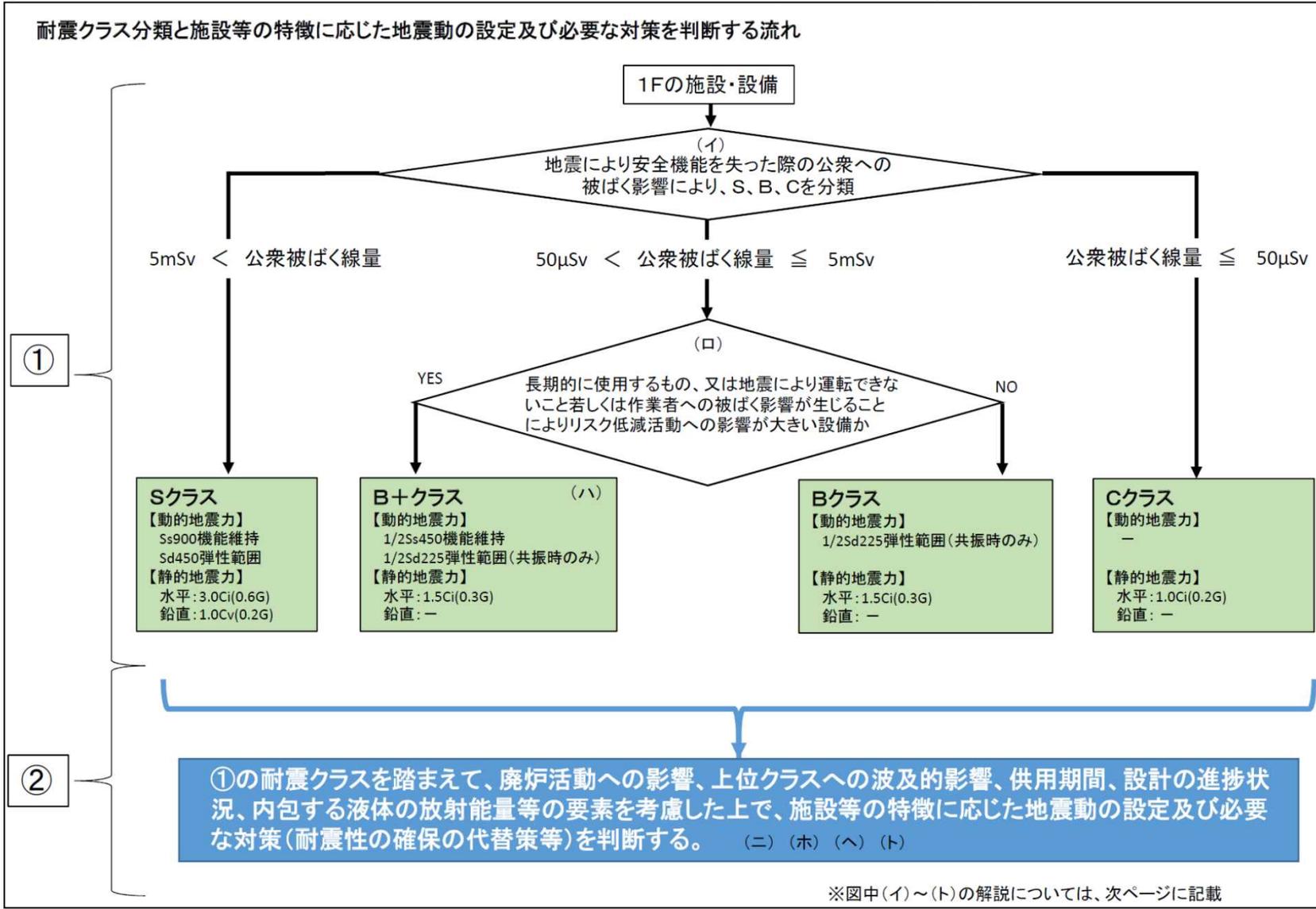
1Fの施設・設備の耐震評価においては、以下の2つを考慮して適用する地震動を設定するとともに、必要に応じて求める対策を判断する。

- ①耐震クラス分類(S、B+、B、C)
- ②廃炉活動への影響、上位クラスへの波及的影響、供用期間、設計の進捗状況、内包する液体の放射エネルギー等

1. 大型廃棄物保管庫の耐震評価の考え方

変更なし

(参考) 令和3年度第30回原子力規制委員会 (令和3年9月8日資料2) 抜粋



1. 大型廃棄物保管庫の耐震評価の考え方

変更なし

13

(参考) 令和3年度第30回原子力規制委員会（令和3年9月8日資料2）抜粋

【(イ)：地震により安全機能を失った際の公衆被ばく影響】

- 核燃料施設等の耐震クラス分類を参考にして、地震による安全機能喪失時の公衆被ばく線量により、S、B、Cを分類する。液体放射性物質を内包する施設・設備にあつては、液体の海洋への流出のおそれのない設計を前提とした線量評価によるものとする。

【(ロ)：通常のBクラスよりも高い耐震性が求められるB+クラスの対象設備の要件】

- 「運転できないこと若しくは作業員への被ばく影響が生じることによりリスク低減活動への影響が大きい設備」の具体例は以下のとおり。
 - ・ 建屋滞留水・多核種除去設備などの水処理設備、使用済燃料をプールからより安定性の高い乾式キャスクへ移動させるために必要な燃料取出設備等。
 - ・ 閉じ込め・遮へい機能喪失時の復旧作業における従事者被ばく線量が1日当たりの計画線量限度を超える設備等。

【(ハ)：B+クラスの1/2Ss450機能維持】

- Ss900の1/2の最大加速度450galの地震動に対して、運転の継続に必要な機能の維持や閉じ込め・遮へい機能の維持を求める。

【(ニ)：上位クラスへの波及的影響】

- 上位クラスへの波及的影響がある場合、原則上位クラスに応じた地震動を念頭に置くが、耐震クラス分類の考え方と同様に、下位クラスによる波及的影響を起因とする敷地周辺の公衆被ばく線量も勘案し、適切な地震動を設定する。

【(ホ)：地震力の組合せ】

- 地震力の算定に際しては、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせる。

【(ヘ)：液体放射性物質を内包する設備】

- 多核種除去設備等で処理する前の液体等、放出による外部への影響が大きい液体を内包する設備については、Ss900に対して、海洋に流出するおそれのない設計とすることを求める（滞留水が存在する建屋、ALPS処理前の水や濃縮廃液を貯留するタンクの堰等）。これ以外の液体を内包する設備については、上位クラスの地震動に対する閉じ込め機能の確保又は漏えい時の影響緩和対策を求める※。

※：設備自体を耐震CクラスからBクラスに格上げ、周囲の堰等に上位クラスの地震動に対して閉じ込め機能を維持する、漏えい時に仮設ホースによる排水等の機動的対応を講ずる等により、海洋への流出を緩和する措置を想定。

【(ト)：耐震性の確保に対する代替措置】

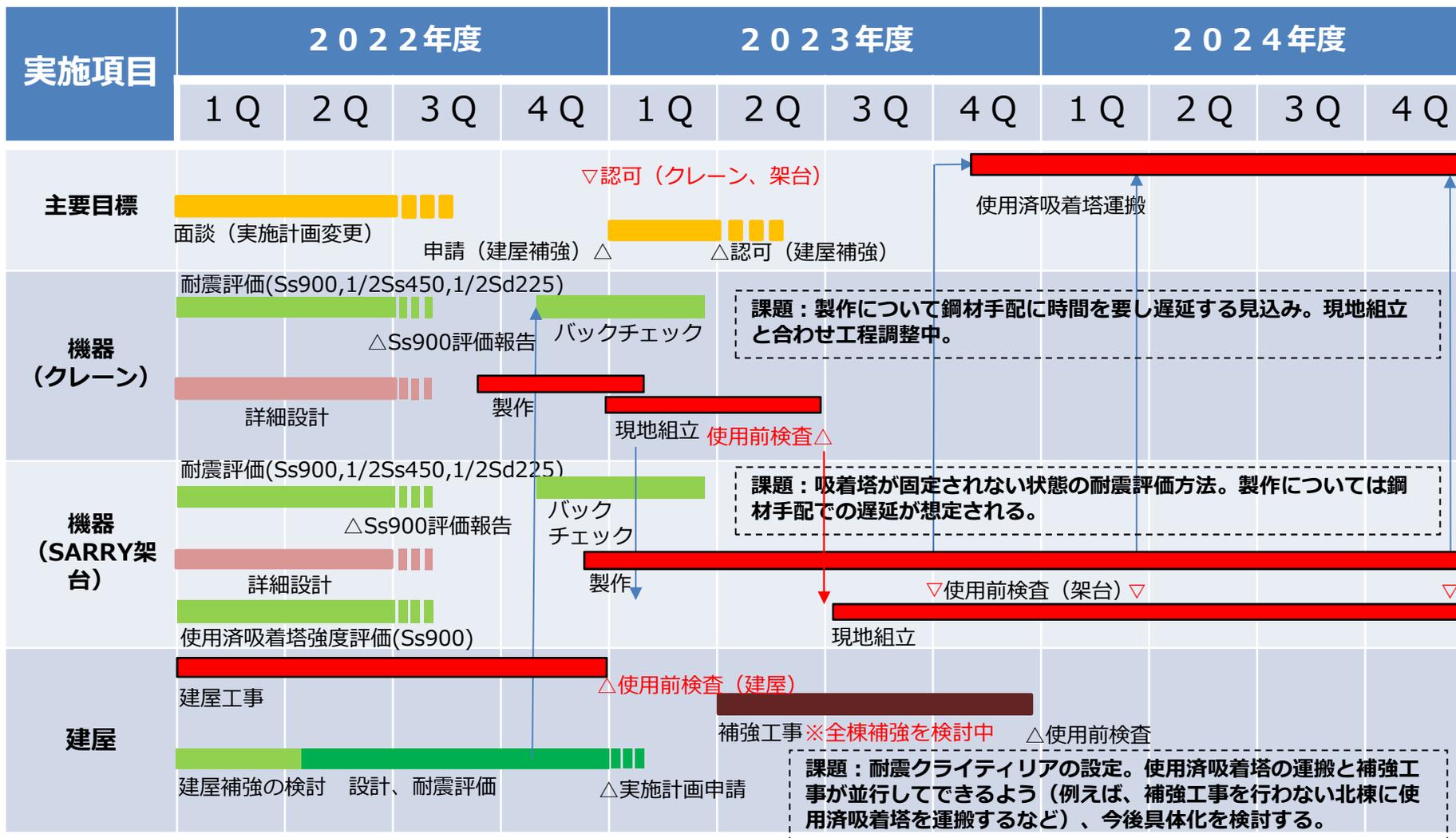
- 耐震性の確保の代替策として、機動的対応や耐震性の不足に起因するリスクを早期に低減させるための対策を講ずるとしてもよい。具体例は以下のとおり。
 - 例1：B+クラス設備の1/2Ss450機能維持の手段としては、耐震性の確保の他、機動的対応（予備品への交換、可搬型設備の運用等）による代替手段を想定。
 - 例2：中低濃度タンクや吸着塔一時保管施設等の耐震性の不足に起因するリスクを早期に低減させる対策として、耐震性の高い建屋やタンクへの移替え及び移管、スラリー安定化処理設備や海洋放出設備による処理等を早期に行うことを想定。

2. スケジュール

今回変更

14

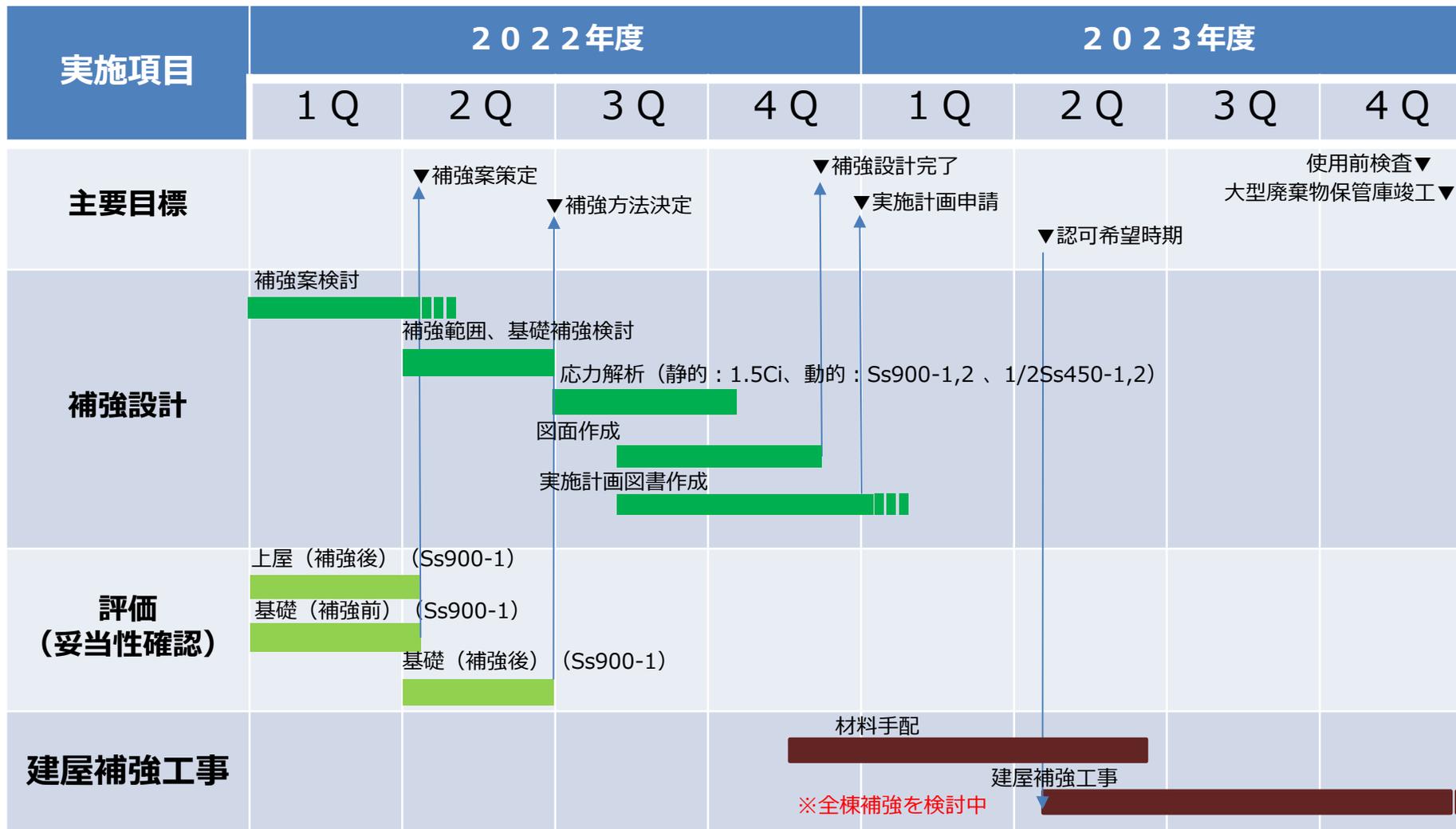
- 大型廃棄物保管庫の設置に係る概略スケジュールは、3月14日の特定原子力施設監視・評価検討会を踏まえ、以下のとおり。各評価結果がまとまり次第、随時ご提示する。
- 使用済吸着塔の保管を早期に実現するため、建屋補強工事や運用の具体的検討を行っていく予定。



スケジュール

今回変更

■ 大型廃棄物保管庫の建屋補強に係る概略スケジュール案は、以下のとおり。各評価結果がまとまり次第、随時ご提示する。



※設計の進捗及び評価結果によって、スケジュール案は変更になる場合がある。

3. 事故時線量評価

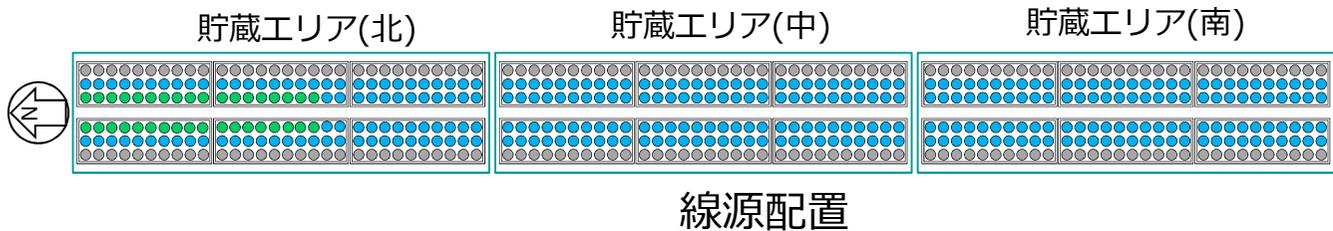
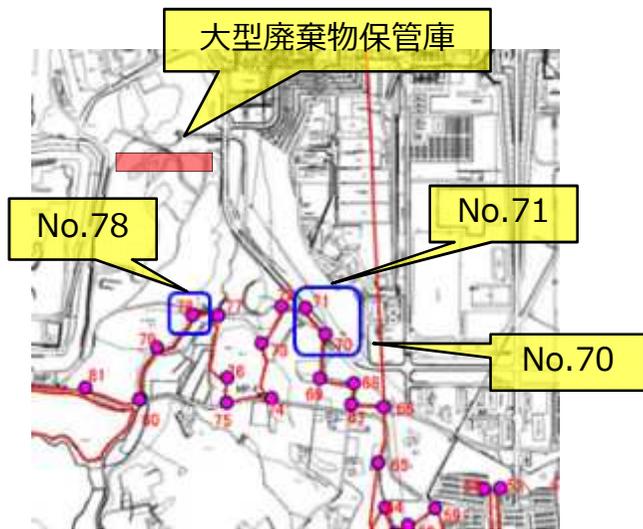
変更なし

- ① 建屋遮蔽を喪失した場合における、使用済吸着塔からの敷地境界での直接線・スカイシャイン線

評価条件※

※実施計画Ⅲ章 第3編 2.2.2.1 「線量の評価方法」の考え方にに基づき評価を実施

- 使用済吸着塔，床の掘り下げを考慮するものとし，外壁・屋根はモデル化しない。
- 評価地点は，大型廃棄物保管庫の最近接点であるNo.78と，敷地内各施設を含めた最大実効線量評価点であるNo.70,71とする。
- 線源
 - 保管する吸着塔540体を線源とする。
 - 実際は貯蔵エリア（南）にKURION吸着塔を保管するが，保守的な評価とするため線量評価モデルは全てSARRY吸着塔を採用する。（既認可）
- 線源強度
 - 保管する使用済吸着塔のインベントリ（線源強度）を考慮し，次の表面線量率を採用する。
 - SARRY1(S1)（表面線量率：1.2mSv/h）
 - SARRY2(S2)（表面線量率：0.7mSv/h）
 - SARRY3(S3)（表面線量率：0.234mSv/h）



第二セシウム吸着装置吸着塔格納部		
●	S1	$\phi \leq 1.2\text{mSv/h}$ 36体
●	S2	$\phi \leq 0.7\text{mSv/h}$ 324体
●	S3	$\phi \leq 0.234\text{mSv/h}$ 180体

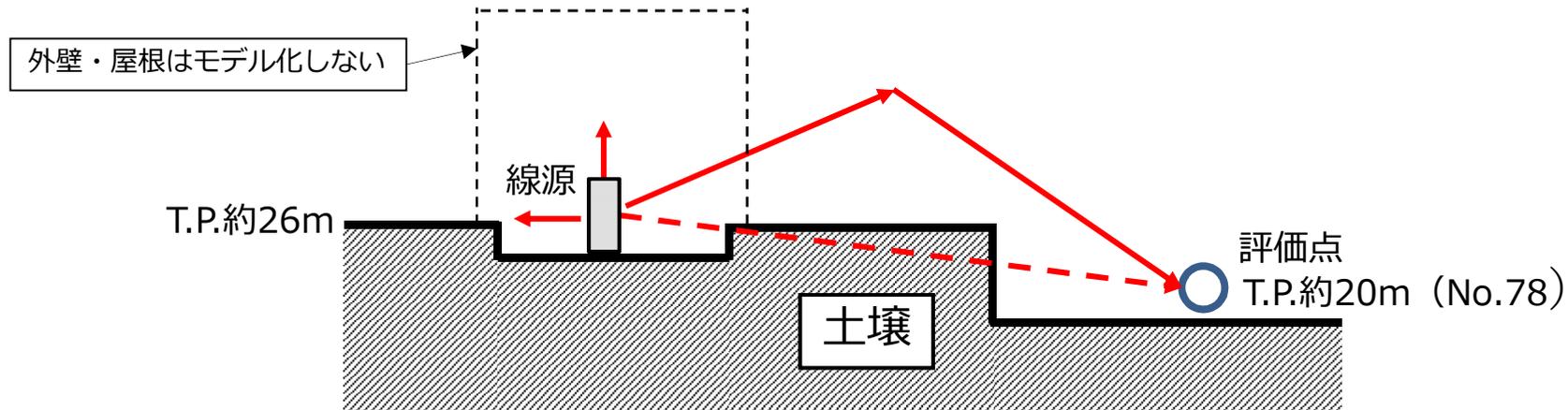
実施計画Ⅲ-3-2-2-2-添1-2 図4より抜粋

3. 事故時線量評価

- ① 建屋遮蔽を喪失した場合における、使用済吸着塔からの敷地境界での直接線・スカイシャイン線

評価条件

- 敷地境界への影響の考え方(イメージ)



評価結果

- No.78が最大の値となり $4.8 \times 10^{-1} \text{mSv/年}$ であった。
これは、耐震Sクラスと判断される 5mSv に比べ十分小さい。

評価地点	年間線量率 (mSv/年)	
	建屋遮へい考慮	建屋遮へい喪失
No.70	7.7×10^{-3}	9.4×10^{-2}
No.71	1.5×10^{-2}	1.8×10^{-1}
No.78	6.7×10^{-2}	4.8×10^{-1}

4. 建屋評価結果

- 北棟及び南棟については、層間変形角1/30以下に収まっていること及び崩壊機構が形成されていないことから建屋が倒壊しないことを確認した。
- 中央棟については、層間変形角1/30以下に収まっているものの、崩壊機構が形成されることから建屋の倒壊を否定できない結果となった。

	許容限界	評価結果	判定結果
北棟	層間変形角1/30※ ¹	NS方向：1/78 EW方向：1/57	OK
	崩壊機構が形成されないこと※ ²	形成しない	
中央棟	層間変形角1/30	NS方向：1/72 EW方向：1/57	NG
	崩壊機構が形成されないこと	形成する	
南棟	層間変形角1/30	NS方向：1/84 EW方向：1/65	OK
	崩壊機構が形成されないこと	形成しない	

注記※1：「震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針（（財）日本建築防災協会）」を参考に許容限界を設定している。なお、被災度区分判定基準においては、柱の残留傾斜角が1/30を超えた場合に大破としているが、保守的に最大層間変形角を用いて評価を行う。

※2：フレームの全ての部材に塑性ヒンジ（地震力により部材断面全てが降伏し曲げ剛性を失い、ヒンジ（蝶番）のように回転する部分）ができると、それ以上水平力が増えないまま、変形のみが増え続け崩壊へと至る状態（崩壊機構）が形成される。

4. 建屋補強方針

変更なし

19

- 補強後のSs900に対する建屋のクライテリアについても同様に設定する。
- 評価結果より、現状としては中央棟のみ補強を行う方針とする。

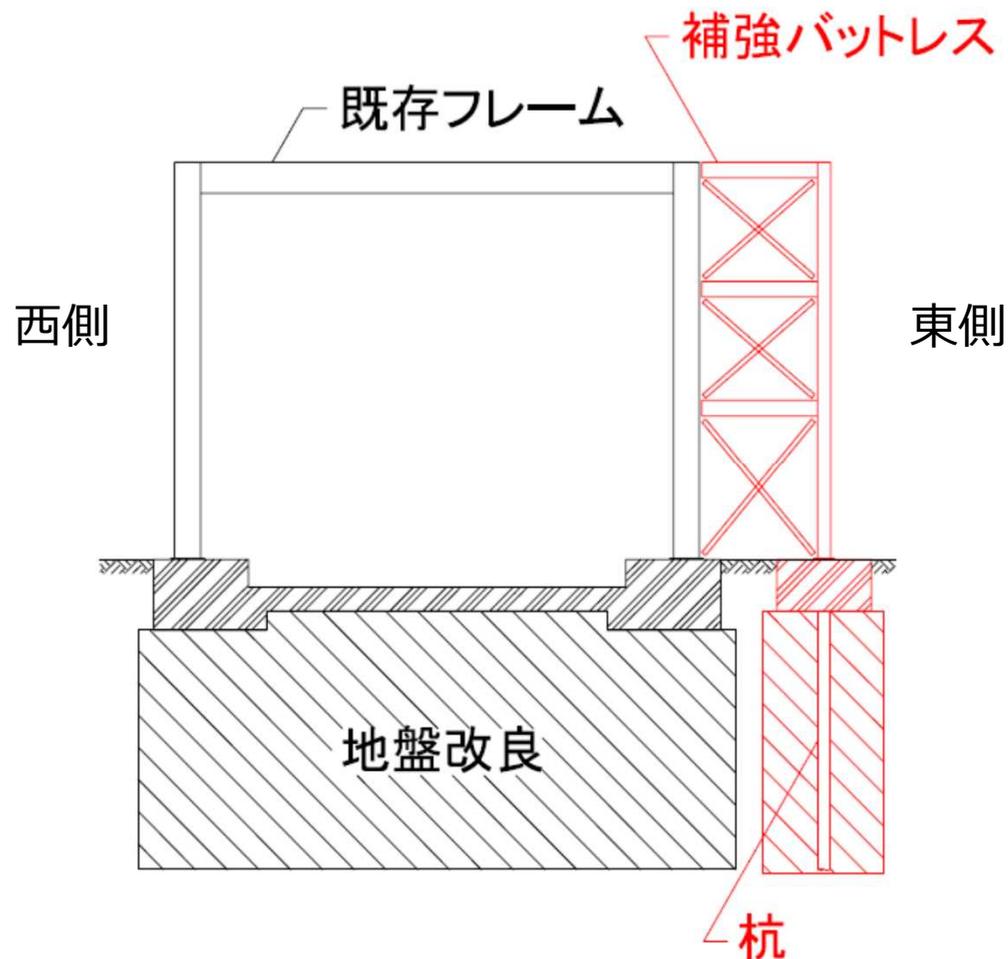
機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界
吸着塔に波及的影響を及ぼさない	基準地震動 Ss900-1	鉄骨フレーム	波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認	層間変形角1/30 崩壊機構が形成されないこと

4. 建屋補強イメージ

変更なし

20

- 建屋補強について，構造成立性や施工成立性を検討中。



建屋補強イメージ図

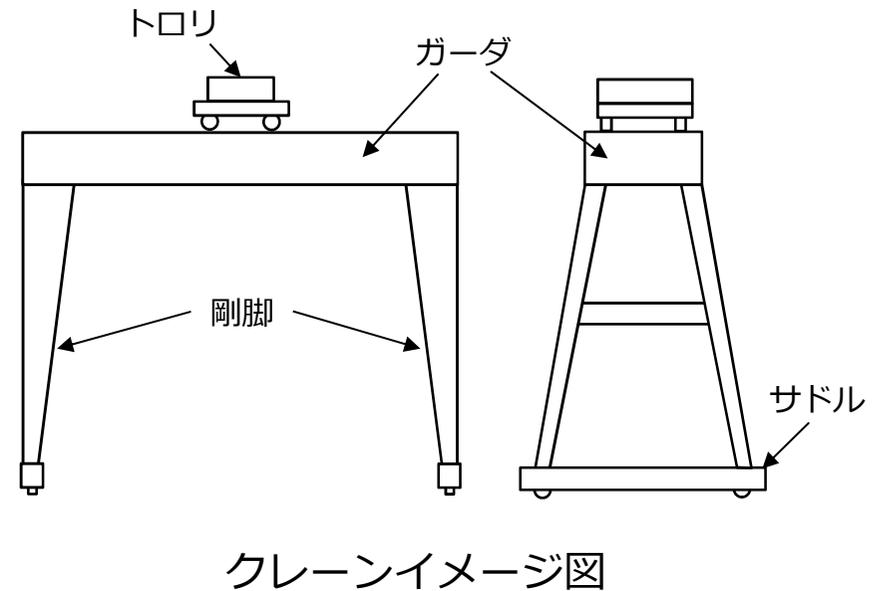
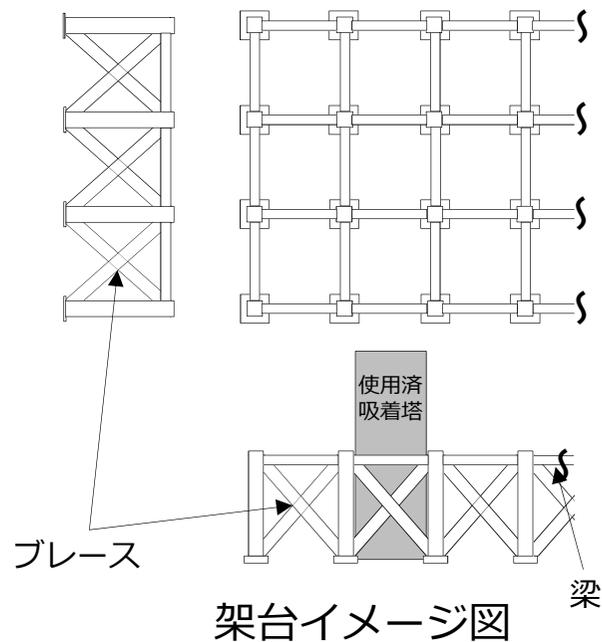
5. 機器の影響評価について

Ss900を用いた機器の影響評価を行うにあたっては、建屋側の耐震補強の検討結果を以て実施する必要があるが、検討に時間を要することが想定される。

⇒早期にSs900による影響評価結果を示すことを目的として、機器の影響評価については、以下の方針で進めていく。

- ① 現状の建屋影響評価結果から得られた機器設置床面でのスペクトルの代表ケースに裕度を持たせ影響評価を行うこと。
- ② 建屋側の耐震補強の検討結果を踏まえた影響評価については、スペクトルの比較により包絡していることの確認を行うこと。

機器イメージ図



6. 使用済吸着塔 強度評価 (概要)

変更なし

22

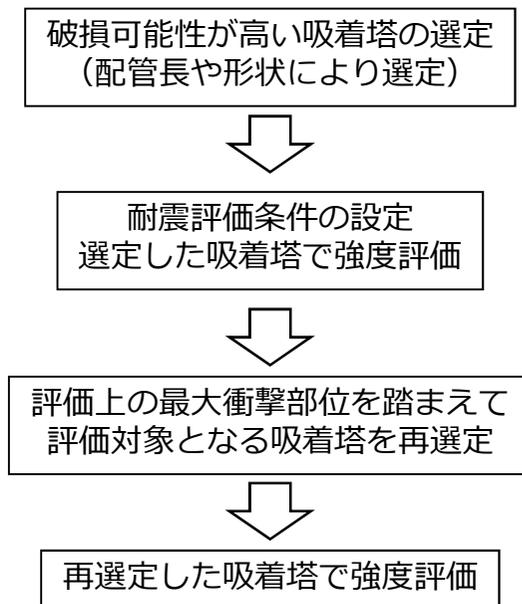
大型廃棄物保管庫に保管する使用済吸着塔には、インベントリが高いものがあり、「地震により安全機能を失った際の公衆への被ばく影響」を考慮すると、大型廃棄物保管庫全体としての耐震クラスはSとなる。



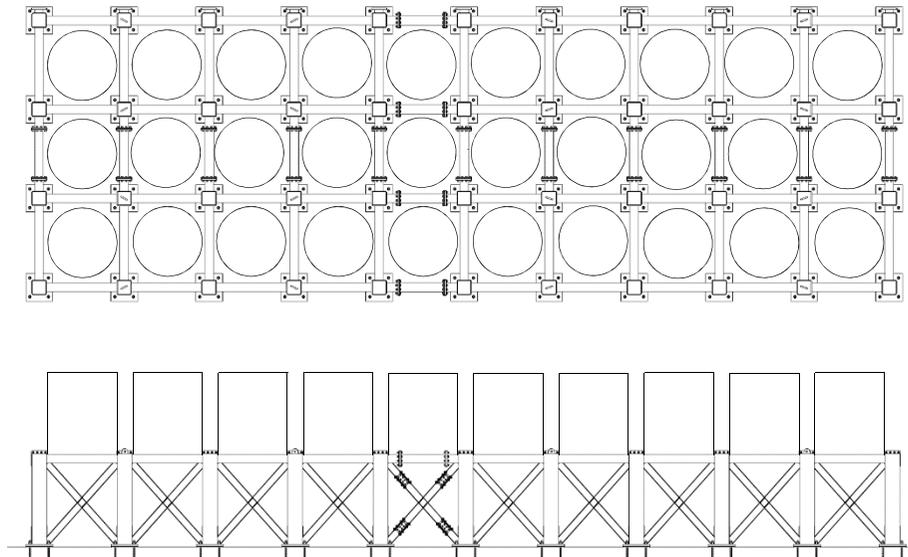
大型廃棄物保管庫にて保管する使用済吸着塔が、Ss900にて破損しないことを確認する。
なお、建屋・クレーンについては、使用済吸着塔に波及的影響※を及ぼさない設計としていること、保管架台については、使用済吸着塔との接触においても破損しない設計としていることを踏まえ、使用済吸着塔が保管架台に格納されている状態による強度評価のみ実施する。

※「波及的影響」を、使用済吸着塔を損傷させ、吸着材を漏洩させるような影響（使用済吸着塔が凹む等の吸着材が漏洩しない損傷を除く）と定義する。

評価フロー



保管状況イメージ図



6. 使用済吸着塔 強度評価（吸着塔選定）

変更なし

23

吸着塔強度評価にあたり、保管架台との接触により破損する可能性が高い箇所および吸着塔の特徴を整理し、それらを踏まえて評価対象となる吸着塔を選定する。
なお、吸着塔を格納する保管架台は破損までは至らないものとする。

■ 吸着塔選定条件

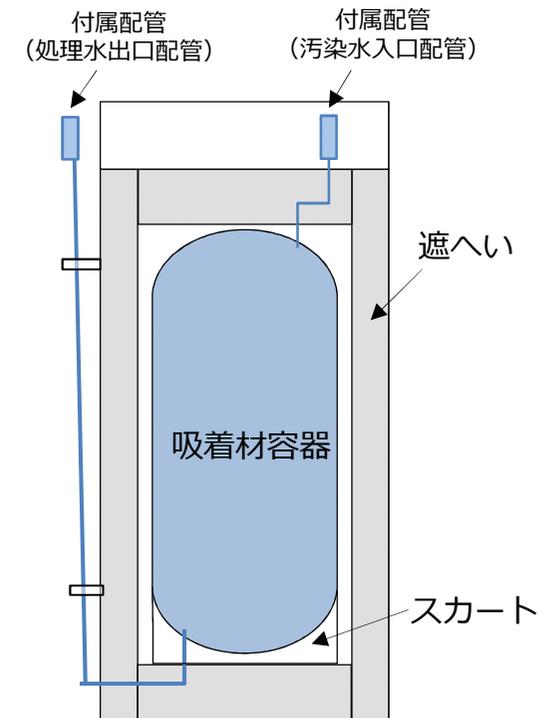
①地震により破損する可能性のある構造部位選定

吸着塔部位	想定される破損シナリオ
遮へい	・梁への衝突により遮へいに亀裂・破損が発生。
吸着材容器	・梁への衝突により遮へいが破損し、吸着材容器にまで亀裂・破損が発生。 ・スカート溶接部が破損し、吸着材容器に影響を及ぼす可能性あり
付属配管※1	・地震の衝撃に伴い、構造上の脆弱箇所の破損が発生。

※1 付属配管については、配管毎に破損シナリオ、破損の可能性、吸着材・内包水の漏えいリスクを考慮して吸着塔の選定を実施する。

②吸着塔の特徴により選定

吸着塔の質量・構造・重心位置により、より厳しい評価となる吸着塔を選定



※代表として第二セシウム吸着装置吸着塔の概要図を示す。

上記を考慮し、評価対象となる吸着塔を選定する

注) 使用済吸着塔格納時においては、梁と付属配管（遮へい外にある出口配管）が対面しない向きで格納し、地震時においても、付属配管が梁に直接接触しないよう位置調整を行う運用とする。

6. 使用済吸着塔 強度評価（評価箇所）

変更なし

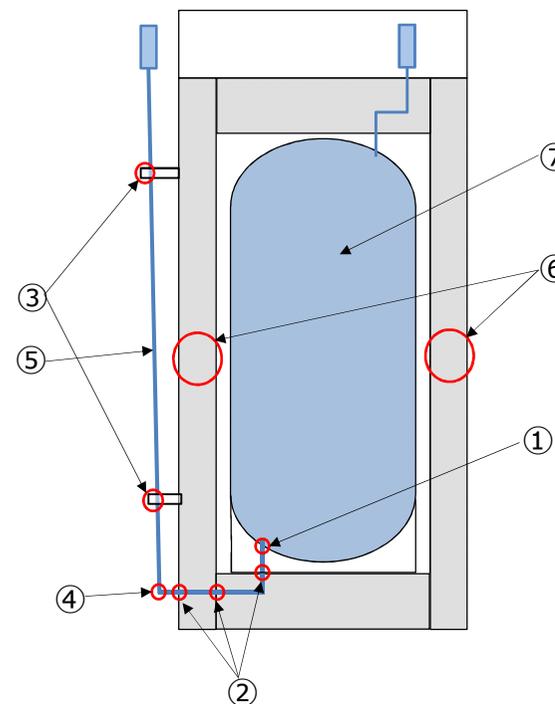
24

■ 評価箇所

- ・吸着材及び内包水の漏えい起因する吸着材容器・配管・遮へいを評価箇所とする。
- ・その他，吸着塔の特徴により評価箇所を追加する。

【評価箇所】

- ・ 処理水出口配管
 - ①吸着材容器との接続部
 - ②遮へい貫通部
 - ③遮へいとの固定部
 - ④配管付根部（エルボ）
 - ⑤梁との接触箇所
- ・ ⑥遮へいと梁の接触箇所
- ・ ⑦吸着材容器
 - + ⑧吸着塔の特徴により評価箇所の追加が必要



※代表として第二セシウム吸着装置吸着塔の概要図を示す。

大型廃棄物保管庫建屋（現状）のSs900による 耐震評価結果について

2022年11月8日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

1. 大型廃棄物保管庫建屋の耐震評価について

- 大型廃棄物保管庫はBクラス建屋として認可を受けて、建設中である。
- 令和3年9月に示された新耐震方針を踏まえた考慮すべき地震動は以下の通り。
- 本資料では、大型廃棄物保管庫のSs900に対する波及的影響の評価結果について示す。

大型廃棄物保管庫耐震評価の考え方（地震動の設定）

設備名称	動的地震力		静的地震力	確認用地震動（波及的影響、間接支持機能）	説明
	機能維持	弾性範囲（共振時のみ）			
（使用済吸着塔）	Ss900	—	—	—	・実力としてSs900地震動により吸着塔本体が破損し、内包水や吸着材が漏えいしないことを確認する。
建屋（屋根）	1/2Ss450	1/2Sd225	水平：1.5Ci (0.3G) 鉛直：—	Ss900	・Ss900で使用済吸着塔に波及的影響は与えないが、建屋の遮蔽機能は維持できない。建屋遮蔽がないものとして線量評価を実施した結果、公衆被ばく線量は、50 μ Svから5mSvの範囲となるため、長期間使用する設備であることを考慮し、B+クラスの地震力を適用する。
建屋（壁）					
建屋（柱、梁）					
建屋（基礎（堰））					
クレーン					
使用済吸着塔架台	—	—	水平：1.8Ci (0.36G) 鉛直：—	—	・認可済
換気設備					
非常用ベント口					
電源・計装設備	—	—	水平：1.2Ci (0.24G) 鉛直：—	—	—

（注）地震力の算定に際しては、水平2方向、鉛直1方向の適切な組合せを行う。

○必要な対策（耐震性の確保の代替案等）

Ss900に対して各設備が耐震性を確保することから、機動的対応などの運用上の対策は必要ない。

2. 地震応答解析の検討方針

- Ss900による波及的影響評価を実施するに当たっては、大型廃棄物保管庫の応答性状を適切に表現できる地震応答解析を用いて実施する。
- 評価に当たっては、使用済吸着塔への波及的影響を考慮する。
- 地震応答解析は、水平2方向及び鉛直方向への地震力を同時に入力（以下、「3方向同時入力」という）する。
- 検討に用いる地震動は、第27回特定原子力施設監視・評価検討会「東京電力福島第一原子力発電所の外部事象に対する防護の検討について」（平成26年10月3日）にて示した検討用地震動とする。
- また、検討用地震動①については、水平方向の地震動に方向性がないことから、3方向同時入力による検討を行うため、P5以降に示す方法にて作成した模擬地震波を用いる。

3. 評価項目とクライテリア (Ss900)

- 各部位に対する評価の考え方を整理した結果を以下に示す。

許容限界と考え方

部位		性能目標	事象	想定される事象	評価方針	許容限界
大型 廃棄物 保管庫	建屋 (柱、梁)	—	全体 崩落	・ 架構全体が許容限界を超えて傾き、防護対象施設・設備へ落下する。	・ 最大層間変形角が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認する。	層間変形角 1/30 ^{※1}
				・ 架構が崩壊機構を構成し、架構全体が倒れることにより、架構全体が防護対象施設・設備へ崩落する。	・ 架構の崩壊機構が構成されないことを確認する。	崩壊機構が構成されないこと

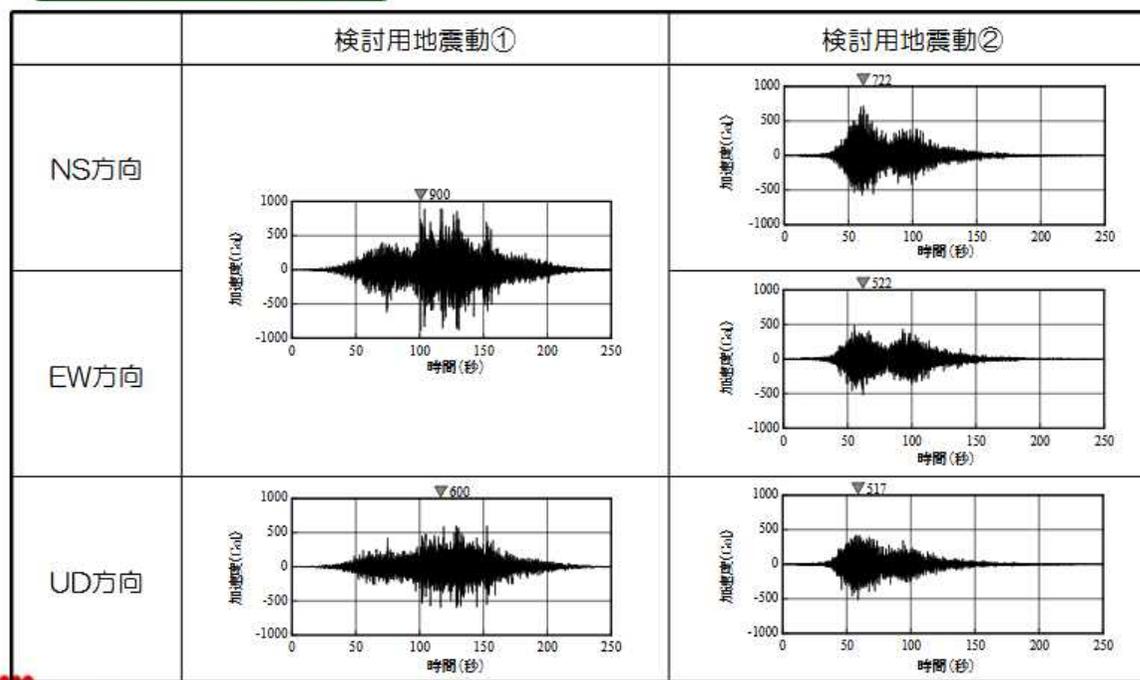
※1: 「震災建築物の被災度区分判定基準及び復旧技術指針（（財）日本建築防災協会）」を参考に許容限界を設定している。
 なお、被災度区分判定基準においては、柱の残留傾斜角が1/30を超えた場合に大破と判定しているが、保守的に最大層間変形角を用いて評価を行う。

4. 検討に用いる地震動の概要（1/2）

- 本検討に用いる地震動は、第27回特定原子力施設監視・評価検討会にてご説明した、検討用地震動（以下「Ss900」という）とする。
- Ss900は以下の二つの地震動からなる。

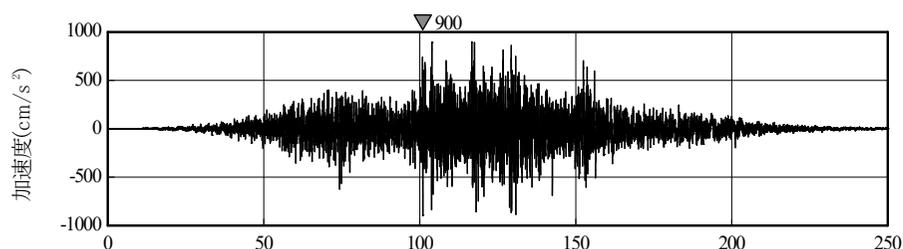
4. 1 検討用地震動の評価（検討用地震動）

加速度時刻歴波形

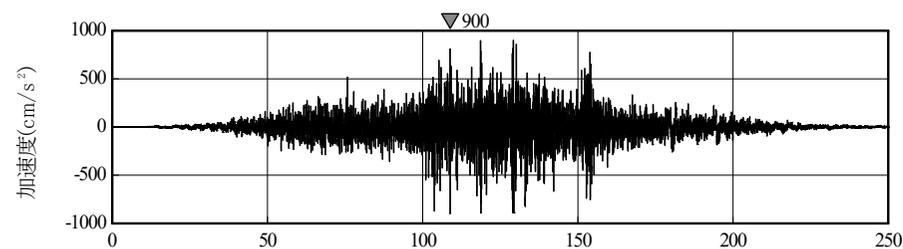


4. 検討に用いる地震動の概要(2/2)

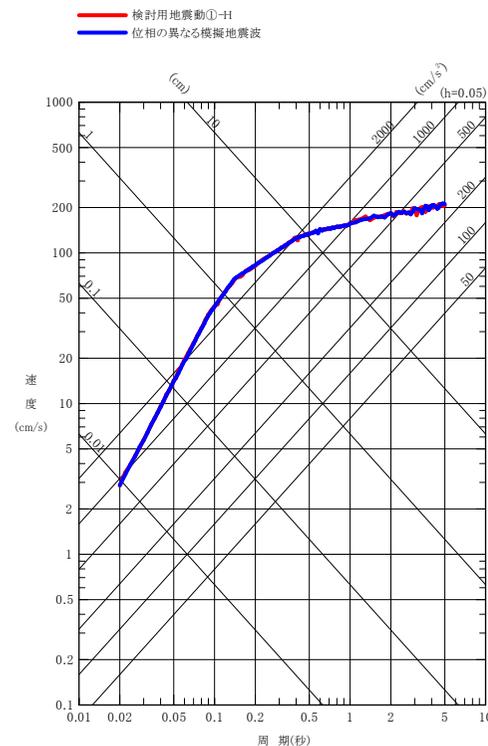
- 水平2方向の影響評価を実施するに当たっては、水平2方向及び鉛直方向地震力の同時入力を行う。
- 影響評価に当たっては、全く同じ地震動が同時に水平2方向に入力されることは現実的に考えにくいことから、検討用地震動①を作成した方法と同一の方法で、目標とする応答スペクトルに適合する位相の異なる模擬地震波を利用する。
- なお、検討用地震動①-Hの位相が、2011年東北地方太平洋沖地震において福島第一原子力発電所敷地内の地震観測記録のNS方向の位相を基に作成していることから、模擬地震波はそれと直交するEW方向の位相を基に作成する。



時間(秒)
検討用地震動①-Hの加速度時刻歴波形

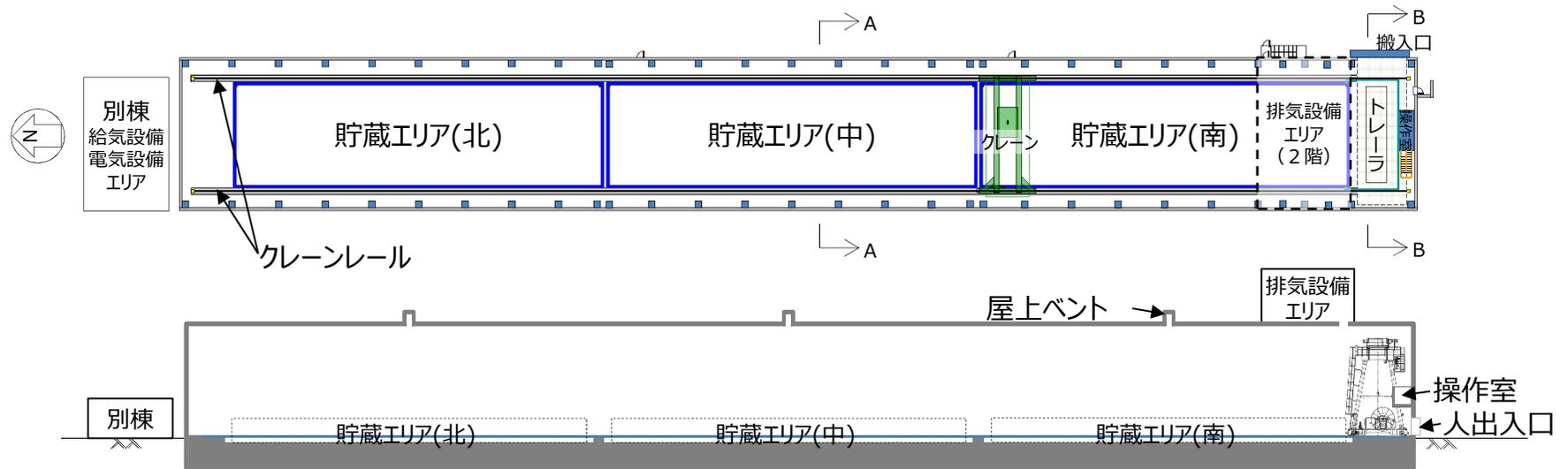


時間(秒)
位相の異なる模擬地震波の加速度時刻歴波形

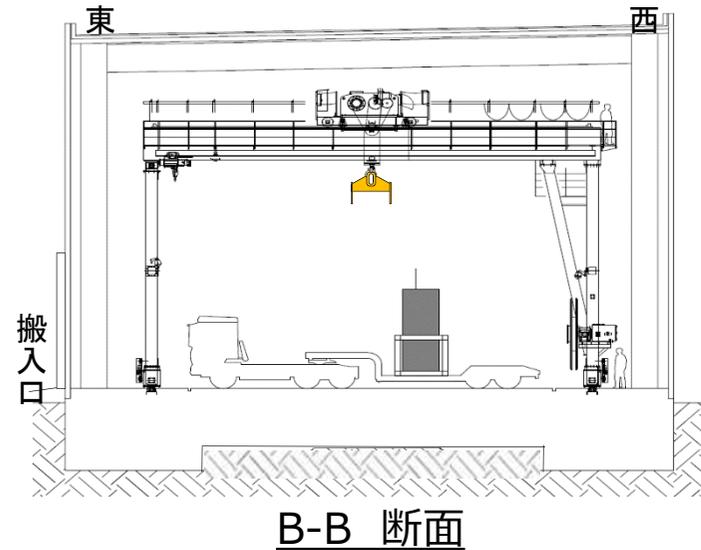
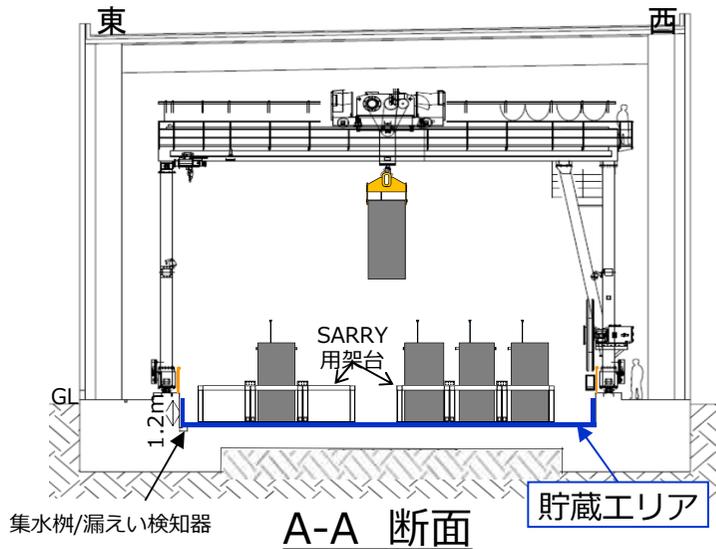


検討用地震動①の設計用応答スペクトル

5.1 大型廃棄物保管庫の建物概要(1)



* 図中のクレーン位置は作業休止時の係留位置を示す

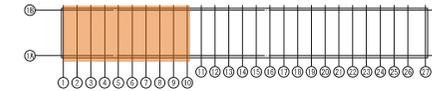
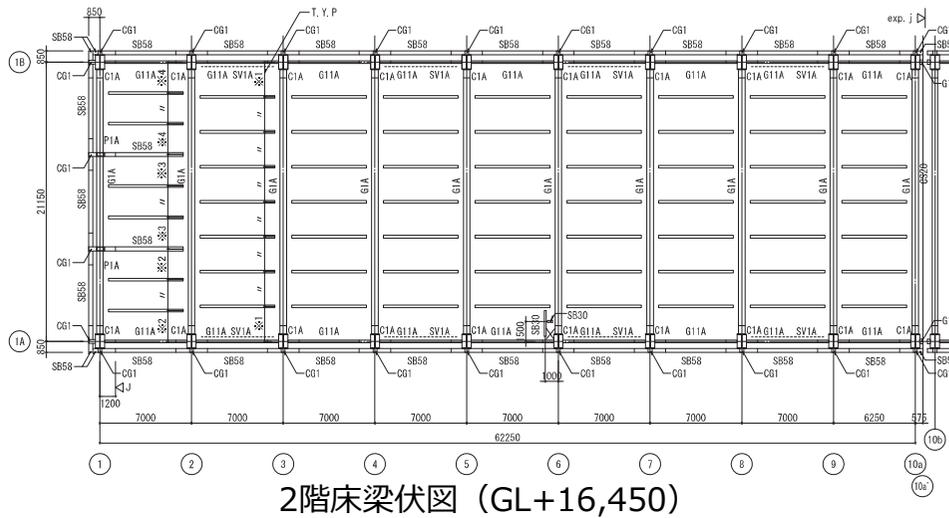


建屋概略図

5.1 大型廃棄物保管庫の建物概要(2)

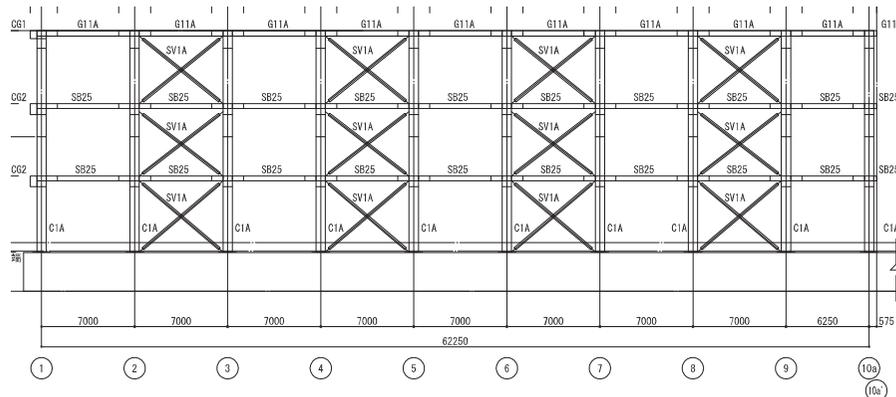
PN 

伏図

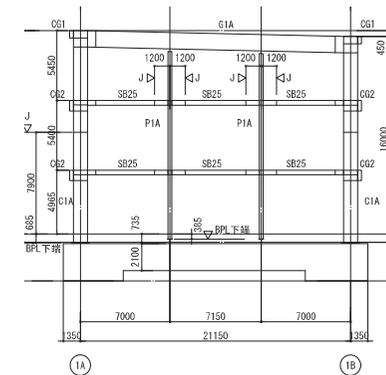


キープラン

軸組図



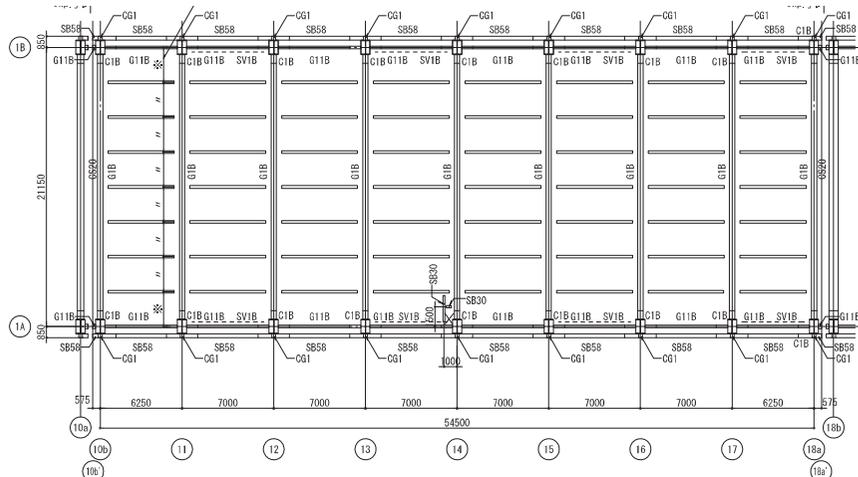
建屋概略図 (北棟)



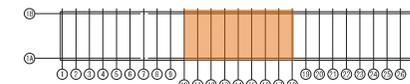
5.1 大型廃棄物保管庫の建物概要(3)



伏図

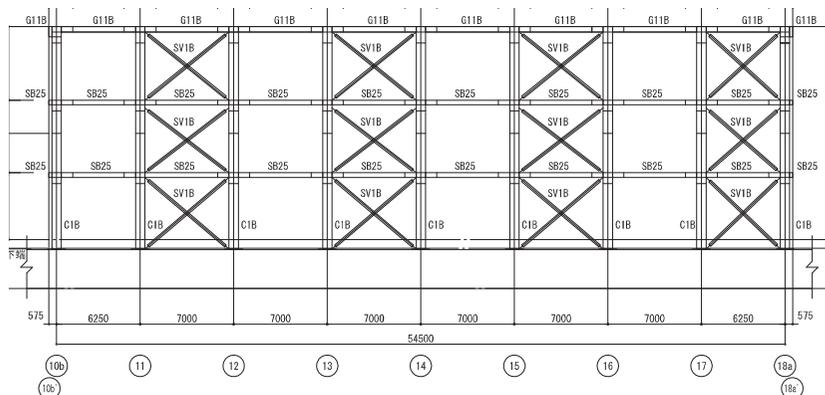


2階床梁伏図 (GL+16,450)

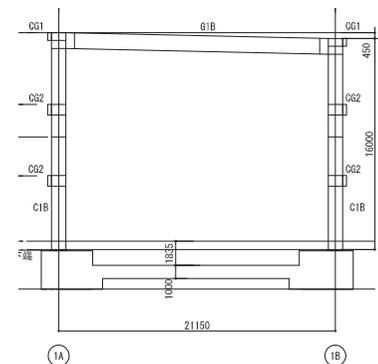


キープラン

軸組図



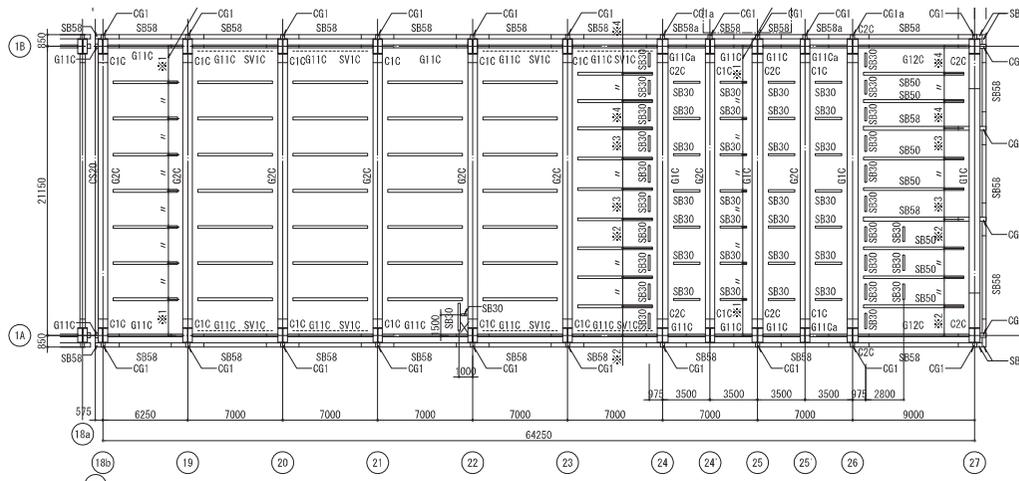
建屋概略図 (中央棟)



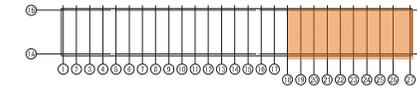
5.1 大型廃棄物保管庫の建物概要(4)

PN 

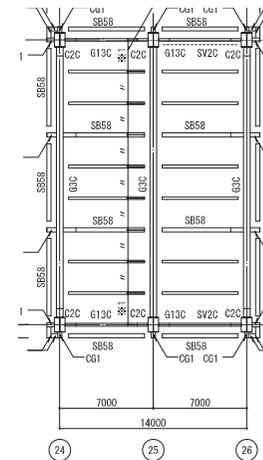
伏図



2階床梁伏図 (GL+16,450)

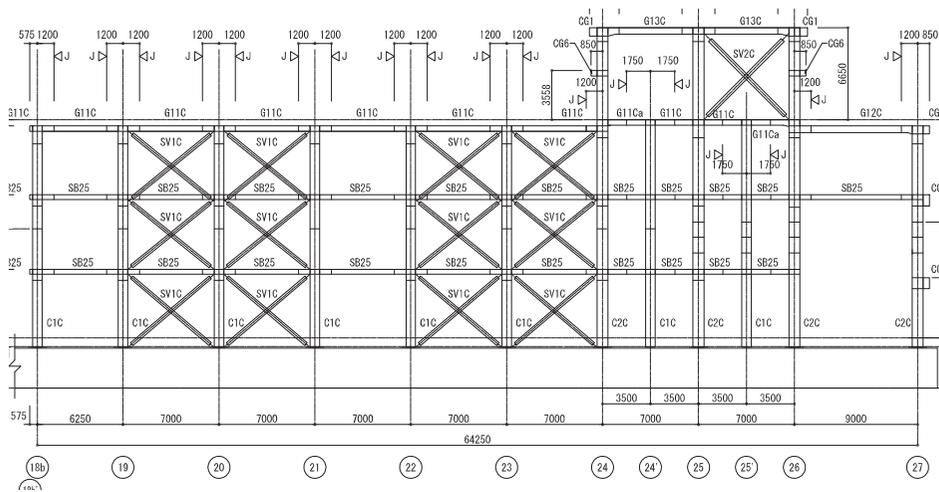


キープラン

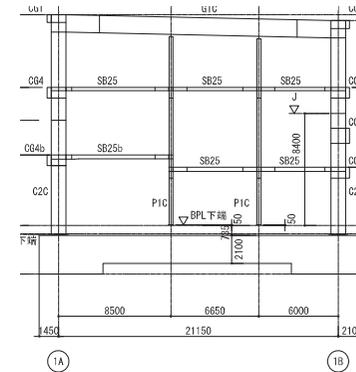


R階床梁伏図 (GL+23,100)

軸組図



建屋概略図 (南棟)



5.2 大型廃棄物保管庫の架構のモデル化

- 大型廃棄物保管庫をSs900で評価するに当たっては、3次元フレームモデルによる3方向同時入力にて地震応答解析を実施する。建物のモデル化の概要は以下の通り。
 - 建屋は3次元フレームモデルとし、柱、大梁、ブレース、小梁、間柱、及び屋根スラブをモデル化する。
 - 構成部材は、下表に示す非線形特性を考慮する。
 - 基礎は質点系に集約し、地盤との動的相互作用を考慮した地盤ばねを考慮する。
 - 建屋重量は、固定荷重(DL)、積載荷重(LL)、配管荷重(PL)を考慮し、外壁・屋根の支配面積に応じて柱・梁(小梁)の交点に集中質量として考慮する。

鋼製部材の非線形特性

種別	構成部材	モデル要素	備考
鉄骨部	ブレース	ロッド要素※1	引張耐力（引張側）及び座屈耐力低下（圧縮側）を考慮した修正若林モデル
	大梁	ビーム要素※2	端部に剛塑性ばね（全塑性モーメント）を考慮した非線形要素（バイリニア型）
	柱	ビーム要素	端部を剛塑性ばね（全塑性モーメント）として、曲げ及び軸力変動を考慮した非線形要素（バイリニア型）
	小梁	ビーム要素	線形要素
	間柱	ロッド要素	

※1 ロッド要素：軸剛性のみを持つ線材要素（トラス要素）

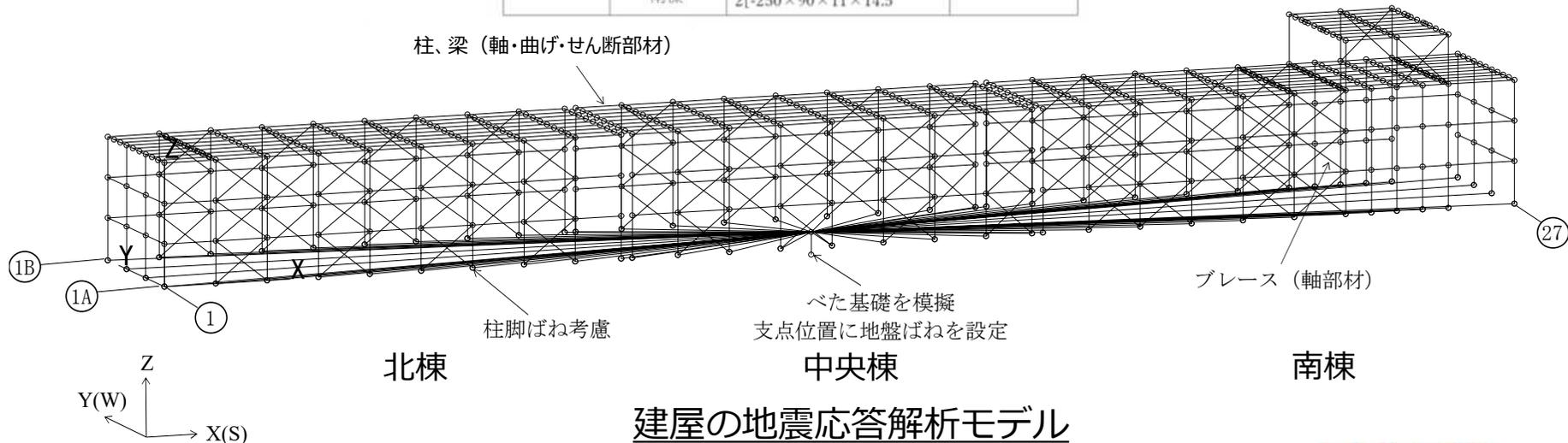
※2 ビーム要素：軸剛性、曲げ剛性、せん断剛性を持つ線材要素

5.3 地震応答解析モデル諸元（建屋）

- 建屋総重量：921880kN
- 材料特性（鉄骨造部分）・ヤング係数： $E=2.05 \times 10^8 \text{kN/m}^2$ 、 $G=7.90 \times 10^7 \text{kN/m}^2$ 、 $\nu=0.3$
- 材料特性（鉄筋コンクリート造部）・ヤング係数： $E=2.27 \times 10^7 \text{kN/m}^2$ 、 $G=9.45 \times 10^6 \text{kN/m}^2$ 、 $\nu=0.2$ ・材質：Fc24

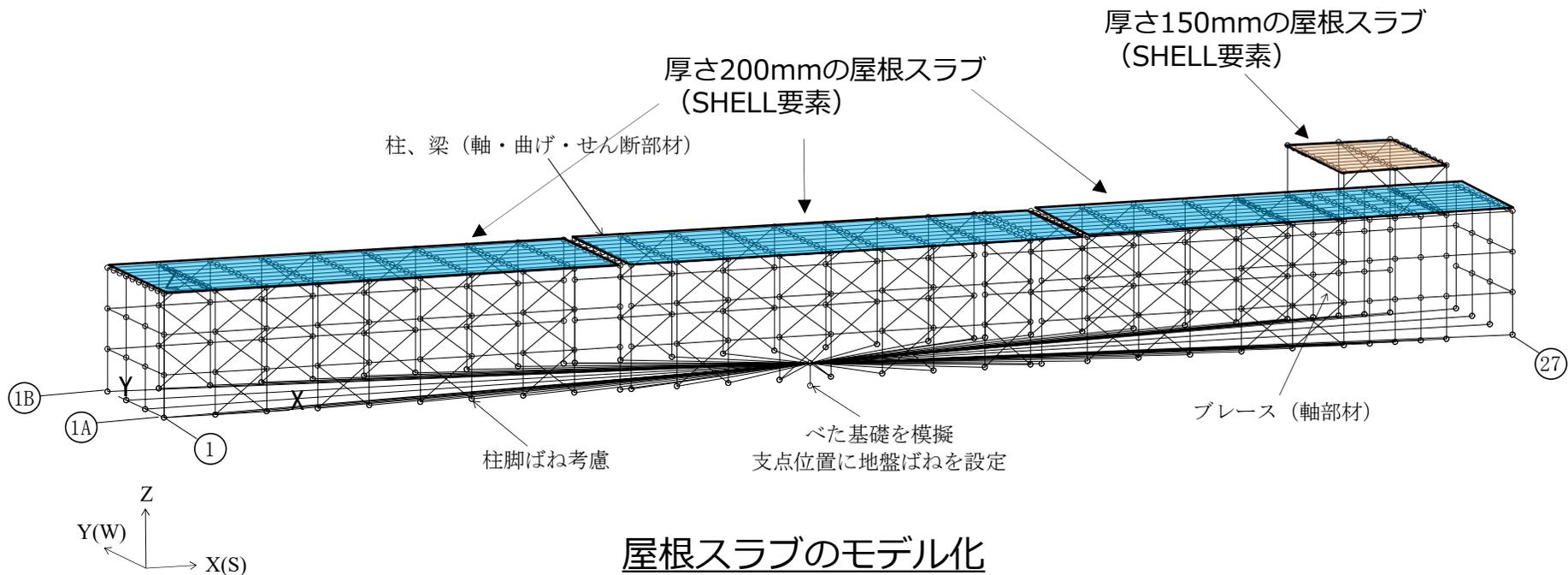
鉄骨部材リスト

部材	部位	部材サイズ	材質
柱	北棟	BH-1100×700×28×40	SN490B
	中央棟	BH-1100×700×28×36	
	南棟	BH-1100×700×28×40	
		BH-1100×800×28×40	
大梁	北棟	BH-1300×500×25×36	SN490B
	中央棟	BH-1200×400×22×40	
	南棟	BH-1300×800×28×40	
		BH-1300×700×25×40	
ブレース	北棟	2[-200×90×8×13.5]	SS400
	中央棟	2[-150×75×9×12.5]	
	南棟	2[-250×90×11×14.5]	



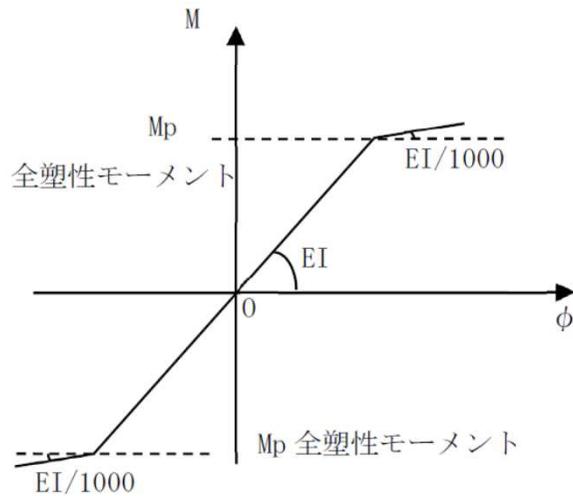
5.4 屋根のモデル化

- 屋根スラブは、RCスラブであることから、シェル要素でモデル化する。
- モデル化諸元
 - ・要素 : SHELL要素
 - ・材料特性 : RC造 (Fc24)
 - ・ヤング係数 : $E=2.27 \times 10^7 \text{kN/m}^2$ 、 $G=9.45 \times 10^6 \text{kN/m}^2$

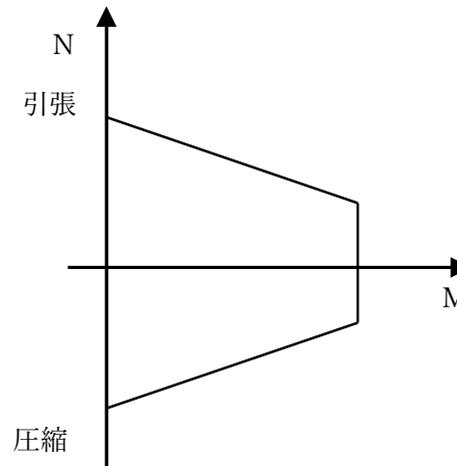


5.5 架構の非線形特性

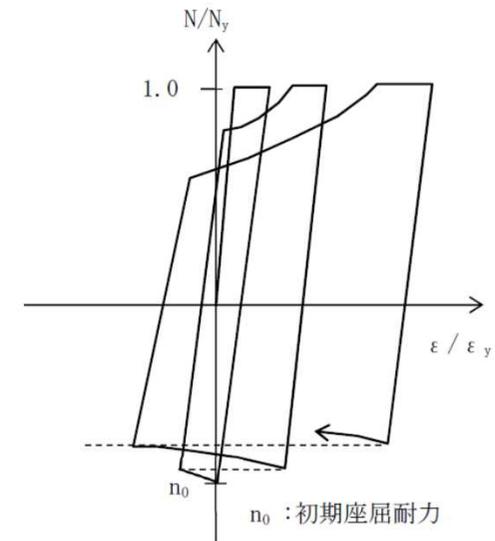
- 各構成要素の非線形特性を以下に示す。



a) 梁・柱のM- ϕ 特性



b) 柱のN-M曲線

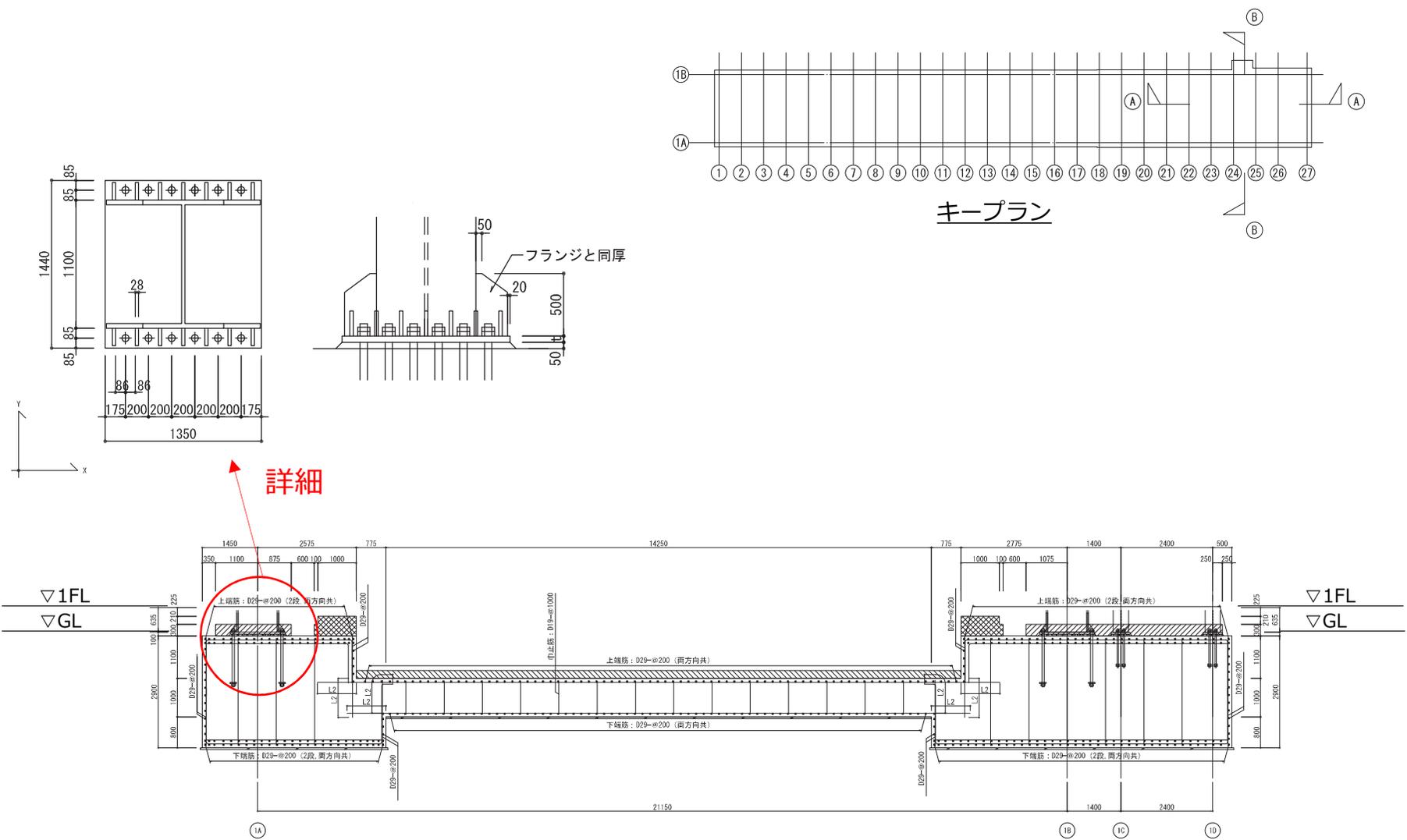


c) ブレースの復元力特性
(修正若林モデル)

構成部材の非線形特性

5.6 柱脚部のモデル化(1)

- 建屋柱脚部は露出柱脚である。

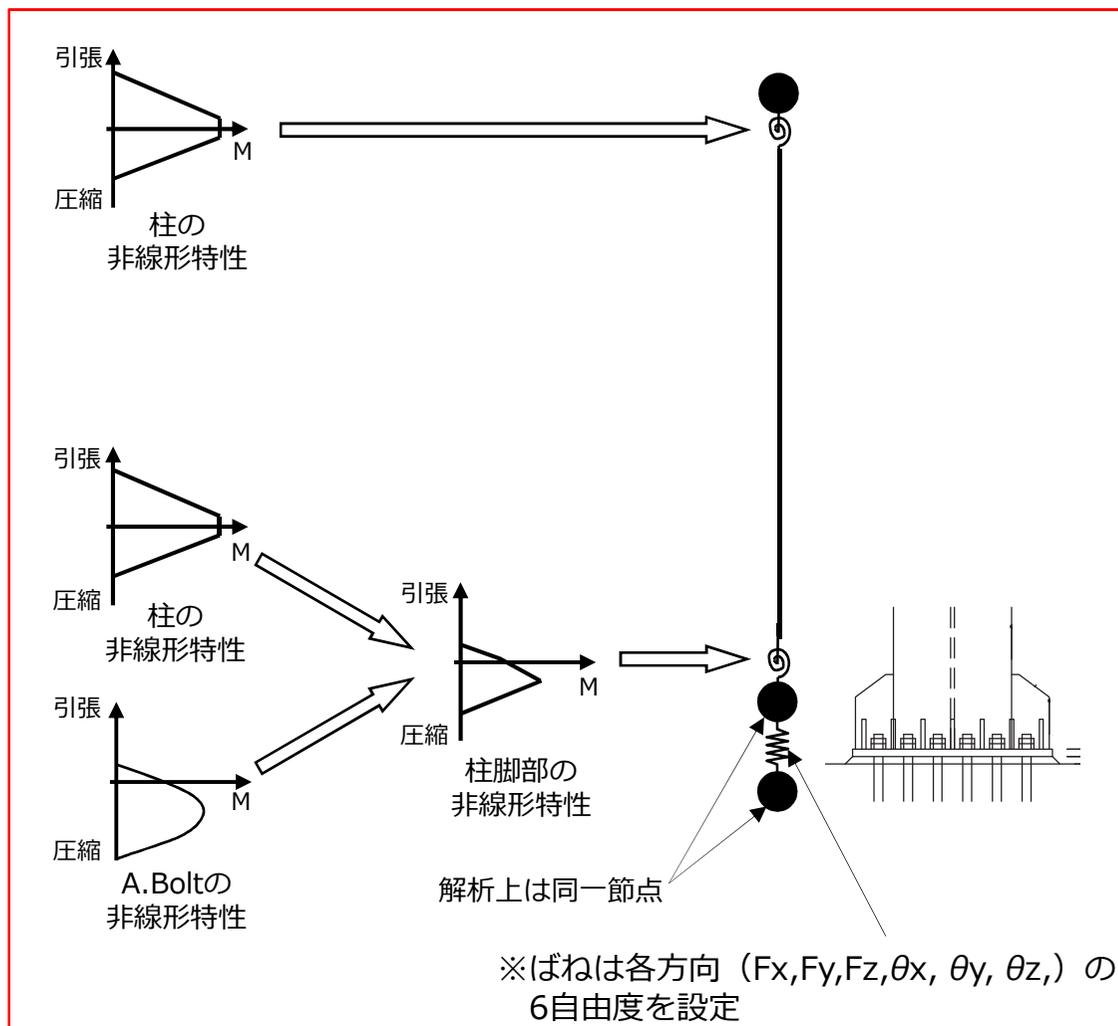


詳細

B-B 断面詳細図

5.6 柱脚部のモデル化(2)

- 柱材は線材でモデル化し、端部に剛塑性ばね（全塑性モーメント）として、曲げ、及び軸力変動を考慮した非線形要素（バイリニア）とする。



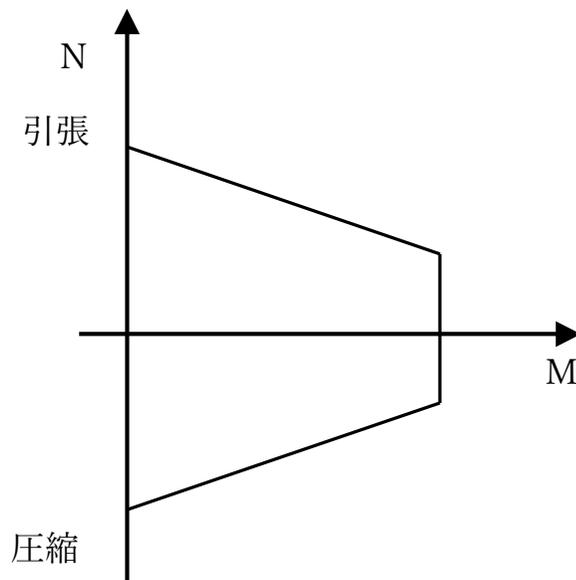
詳細

解析モデル

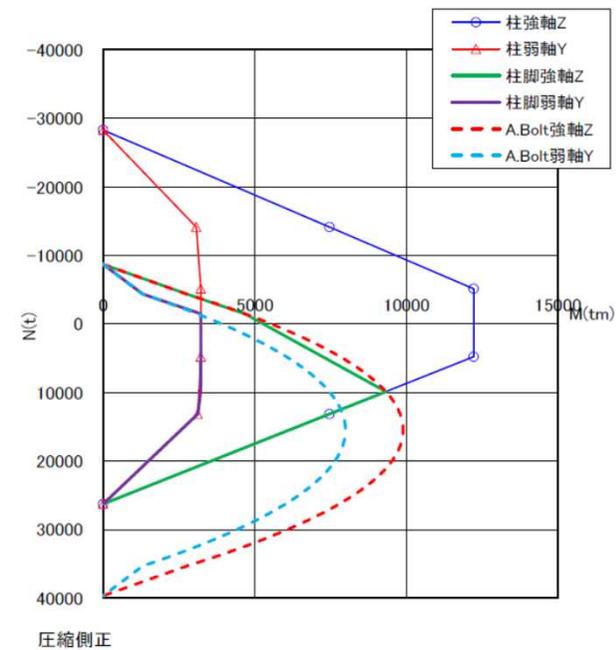
5.6 柱脚部のモデル化(3)

モデル化の概要

- 柱脚部の非線形特性は、柱のM-Nスケルトン曲線と露出柱脚（アンカーボルト）のM-Nスケルトン曲線の最小値取りしたM-Nスケルトン曲線とする。



a) 柱のN-M曲線



b) 柱脚部の部材とアンカーボルト
の非線形特性を最小値取りしたN-M曲線

5.7 地盤モデル

等価地盤モデル (Ss900-1)

標高 T.P. (m)	層厚 (m)	地質	単位体積重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	初期 せん断波速度 V_{s0} (m/s)	初期 せん断弾性係数 G_0 (kN/m ²)	剛性低下率 G/G_0	せん断弾性係数 G (kN/m ²)	せん断波速度 V_s (m/s)	縦波速度 V_p (m/s)	減衰定数 h (%)
23.05 ~ 15.40	7.65	改良地盤	17.8	0.260	360 [※]	235000	0.95	223000	350	620	3
15.40 ~ -74.436	89.836	泥岩	17.0	0.459	470	383000	0.66	253000	380	1390	3
-74.436 ~ -100.436	26.0		17.4	0.447	530	498000	0.64	319000	420	1370	4
-100.436 ~ -182.436	82.0		17.4	0.443	580	597000	0.68	406000	480	1500	4
-182.436 ~ -197.436	15.0		17.6	0.410	750	1010000	0.78	788000	660	1700	3
-197.436 ~	—	解放基盤	17.6	0.410	750	1010000	—	1010000	750	1920	—

注：剛性低下率及び減衰定数は、Ss-1H及びSs-1Pによる等価線形解析結果の最小値とする。

※20210705「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（第11回面談）」に記載の方法により、初期せん断波速度を設定している。

5.8 地震応答解析と解析ケース

地震応答解析方法

- 解析は、弾塑性時刻歴応答解析とする。また、時間刻みは0.001秒とする。
- 建屋の減衰は $h=0.02$ とし、建屋一次固有振動数に対して剛性比例型減衰を与える。
- 解析プログラムは、「DYNA 2E Version7.2.56」とする。
- 入力地震動は、建屋方向のN→Sを+方向、E→Wを+方向、鉛直上向きを+方向として解析を行う。

解析ケース

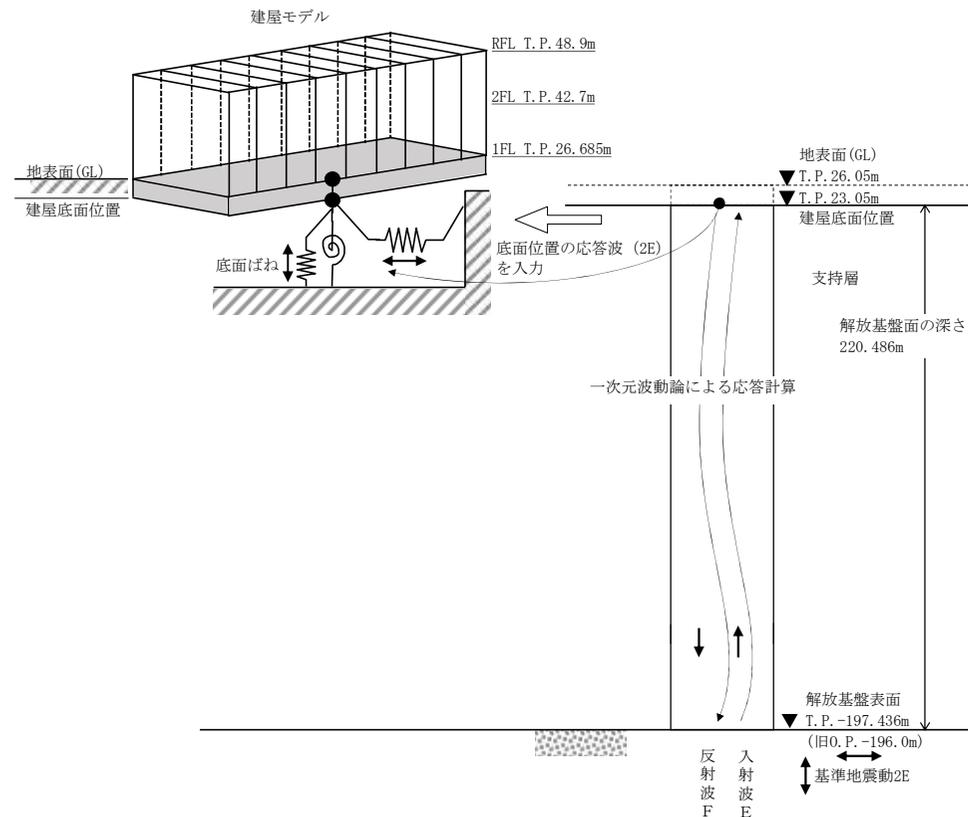
- 基準地震動Ss900-1の、3方向同時入力解析を行う。

解析ケース (Ss900-1)

地震動	地震動の入力方向	入力方向	継続時間 (s)
Ss900-1 (基本ケース)	3方向同時入力	NS+EW+UD	250.01

5.9 地震応答解析の概要

- 地震応答解析に用いる入力地震動の概念図を下図に示す。モデルに入力する地震動は一次元波動論に基づき、解放基盤表面で定義されるSs900に対する地盤の応答として評価する。



入力地震動の概要図

5.10 Ss900に対する評価結果

- 大型廃棄物保管庫の各棟における層間変形角及び崩壊機構の有無を下表に示す。
- 北棟、南棟では許容限界を満たすものの、中央棟では崩壊機構を形成することから、Ss900では倒壊することを否定できない結果となった。

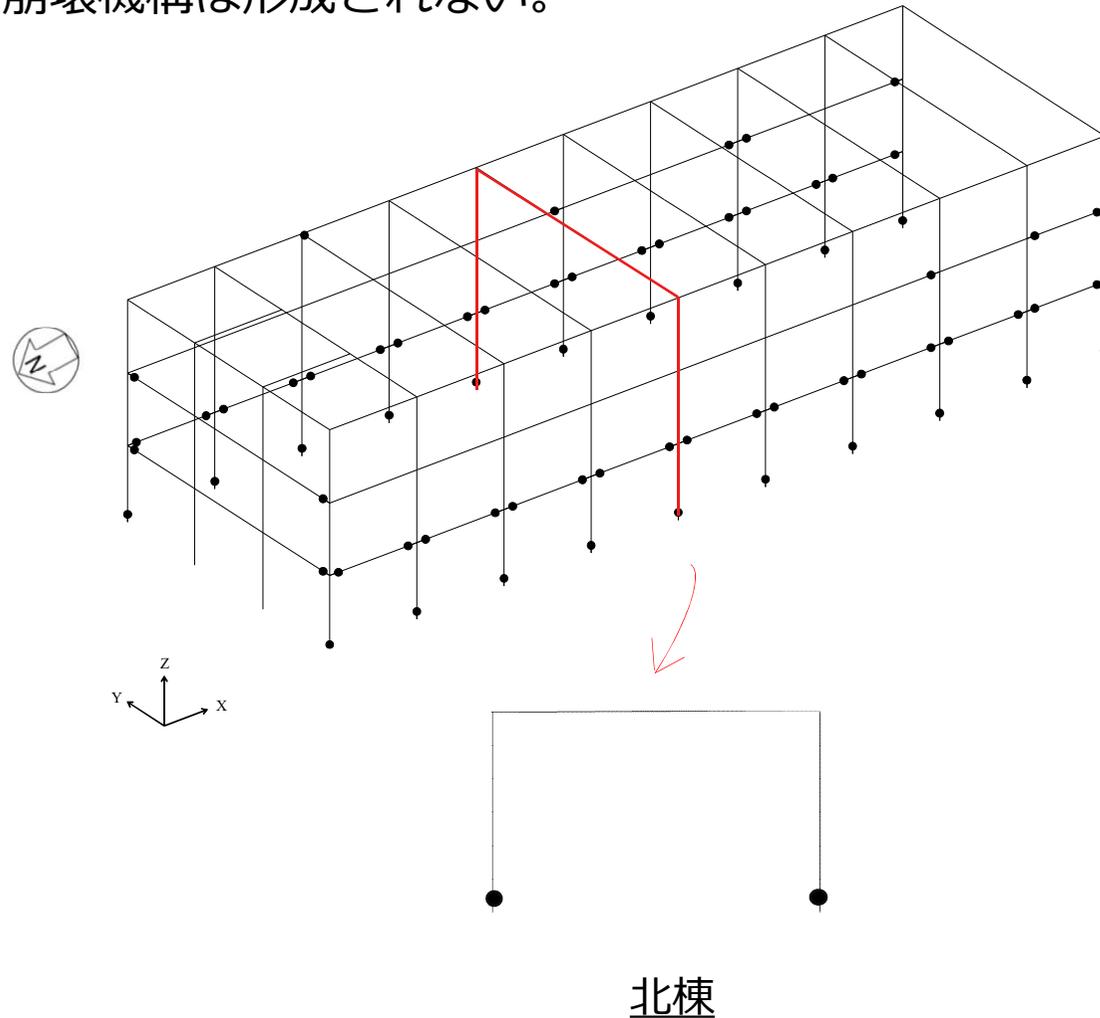
	許容限界	評価結果	判定結果
北棟	層間変形角1/30※ ¹	NS方向：1/78 EW方向：1/57	OK
	崩壊機構が形成されないこと※ ²	形成しない	
中央棟	層間変形角1/30	NS方向：1/72 EW方向：1/57	NG
	崩壊機構が形成されないこと	形成する	
南棟	層間変形角1/30	NS方向：1/84 EW方向：1/65	OK
	崩壊機構が形成されないこと	形成しない	

※1：「震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針（（財）日本建築防災協会）」を参考に許容限界を設定している。なお、被災度区分判定基準においては、柱の残留傾斜角が1/30を超えた場合に大破としているが、保守的に最大層間変形角を用いて評価を行う。

※2：フレームの全ての部材に塑性ヒンジ（地震力により部材断面全てが降伏し曲げ剛性を失い、ヒンジ（蝶番）のように回転する部分）ができると、それ以上水平力が増えないまま、変形のみが増え続け崩壊へと至る状態（崩壊機構）が形成される。

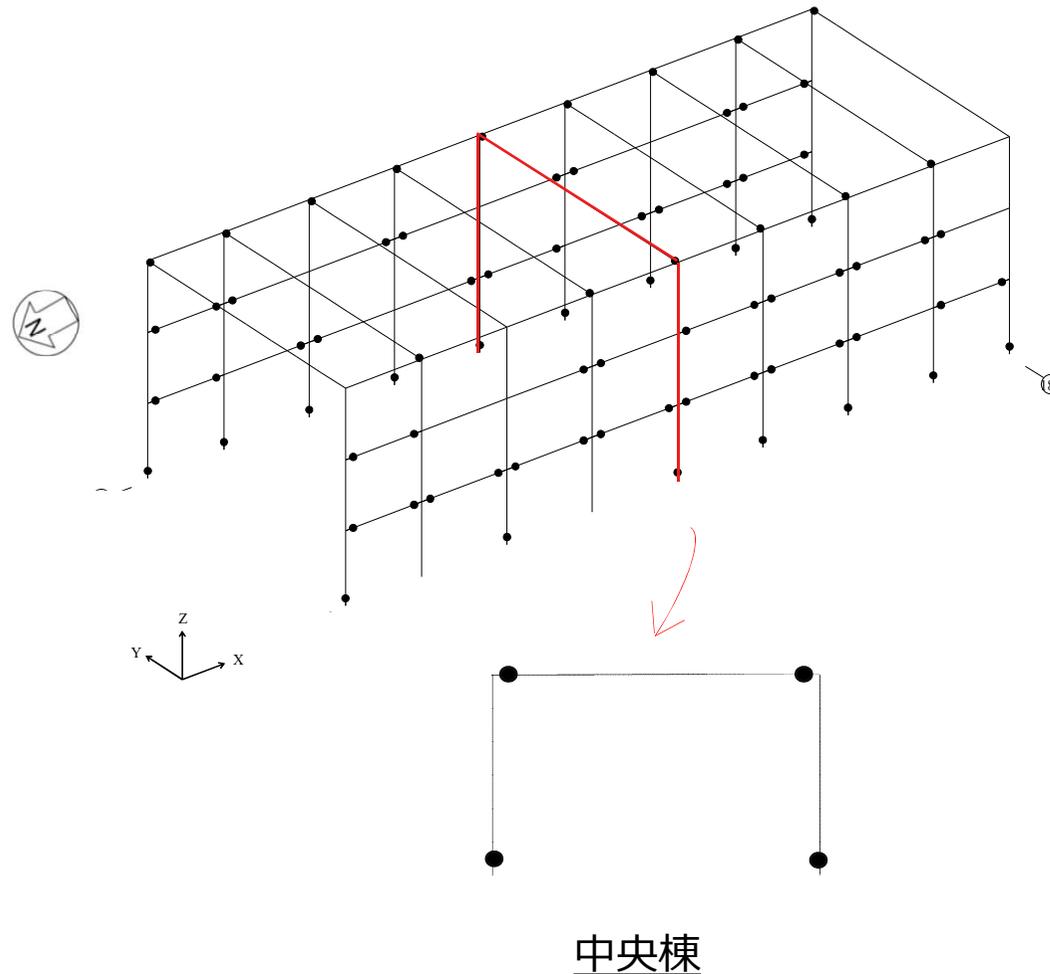
5.11 架構の評価結果（北棟、崩壊機構）

- 鉄骨フレームの塑性ヒンジ図を示す。図中の●は塑性ヒンジを示す。
- 柱脚部に塑性ヒンジが形成されているものの架構として不安定な状態にはならず、崩壊機構は形成されない。



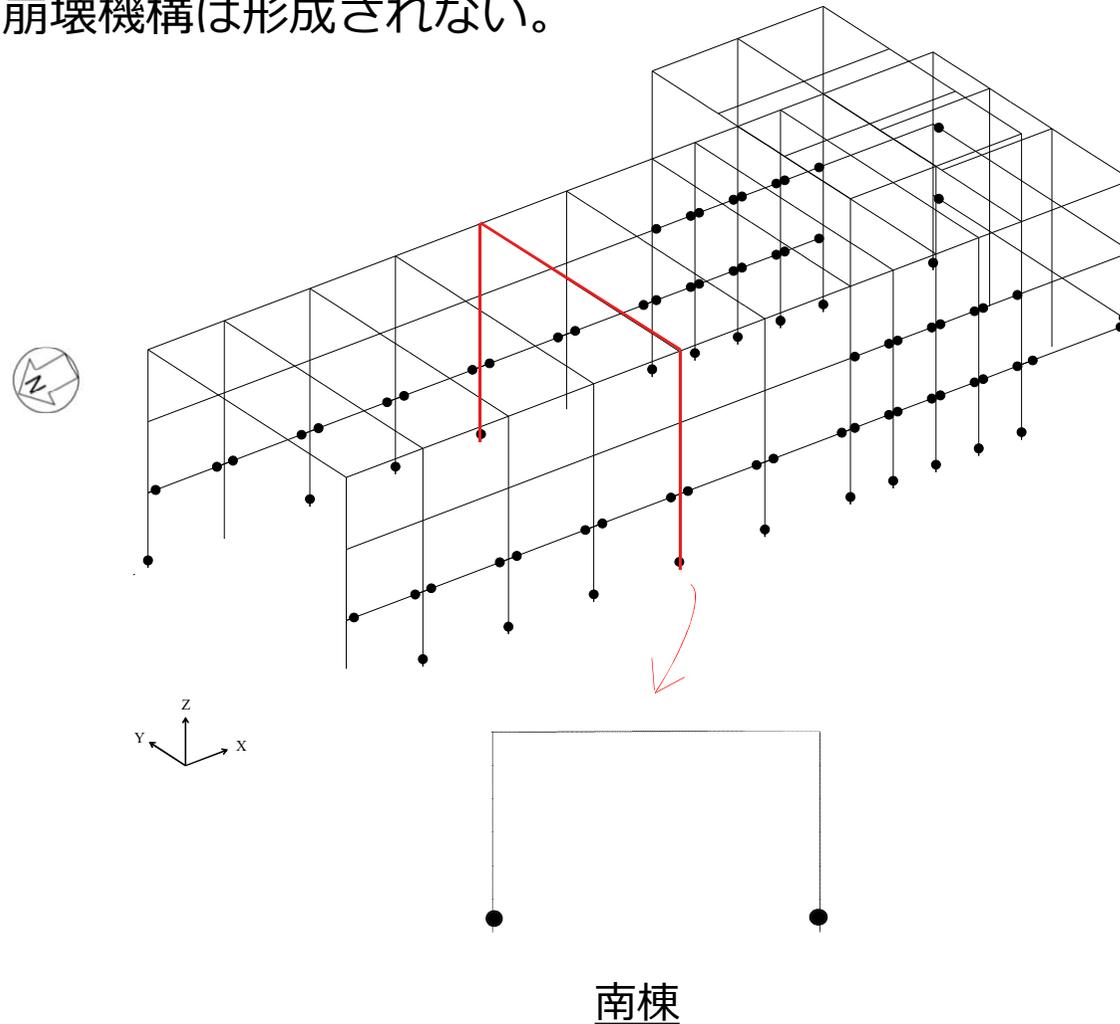
5.11 架構の評価結果（中央棟、崩壊機構）

- 鉄骨フレームの塑性ヒンジ図を示す。図中の●は塑性ヒンジを示す。
- 柱脚部に塑性ヒンジが形成され、かつ大梁端部にも塑性ヒンジが形成されていることから、架構として不安定な状態になり、崩壊機構が形成される。



5.11 架構の評価結果（南棟、崩壊機構）

- 鉄骨フレームの塑性ヒンジ図を示す。図中の●は塑性ヒンジを示す。
- 柱脚部に塑性ヒンジが形成されているものの架構として不安定な状態にはならず、崩壊機構は形成されない。



5.12 ブレースの評価結果（破断寿命評価方法）

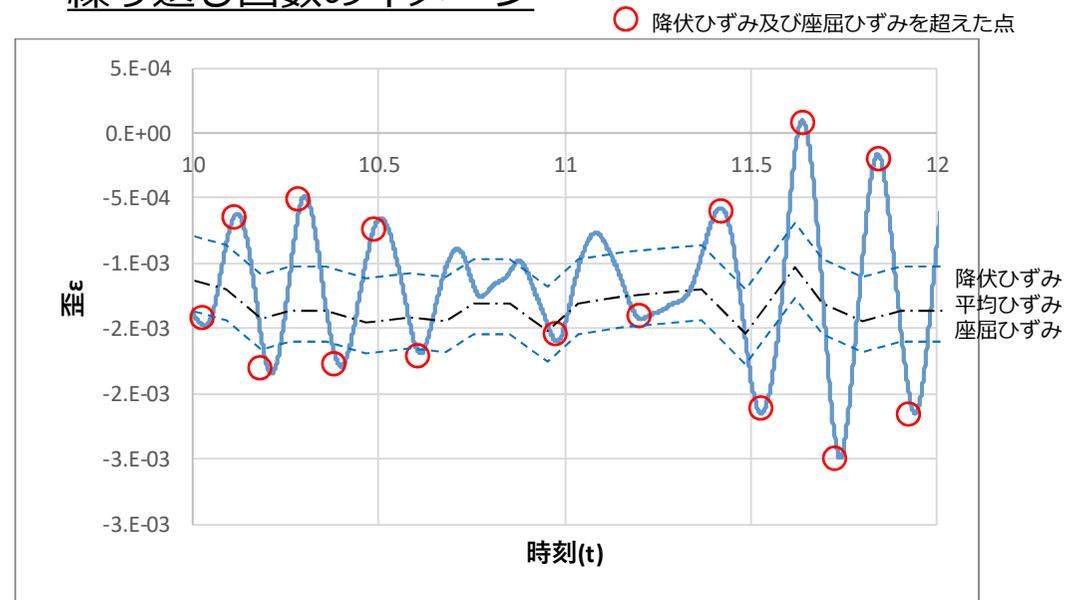
- 最大累積塑性変形倍率がブレース部で最大となり、39.933と大きいことから、念のため、破断寿命評価を実施し、部材が破断しないことを確認する。
- 対象部材に対して、応答解析より求まる最大等価軸ひずみ（設定歪振幅）を算定する。
- 対象部材の最大等価軸ひずみに対応する鋼材の破断寿命を中込ほか^{※1}より算出し、これを評価基準とする。
- 対象部材の軸ひずみ時刻歴波形より、降伏ひずみ及び座屈ひずみを超え、勾配の正負が切り替わる全点（波形のピーク）を数え上げ、それを繰り返し回数とする。

※1 中込他、繰返し力を受けるSM490鋼の疲労性に関する研究、日本建築学会構造系論文集、第469号、127-136、1995年3月

設定歪振幅と破断寿命^{※1}

設定歪振幅	亀裂発生寿命	破断寿命
10.00%	3	1.8×10
7.00%	1.0×10	3.9×10
5.00%	2.6×10	6.7×10
3.50%	3.5×10	1.02×10^2
2.00%	1.70×10^2	2.99×10^2
1.00%	4.40×10^2	9.66×10^2
0.90%	8.00×10^2	1.29×10^3
0.70%	1.45×10^3	2.76×10^3
0.50%	3.00×10^3	5.77×10^3
0.30%	1.90×10^4	3.29×10^4
0.22%	6.30×10^4	8.64×10^4
0.17%	8.50×10^5	1.19×10^6

繰返し回数のイメージ



5.13 ブレースの評価結果

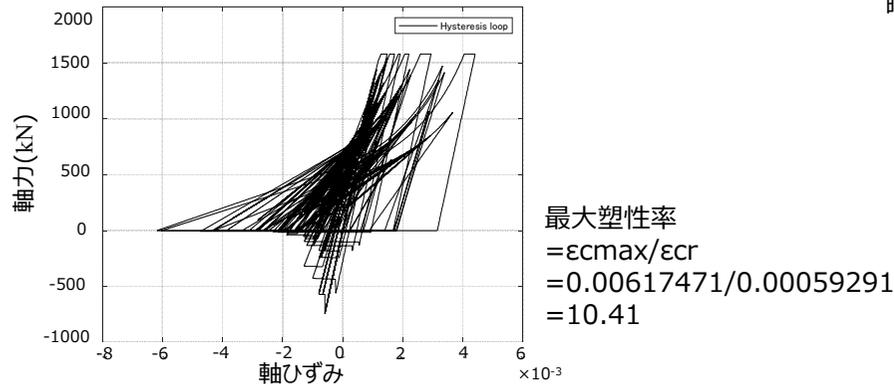
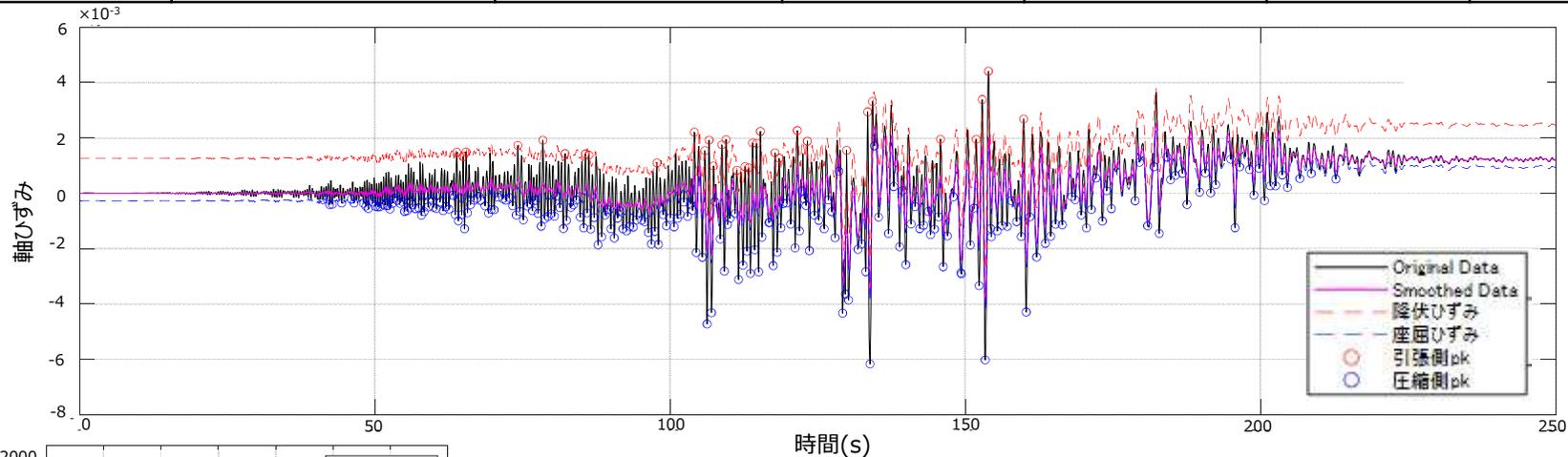
■ ブレースの破断寿命に対する繰り返し回数の算定を示す。

*1：対象部材の軸ひずみ時刻歴波形をカウントする。

*2：最大等価軸ひずみ（設定ひずみ振幅）に対応する鋼材の破断寿命を引用文献より算定する（参考表）。破断寿命は、参考表の設定ひずみより求める。

断面検討結果

部位	部材形状 (mm)	最大等価ひずみ ϵ_{max} ($\times 10^{-2}$)	応答による 繰返し回数n1	評価基準 (破断寿命) Np	n1/Np	判定
ブレース	2[-150×75×9×12.5]	0.932	310	1185	0.27	O.K.



設定歪幅と疲労寿命（実験 I）

設定歪振幅	亀裂発生寿命	破断寿命
10.00%	3	1.8×10
7.00%	1.0×10	3.9×10
5.00%	2.6×10	6.7×10
3.50%	3.5×10	1.02×10^2
2.00%	1.70×10^2	2.99×10^2
1.00%	4.40×10^2	9.66×10^2
0.90%	8.00×10^2	1.29×10^3
0.70%	1.45×10^3	2.76×10^3

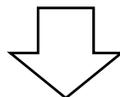
大型廃棄物保管庫の使用済吸着塔保管架台 耐震評価（Ss900）について

2022年11月8日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

- ・ 保管する使用済吸着塔はインベントリが大きく、「地震により安全機能を失った際の公衆への被ばく影響」を考慮すると、大型廃棄物保管庫は耐震Sクラスとなる。
- ・ 保管架台は、インベントリが大きい使用済吸着塔を格納する支持構造物である。
- ・ 地震時において、保管架台の破損により使用済吸着塔の間接支持機能が失われる可能性がある。



保管架台の耐震評価では、Ss900にて使用済吸着塔の間接支持機能を失わないことを確認する

保管架台の耐震設計方針

➤ 既認可での耐震設計について

使用済吸着塔を格納するための保管架台については、2015年に従来の保管架台（6×1列を3基連結した架台）が認可されており、保管架台は床版に基礎ボルトで固定され、格納する使用済吸着塔は、保管架台の受け梁上に遠隔操作式クレーンにて静置するもの（フリースタANDING）としている。これは、屋外保管を想定し、使用済吸着塔底面が雨水等の影響により腐食することを防止すること、また、格納する使用済吸着塔の表面線量が高線量になり得ると想定し、保管架台や床版へ固定する際の近接作業による過剰な被ばくを防止することを目的としたもので、汚染水処理設備導入当初からの設計を踏襲したものである。

既認可では、保管架台に対し静的地震力により転倒並びに滑動評価を実施していた。

➤ 今回の耐震設計方針について

格納する使用済吸着塔の安全機能が喪失した場合における敷地境界への線量影響を踏まえると、使用済吸着塔を支持する保管架台については、地震時においてもその破損を防止するため、間接支持機能を維持する設計である必要がある。そのため、保管架台は床版に基礎ボルトで固定する構造とし、十分な強度を有することとするが、格納する使用済吸着塔については、既認可の保管架台と同様、固定を行う際の近接作業による過剰な被ばくを防止するため、床版に静置すること（フリースタANDING）とした。

上記の構造とすることにより、地震時においても、保管架台が間接支持機能を維持することを確認する他、使用済吸着塔の滑動によって、保管架台と接触した場合においても、十分な強度を有することを確認する。

保管が想定される使用済吸着塔

- 大型廃棄物保管庫へ保管される使用済吸着塔は、将来的に高線量の使用済吸着塔を格納することが想定されている。
- 使用済吸着塔の格納時においては、作業のバラつきやミスを防止するため、同一の作業員が対応することから、固定作業まで実施した場合、作業員が過剰な被ばくをするおそれがある。

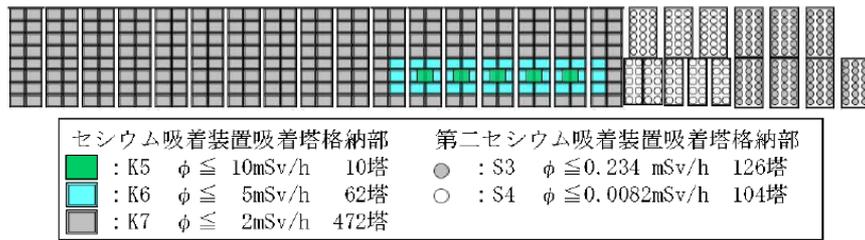


図1 第一施設の吸着塔格納配置計画 (φ : 吸着塔側面線量率)

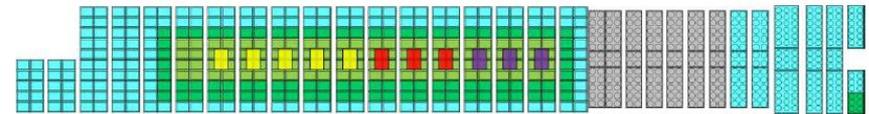
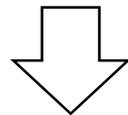


図2 第四施設の吸着塔格納配置計画 (φ : 吸着塔側面線量率)



将来的に保管を想定

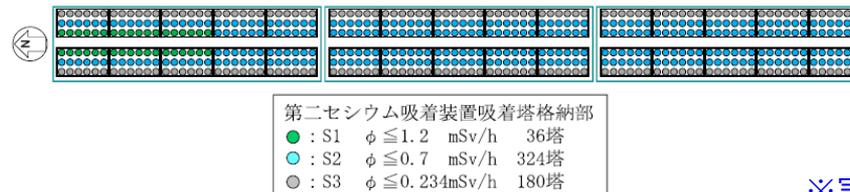
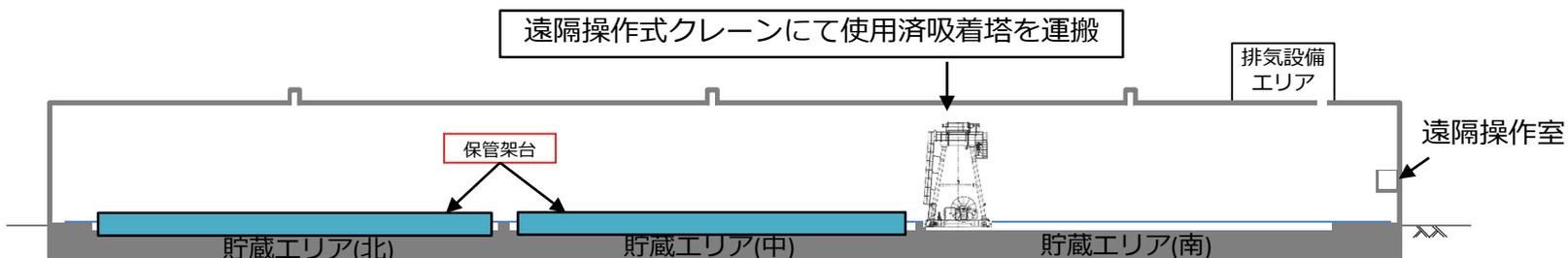


図3 大型廃棄物保管庫の吸着塔格納配置モデル (φ : 吸着塔側面線量率)

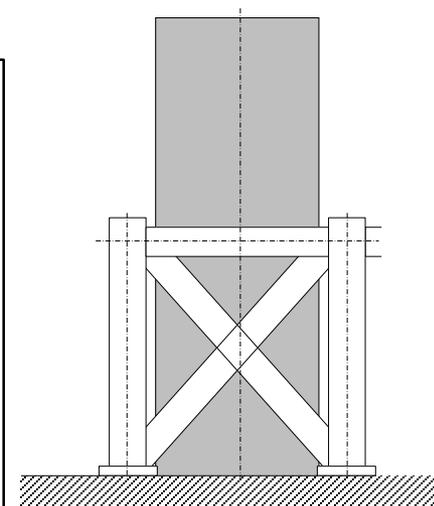
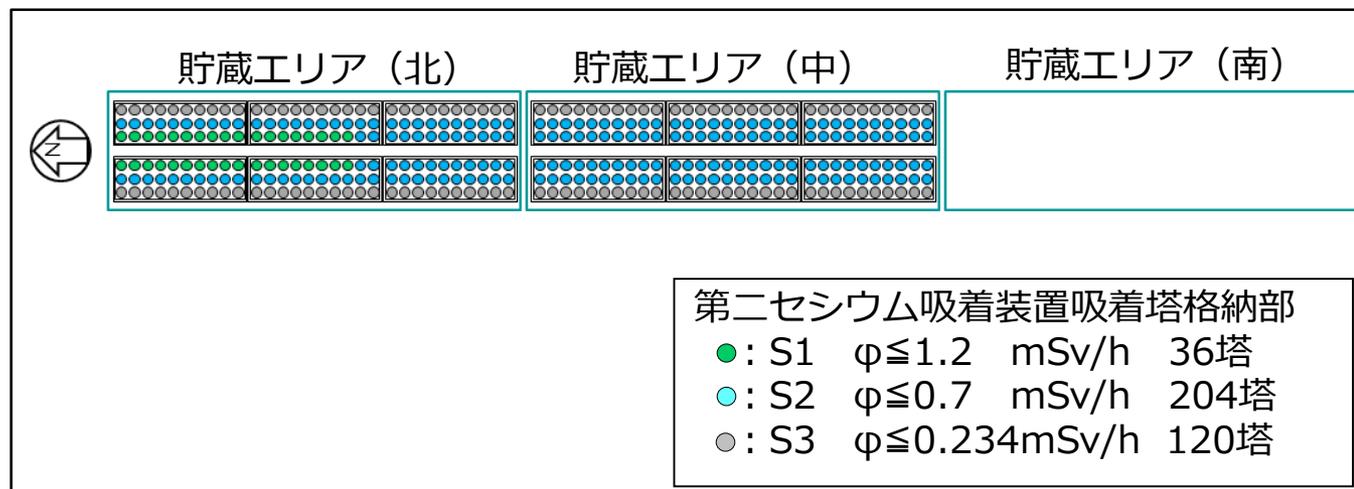
※実施計画Ⅲ章3編2.2.2添付資料-1抜粋

- 上記を踏まえ、作業員の過剰な被ばくを防止するにあたり、使用済吸着塔はフリースタンディングにて保管を行う。

- 使用済吸着塔は、大型廃棄物保管庫内に設置する保管架台内に格納する。
- 保管架台内への使用済吸着塔の格納は、遠隔操作式クレーンにて行う。
- 作業員の被ばくを防ぐため、使用済吸着塔の固定は行わず床版に静置するものとする。

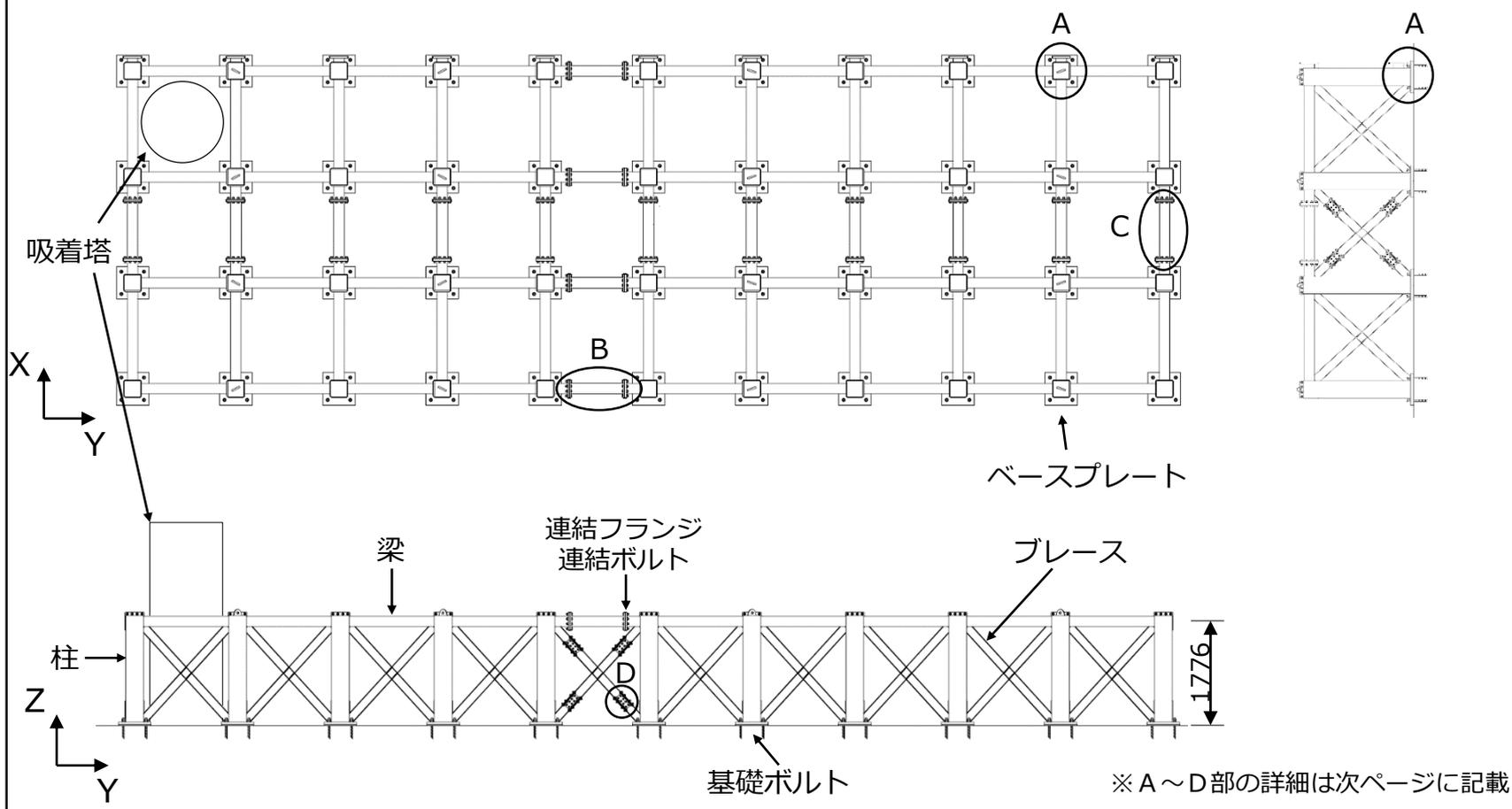


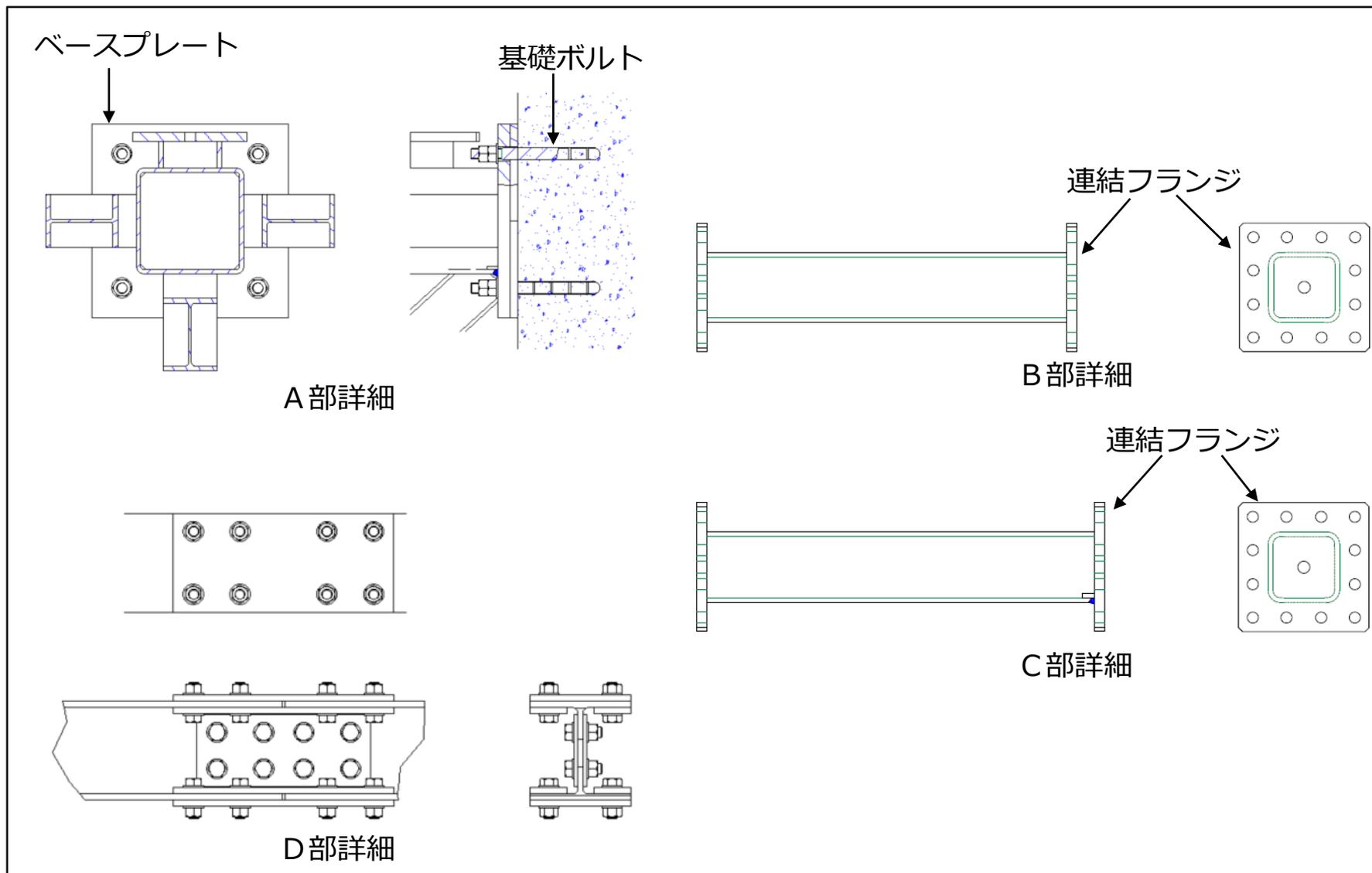
【大型廃棄物保管庫の使用済吸着塔格納配置計画】



保管架台イメージ図

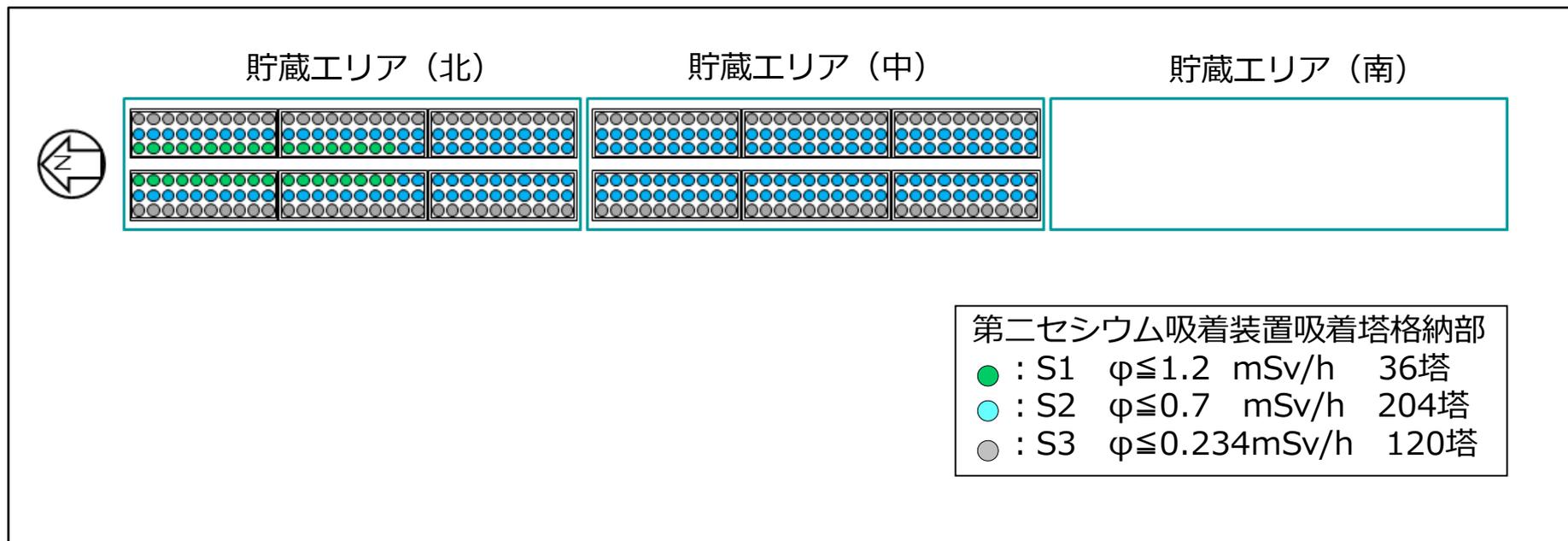
- ・ 保管架台をベースプレートで支持し、各ベースプレートに4本設置されている基礎ボルトで床版に据え付ける構造とする。
- ・ 保管架台本体として梁及び柱は角型鋼管とし、ブレースはH形鋼を使用する。
- ・ 格納する使用済吸着塔は保管架台に積載しない設計とする。
- ・ 柱間全てにブレースを設けており、使用済吸着塔が梁の下から滑り出ない構造とする。





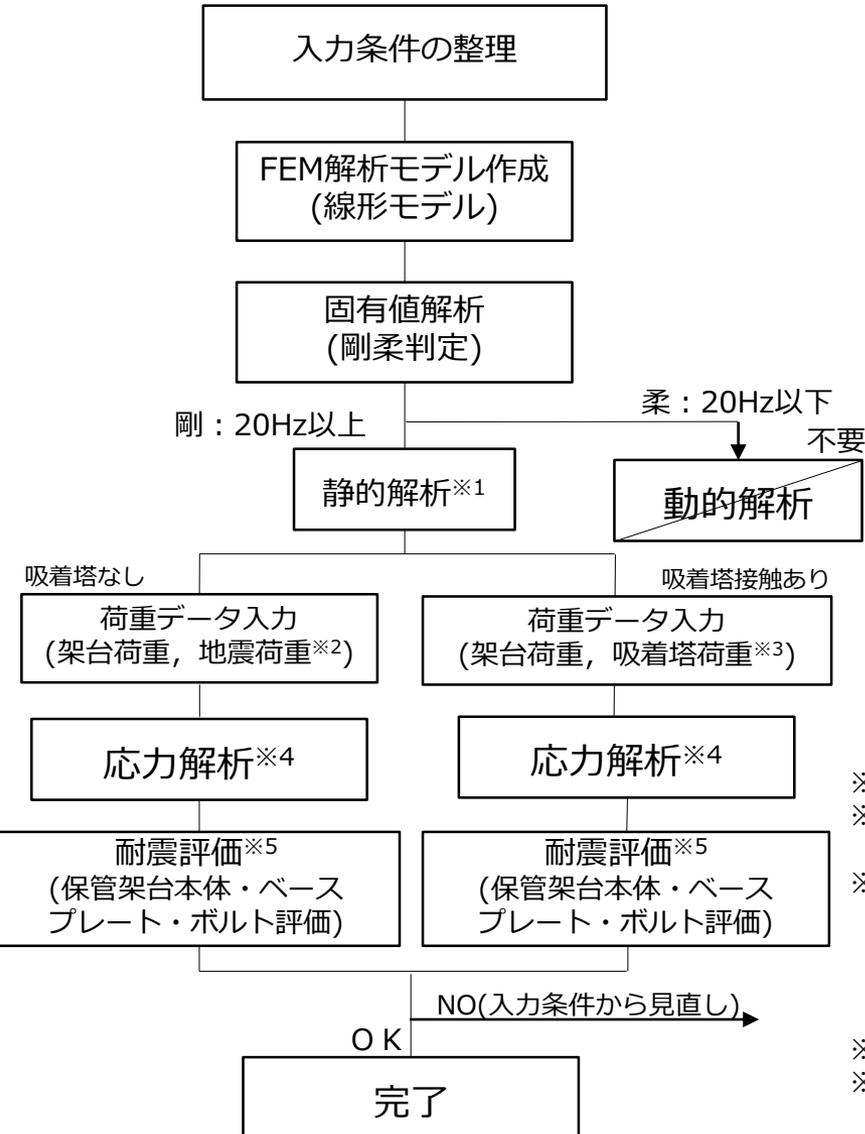
- ・ 保管架台は、大型廃棄物保管庫内の貯蔵エリア(北)(中)に設置する。
- ・ 3×10を1基としており、貯蔵エリア(北)(中)のそれぞれに6基ずつ設置する。
- ・ 1基ずつはそれぞれ独立した構造物である。

配置概要図



保管架台の耐震評価フロー

■ 保管架台 耐震クラス：B+クラス（Ss900による影響評価含む）



- ※1 保管架台の1次固有振動数が剛構造(135Hz)であることから静的解析で実施。
- ※2 地震荷重は、時刻歴床応答加速度の最大値を1.2倍し、建屋の耐震補強による影響を考慮した裕度を持たせる
- ※3 保管架台の耐力評価(地震により使用済吸着塔全数が同一方向に一齐に保管架台と接触した際の評価)を実施する場合は、集中荷重として使用済吸着塔荷重を梁へ入力する。

$$\text{使用済吸着塔荷重} = \text{使用済吸着塔質量} \times \text{地震加速度(上記※2で算出した数値)}$$
 摩擦係数=0
- ※4 計算機コード (Nastran) を使用し、XYZ各方向毎に静的線形解析を実施。
- ※5 解析により算出された荷重をSRSS法にて組み合わせて評価を実施。

保管架台を構成する部材の材料物性ならびに断面特性を以下に示す。
 なお、基礎ボルト及び連結ボルトについてはモデル化しない。

材料物性

部位	部材	材質	縦弾性係数 [N/mm ²]	ポアソン比	降伏点 (Sy) [N/mm ²]	引張強さ (Su) [N/mm ²]
柱	□300×300×12	BCR295※3	200933※1	0.3※2	295	400
梁	□175×175×12	BCR295※3	200933※1	0.3※2	295	400
ブレース	H150×150×7×10	SN400B※4	200933※1	0.3※2	235	400
連結フランジ	□320×320×25	SN400B※4	200933※1	0.3※2	235	400
ベースプレート	□550×550×36	SN490C※4	200933※1	0.3※2	325	490
基礎ボルト	M30	SD345※5	200933※1	0.3※2	345	490
連結ボルト	M24	SCM435※1	202933※1	0.3※2	774	918

※1 JSME 発電用原子力設備規格 材料規格 2012年版

※2 鋼構造設計規準

※3 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

※4 日本規格学会 JISハンドブック2012 鉄鋼Ⅱ G3136

※5 日本規格学会 JISハンドブック2020 鉄鋼Ⅱ G3112

断面特性

断面形状	断面積 [mm ²]	断面 2 次モーメント [mm ⁴]		断面係数 [mm ³]	
		I _y	I _z	Z _y	Z _z
□300×300×12※1	13330	1.81×10 ⁸	1.81×10 ⁸	1.20×10 ⁶	1.20×10 ⁶
□175×175×12※1	7330	3.12×10 ⁷	3.12×10 ⁷	3.56×10 ⁵	3.56×10 ⁵
H150×150×7×10※2	3965	5.63×10 ⁶	1.62×10 ⁷	7.51×10 ⁴	2.16×10 ⁵

※1 日本鉄鋼連盟 製品規定 建築構造用冷間ロール成型角形鋼管 BCR295

※2 日本規格学会 JISハンドブック2021 鉄鋼Ⅱ G3192

使用するボルトの緒元

名称	型式	有効断面積 [mm ²]
基礎ボルト※3	M30	561
連結ボルト※3	M24	353

※3 日本規格協会 JISハンドブック2009 ねじⅠ B1082

保管架台の耐震評価（許容応力）

許容応力は J E A G 4 6 0 1 に基づき下記の評価条件を設定。

許容応力

応力分類 供用状態	許容応力（ボルト等以外）*				許容応力（ボルト等）*	
	一次応力				一次応力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
C _s	1.5・ft	1.5・fs	1.5・fc	1.5・fb	1.5・ft	1.5・fs

注記 *：応力の組合せが考えられる場合は、組合せ応力に対しても評価を行う。

本評価では、保管架台の破損による、使用済吸着塔への間接支持機能を失わないことを確認するため、許容値算定に用いる基準強度（F値）については、設計引張強さ（Su）とする。

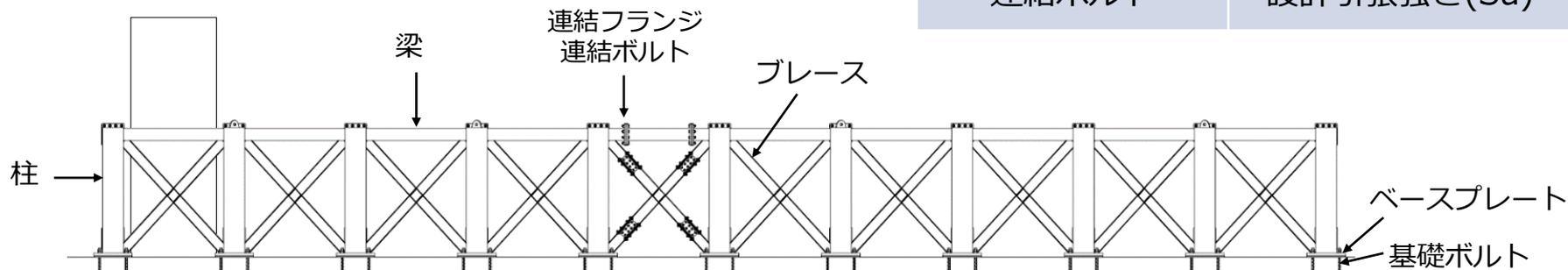
なお、基礎ボルトについては、AIJに記載の試験データ※により算出した値を評価に用いているため、基準強度（F値）については設計降伏点（Sy）とする。

※Syを使用して算出した計算値と、実際の試験結果の比較により妥当性を確認

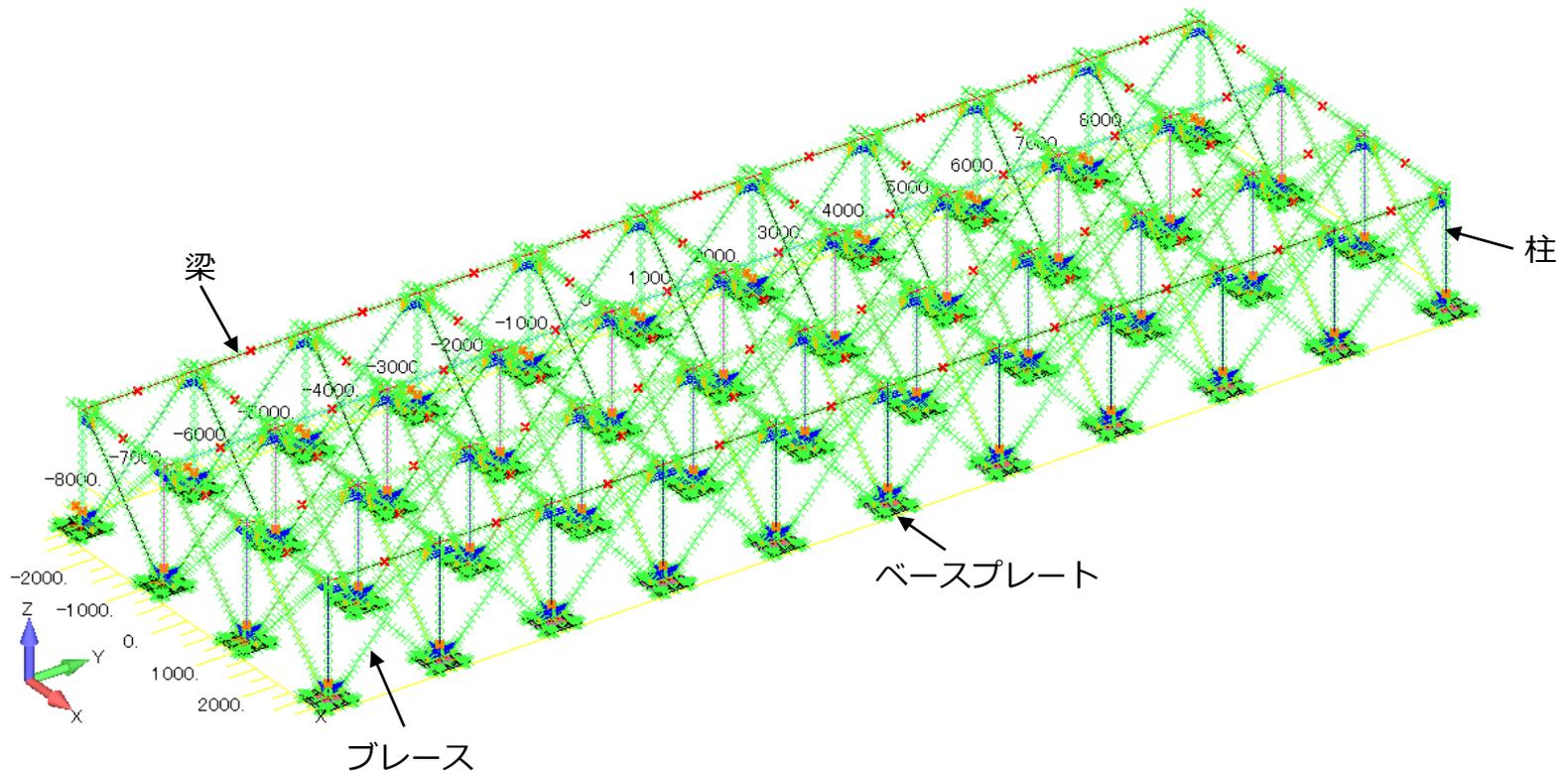
設計基準強度の使い分けについて

- ▶ 保管架台本体においては、地震時あるいは使用済吸着塔の接触により、梁や柱が破断することによって、使用済吸着塔の間接支持機能が実力的に失われないことを確認するため、Su値を用いて評価する。
- ▶ 保管架台を固定する基礎ボルトにおいては、塑性変形を考慮してしまうと引抜強度が低下し、保管架台を固定できなくなることから、AIJに基づきSy値を用いて評価する。

部位	設計基準強度
柱	設計引張強さ(Su)
梁	設計引張強さ(Su)
ブレース	設計引張強さ(Su)
ベースプレート	設計引張強さ(Su)
基礎ボルト	設計引張強さ(Su)
	設計降伏点(Sy)
連結ボルト	設計引張強さ(Su)



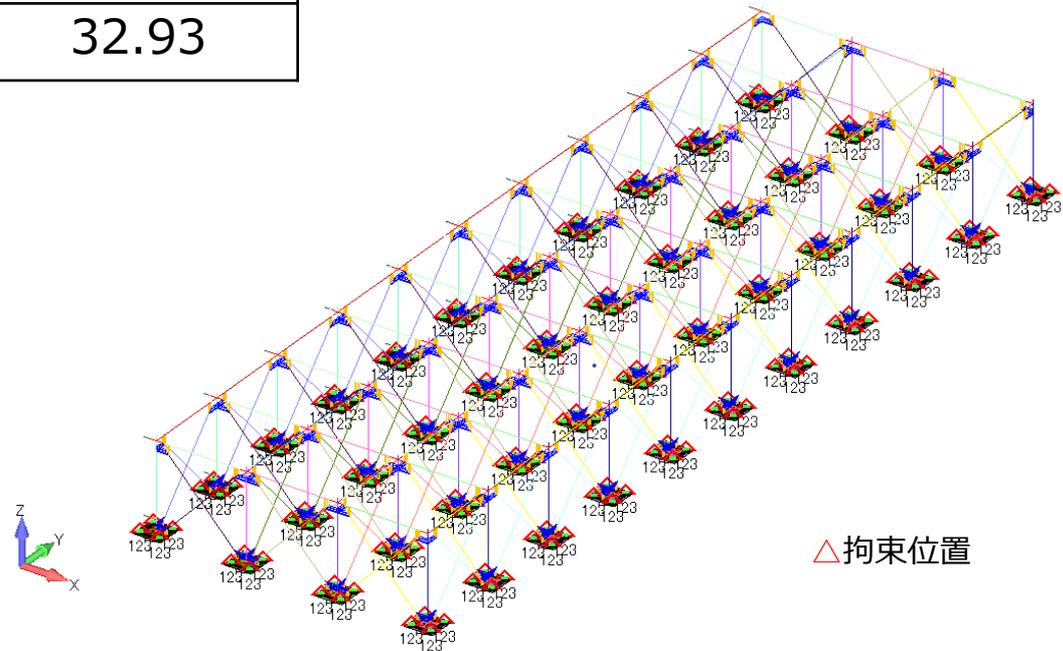
- 解析モデルは、保管架台のみ固有値解析を実施することを目的としてモデル化。
- 保管架台の鋼材は、断面形状に基づき断面特性を設定したはり要素でモデル化。
- 床版に固定するベースプレートは板要素でモデル化するが、基礎ボルト及び保管架台同士を連結する連結ボルトはモデル化しない。



保管架台の耐震評価（固有値解析条件）

- ▶ 保管架台の質量として、保管架台本体を考慮するものとし、使用済吸着塔は床版に静置することから考慮しない。
- ▶ 拘束条件として、保管架台の基礎ボルト取付位置の自由度を3方向拘束とする。

名称	合計質量 (ton)
使用済吸着塔保管架台	32.93

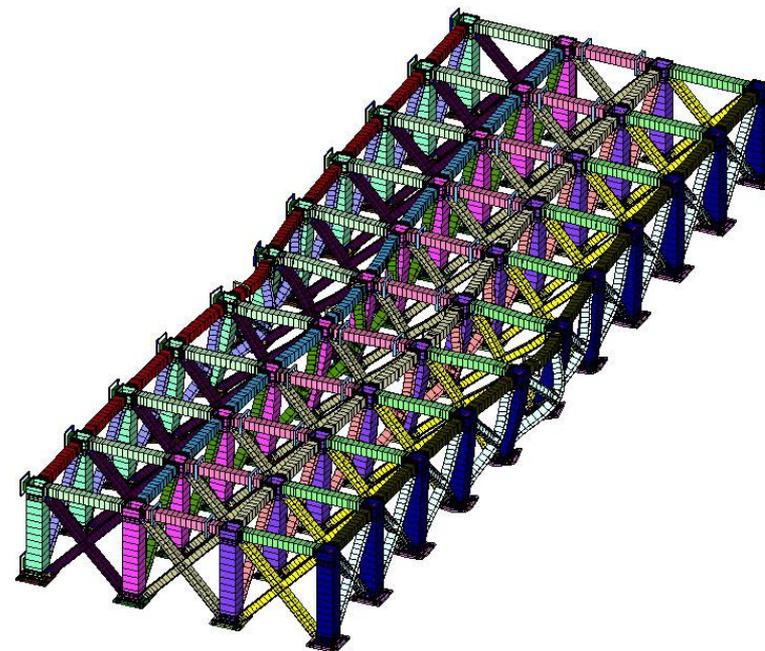


拘束位置図

- 固有値解析結果を以下に示す。解析の結果，1次固有振動数が20Hz以上であり，剛構造であることを確認した。

固有値解析結果

次数	固有振動数 [Hz]	固有周期 [s]
1	135.7	0.0074



1次固有振動モード図 全体水平1次

保管架台の耐震評価（計算に用いる地震動）

<変更なし>

17

- 保管架台の評価では、1次固有振動数が20Hz以上となることから、静的震度にて評価を行う。
- 静的震度は、建屋補強前のSs900床応答時刻歴加速度からの最大加速度抽出し、1.2ZPAの1.2倍（建屋の耐震補強による影響を考慮した裕度）した値を使用する。

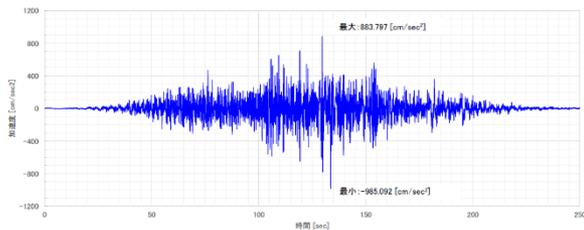
【計算に用いる地震加速度】

水平震度：1.45 [G]

鉛直震度：0.98 [G]

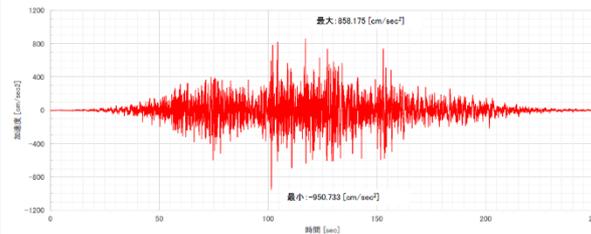
Ss900-1

NS



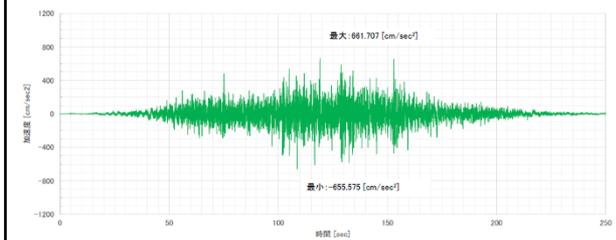
最大加速度：985.092[cm/sec²]

EW



最大加速度：950.733[cm/sec²]

UD



最大加速度：661.707[cm/sec²]

保管架台の耐震評価（応力の評価方法）

J S M E S NC-1に基づき許容応力を算定

（基礎ボルト組合せのみ日本建築学会（AIJ）各種合成構造設計指針・同解説に基づき算定）

部位	使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)
保管架台本体	BCR295 SN400B	引張	400
		せん断	230
		圧縮*	366
		曲げ*	392
		組合せ (引張+曲げ)	$\frac{\sigma_t + {}_t\sigma_b}{1.5f_t} \leq 1$ かつ $\frac{{}_c\sigma_b - \sigma_t}{1.5f_b} \leq 1$
		組合せ (圧縮+曲げ)	$\frac{\sigma_c}{1.5f_c} + \frac{{}_c\sigma_b}{1.5f_b} \leq 1$ かつ $\frac{{}_t\sigma_b - \sigma_c}{1.5f_t} \leq 1$
ベースプレート	SN490C	引張	490
連結ボルト	SCM435	引張	918
		せん断	530
基礎ボルト	SD345	引張	490
		せん断	282
		組合せ (AIJ)	$\left(\frac{p}{p_a}\right)^2 + \left(\frac{q}{q_a}\right)^2 \leq 1$

※解析結果にて最大応力発生部位となった箇所の許容応力のみ記載

f_c : 許容圧縮応力, f_b : 許容曲げ応力, f_t : 許容引張応力
 σ_c : 圧縮応力, σ_t : 引張応力, ${}_c\sigma_b$: 圧縮曲げ応力, ${}_t\sigma_b$: 引張曲げ応力
 p : 発生引張力, p_a : 許容引張力, q : 発生せん断力, q_a : 許容せん断力

保管架台の耐震評価（構造強度に対する検討）

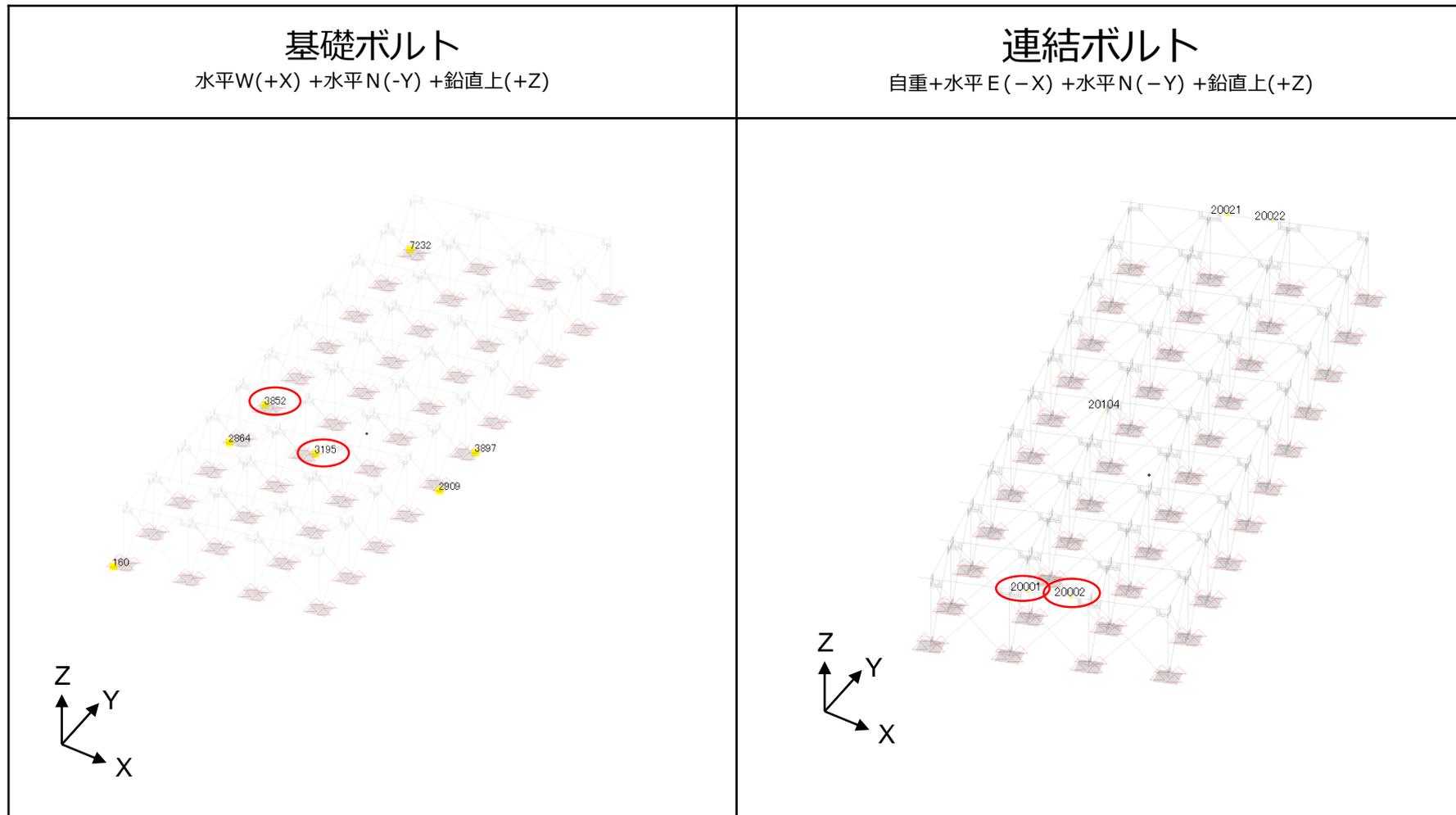
- 地震応答解析により、計算モデル(14スライド)における部材応力最大位置から得られる応力が、許容応力の範囲内であることを確認することで強度評価を行う。
- 17スライドに示す加速度を用いて解析を行い、解析結果から得られた部材応力最大位置ごとの応力値を比較し、最も厳しい部位について評価を行う。
- 解析手法は、保管架台の1次固有振動数が20Hz以上であり剛構造であることから、静的線形解析にて行う。
- 部材の応力評価として、水平2方向と鉛直方向それぞれに解析を行い、次式に示すSRSS法と自重による応力の絶対値との和により応力値を計算する。

$$\sigma = |\text{自重による応力}| + \sqrt{\left(\begin{array}{c} \text{水平(NS)方向} \\ \text{地震荷重の応力} \end{array} \right)^2 + \left(\begin{array}{c} \text{水平(EW)方向} \\ \text{地震荷重の応力} \end{array} \right)^2 + \left(\begin{array}{c} \text{鉛直方向} \\ \text{地震荷重の応力} \end{array} \right)^2}$$

【応力計算式】

引張応力	: $\sigma_t = N/A$	A : 断面積
せん断応力	: $\tau = Q/As$	As : せん断断面積
曲げ応力	: $\sigma_b = M/Z$	M : 曲げモーメント
圧縮応力	: $\sigma_c = N/A$	N : 軸力
		Q : せん断応力
		Z : 断面係数

部材応力最大位置



※方位として、(+X)は西(W)、(+Y)は南(S)を示す。

※図に記載の数字は接点番号を示す。

保管架台本体・ベースプレートの評価結果

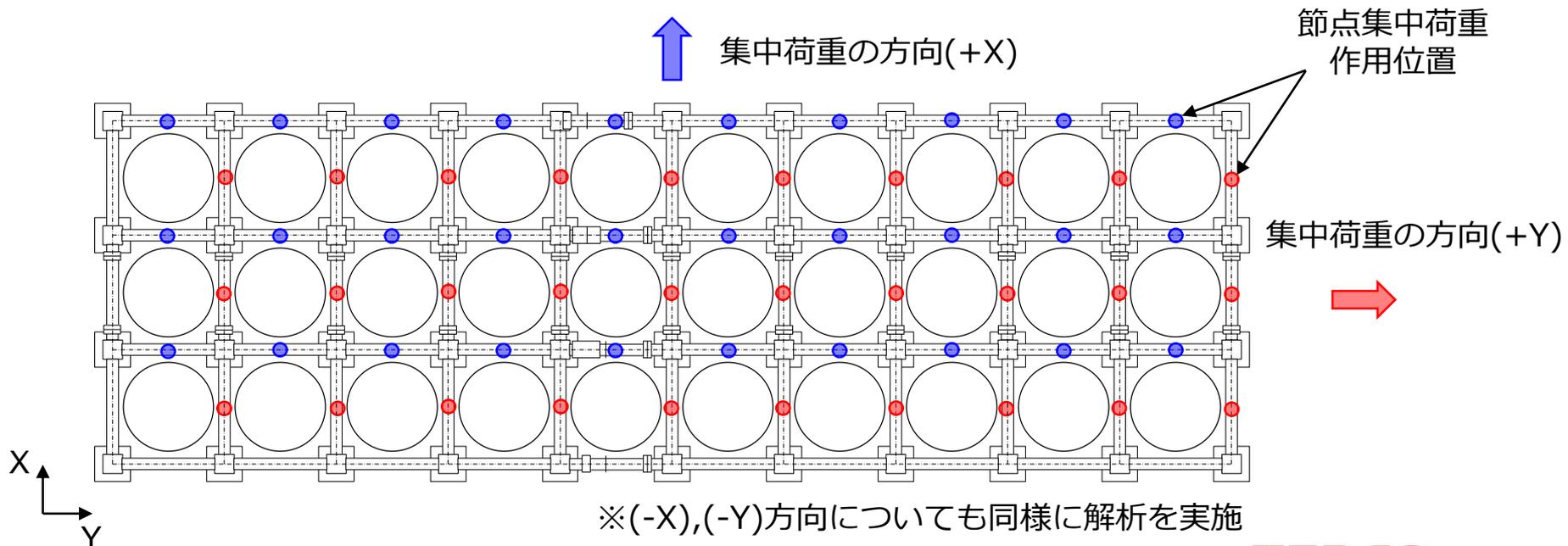
対象	評価項目	評価部位	算出値（最大値）	許容応力	単位
保管架台本体	引張	ブレース	1.59	400	MPa
	せん断	ブレース	1.69	230	MPa
	圧縮	ブレース	1.82	366	MPa
	曲げ	ブレース	2.21	392	MPa
	評価項目	評価部位	算出値	許容値	単位
	組合せ (引張+曲げ)	ブレース	0.01	1.0	-
		ブレース	0.01	1.0	-
	組合せ (圧縮+曲げ)	ブレース	0.01	1.0	-
ブレース		0.01	1.0	-	
対象	評価項目	評価部位	算出値（最大値）	許容応力	単位
ベースプレート	組合せ	-	8.50	490	MPa

基礎ボルト・連結ボルトの評価結果

対象	評価項目	算出値（最大値）	許容応力	単位
基礎ボルト	引張	7.15	490	MPa
	せん断	8.37	282	MPa
	組合せ	0.01	1.0	-
連結ボルト	引張	0.23	918	MPa
	せん断	0.34	530	MPa

保管架台の耐力評価（評価条件）

- 地震加速度を使用する解析の他，使用済吸着塔が保管架台に接触した際の影響を確認するため，使用済吸着塔の種類と重心高さを考慮し，最も厳しい条件の節点集中荷重を梁の中央へ作用させる解析を行う。
- 保管架台への保管が想定される使用済吸着塔のうち，質量及び重心高さが最も厳しい高性能多核種除去設備吸着塔（ステンレス製）が，30基保管されている状態で一斉に梁に接触する条件とする。
- 水平2方向それぞれに静的線形解析を行い，解析結果から得られた部材応力最大位置ごとの応力値を比較し，最も厳しい部位について評価を行う。
- 使用済吸着塔底面と床版との接地面は摩擦係数0として評価する。



保管架台の耐力評価（評価条件）

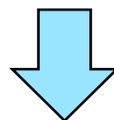
使用済吸着塔と保管架台の接触に対する評価にあたっては、地震時における使用済吸着塔の滑りあるいは転倒挙動を把握する必要があるが、環境条件（吸着塔底面の錆、床面の状況（結露の発生等）等）によって床版との摩擦係数が変わってくるため、一概に挙動を示すこと難しい。

上記理由から、使用済吸着塔が保管架台横梁に接触することを模擬するため、水平方向加速度（1.45G）を使用済吸着塔へ入力した際に発生する荷重を保管架台横梁に集中荷重として作用させるものとする。

（解析原理としては、静置された使用済吸着塔と床版との摩擦係数を保守的に0とするため、地面が揺れた場合でも使用済吸着塔は滑って動かず、床版に固定された保管架台が使用済吸着塔へ接触していく原理となるが、今回のモデルは前述の事象に等置であると考え。）

なお、集中荷重が作用するのは、接触時の一瞬のみである（吸着塔の重心位置と梁高さの関係性から乗り上げることは考えにくい。）ことから、保管架台の固有値には影響は与えないものとする。

- ▶ 大型廃棄物保管庫に設置する保管架台については、一時保管施設で使用されている保管架台と構造が異なり、使用済吸着塔を床版に直置きする構造としている。また、使用済吸着塔は、保管架台に固定されていないため、仮に使用済吸着塔保管位置を梁との接する位置にした場合でも、使用済吸着塔の自重が保管架台に作用しないため、解析モデルでは、使用済吸着塔の質量は付与しないものとしている。
- ▶ 使用済吸着塔と梁の接触時、接触位置を中心に使用済吸着塔が回転することによって梁に乗り上げることも考えられるが、使用済吸着塔の重心位置と保管架台梁の位置関係は、保管が想定される使用済吸着塔すべての重心位置より高い位置に保管架台の梁高さを設定している。
- ▶ 保管架台耐力評価モデルについては、使用済吸着塔が固定されていないため、滑動により保管架台の梁に接触するが、保管架台単体が剛であること、また接触は瞬間的なものであることから、保管架台の固有値には影響を与えないものとする。
※ポンプ等のインパクトハンマーを使用した打撃試験による固有振動数測定においては、インパクトハンマーの質量は考慮しないため、これと同じ考えである。



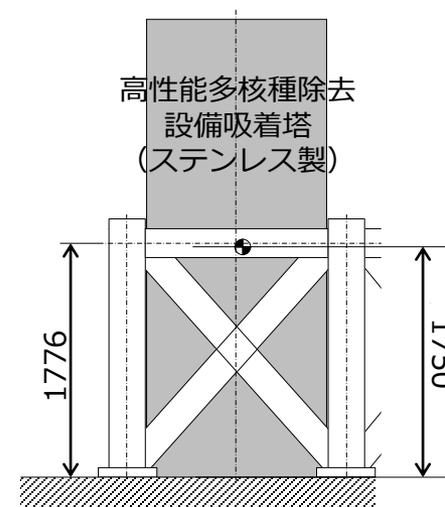
- ▶ よって、今回実施している保管架台耐力評価における使用済吸着塔と保管架台の相互作用として、解析モデルを用いた評価は、水平加速度を作用させた使用済吸着塔の外力は考慮するものの、固有値解析上は連成しないものであるため、保管架台の固有値解析上は、使用済吸着塔の質量（外力）を考慮しないものとしている。

吸着塔の種類	重心 [mm]	質量 [ton]	梁の中心高さ [mm]	地震 加速度 [G]	集中 加重 [N]
高性能多核種除去 設備吸着塔 (ステンレス製)	1750	28.5	1776	1.45	405259.81

- 保管架台の梁は1本のため、使用済吸着塔が地震時に接触するのはその梁のみとなる。
よって、使用済吸着塔の質量に地震加速度1.45[G]が掛かった際、梁に掛かる力Pは、

$$P = 28.5 \times 9806.65 \times 1.45 = 405259.81 \text{ [N]}$$

となる。



保管架台の耐力評価（応力の評価方法）

J S M E S NC-1に基づき許容応力を算定

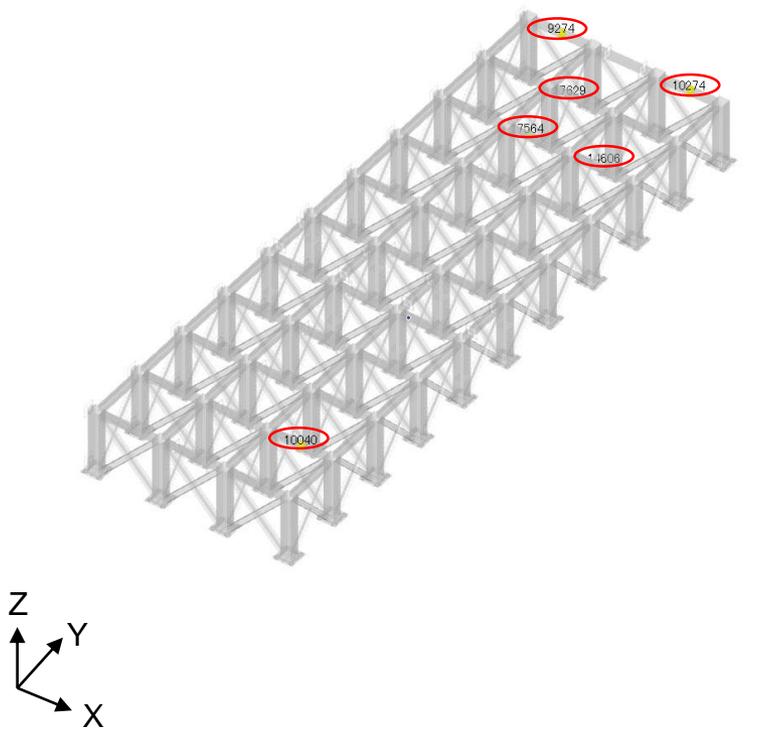
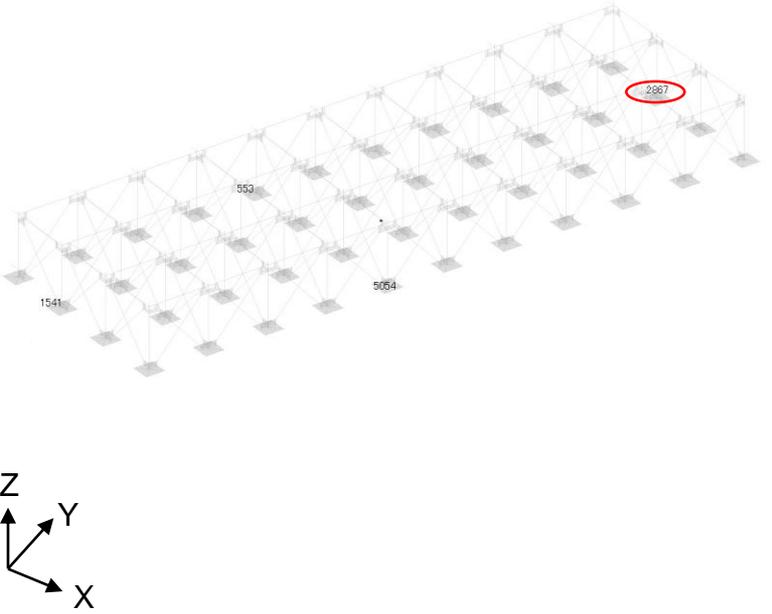
（基礎ボルト組合せのみ日本建築学会（AIJ） 各種合成構造設計指針・同解説に基づき算定）

部位	使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)
保管架台本体	BCR295 SN400B	引張	400
		せん断	230
		圧縮*	369
		曲げ*	400
		組合せ (引張+曲げ)	$\frac{\sigma_t + {}_t\sigma_b}{1.5f_t} \leq 1$ かつ $\frac{{}_c\sigma_b - \sigma_t}{1.5f_b} \leq 1$
		組合せ (圧縮+曲げ)	$\frac{\sigma_c}{1.5f_c} + \frac{{}_c\sigma_b}{1.5f_b} \leq 1$ かつ $\frac{{}_t\sigma_b - \sigma_c}{1.5f_t} \leq 1$
ベースプレート	SN490C	引張	490
連結ボルト	SCM435	引張	918
		せん断	530
基礎ボルト	SD345	引張	490
		せん断	282
		組合せ (AIJ)	$\left(\frac{p}{p_a}\right)^2 + \left(\frac{q}{q_a}\right)^2 \leq 1$

※解析結果にて最大応力発生部位となった箇所の許容応力のみ記載

f_c : 許容圧縮応力, f_b : 許容曲げ応力, f_t : 許容引張応力
 σ_c : 圧縮応力, σ_t : 引張応力, ${}_c\sigma_b$: 圧縮曲げ応力, ${}_t\sigma_b$: 引張曲げ応力
 p : 発生引張力, p_a : 許容引張力, q : 発生せん断力, q_a : 許容せん断力

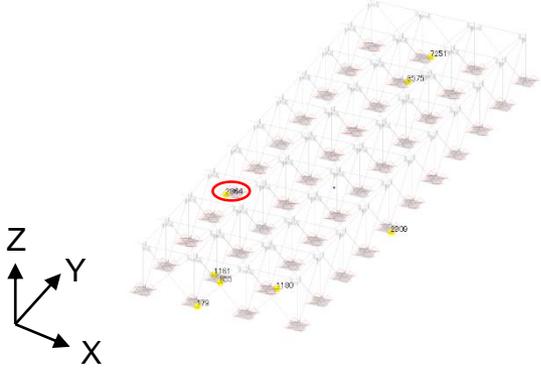
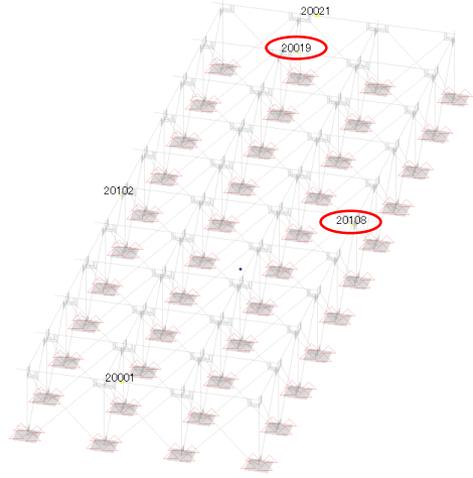
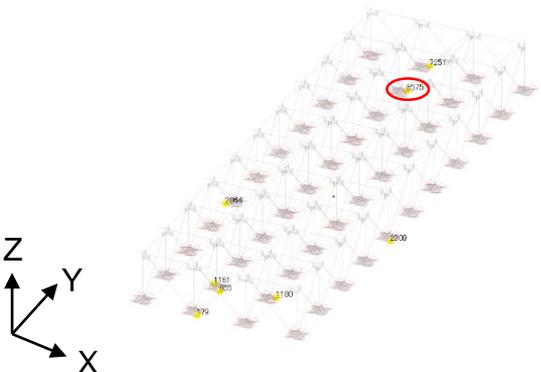
➤ 部材応力最大位置

<p>保管架台本体 自重+吸着塔衝突荷重 S (+Y)</p>	<p>ベースプレート 自重+吸着塔衝突荷重 S (+Y)</p>
	

※方位として, (+X)は西(W), (+Y)は南(S)を示す。

※図に記載の数字は接点番号を示す。

部材応力最大位置

基礎ボルト	連結ボルト
吸着塔衝突荷重W(+X)	自重+吸着塔衝突荷重W(+X)
	
吸着塔衝突荷重S(+Y)	
	

※方位として, (+X)は西(W), (+Y)は南(S)を示す。

※図に記載の数字は接点番号を示す。

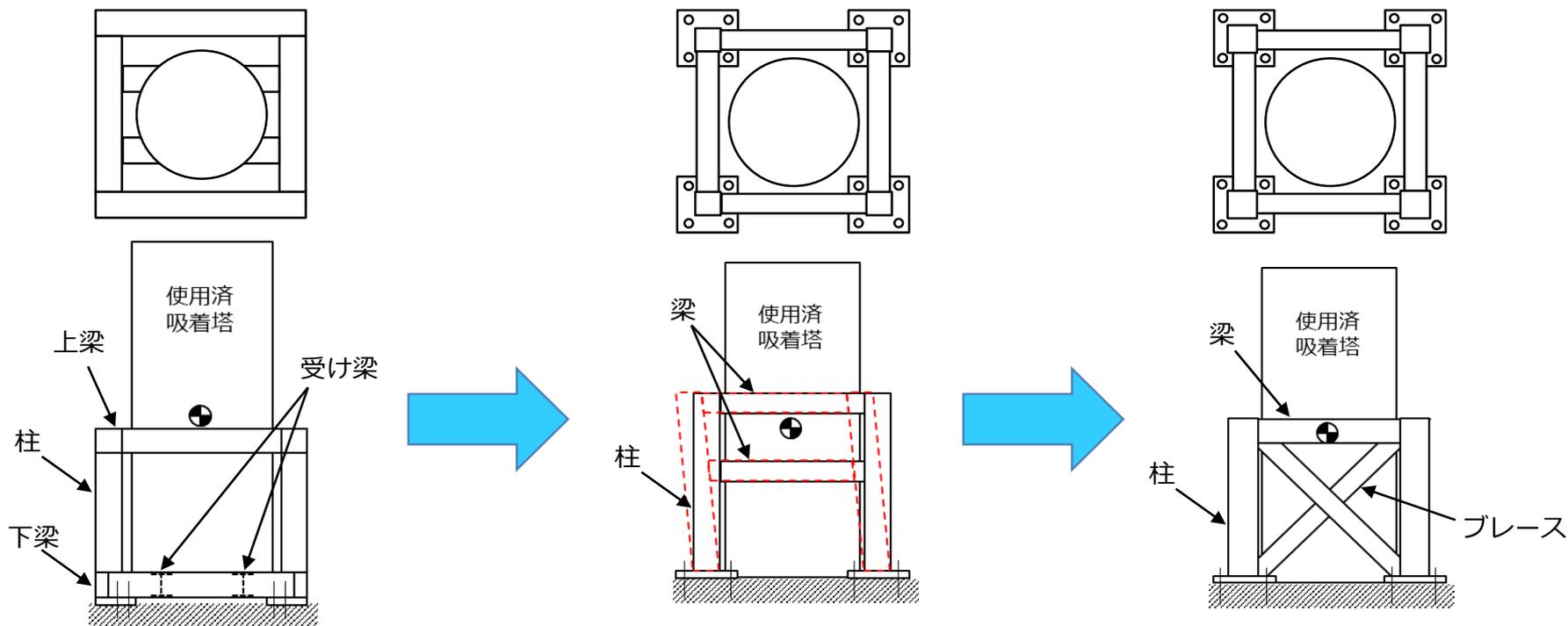
保管架台の耐力評価（評価結果）

保管架台本体・ベースプレートの評価結果

対象	評価項目	評価部位	算出値（最大値）	許容応力	単位
保管架台本体	引張	ブレース	79.09	400	MPa
	せん断	ブレース	71.60	230	MPa
	圧縮	ブレース	73.84	369	MPa
	曲げ	梁	206.11	400	MPa
	評価項目	評価部位	算出値	許容値	単位
	組合せ (引張+曲げ)	梁	0.53	1.0	-
		梁	0.50	1.0	-
	組合せ (圧縮+曲げ)	梁	0.52	1.0	-
梁		0.52	1.0	-	
対象	評価項目	評価部位	算出値（最大値）	許容応力	単位
ベースプレート	組合せ	-	210.91	490	MPa

基礎ボルト・連結ボルトの評価結果

対象	評価項目	算出値（最大値）	許容応力	単位
基礎ボルト	引張	179.21	490	MPa
	せん断	213.58	282	MPa
	組合せ	0.91	1.0	-
連結ボルト	引張	34.83	918	MPa
	せん断	47.96	530	MPa



従来型は、吸着塔の屋外保管時に、雨水による吸着塔底部の腐食を防止する観点から、保管架台の受け梁に積載する構造としていた。

大型廃棄物保管庫の設置により吸着塔が屋内保管となることで、雨水による影響を受けないことから、床版に直置きする構造へ変更。また、吸着塔の接触時に吸着塔が大きく傾くことがないように、格納が想定される吸着塔の重心高さを包絡する位置に梁高さを見直し梁を追加。

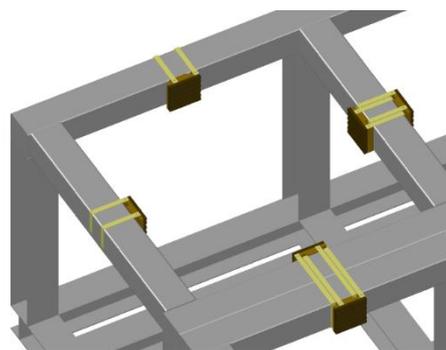
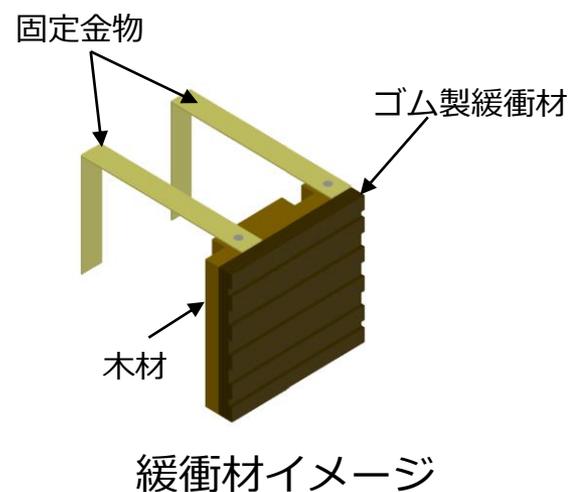
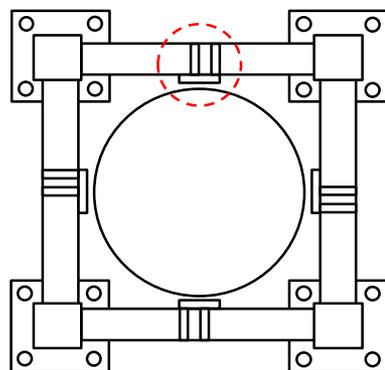
しかし、梁に吸着塔が接触することで柱にモーメントが作用し、このモーメントにより基礎ボルトに作用する引張荷重が大きく、多数の基礎ボルトが許容限界を超えてしまった。

吸着塔の接触により柱に発生する変位角及びモーメントを低減させることを目的としてブレースを追加することにより、基礎ボルトに作用する引張荷重を低減。

※重心位置が最も高い高性能多核種除去設備吸着塔（ステンレス製）

(参考) 保管架台及び使用済吸着塔の接触防止対策について

- 使用済吸着塔が保管架台に接触した際の評価を行う場合、格納する使用済吸着塔はフリースタANDINGであるため、滑動あるいは転倒の挙動を把握する必要があるが、使用済吸着塔の種類に応じ解析ケースが増加し、時間を要してしまう。
- そのため、使用済吸着塔が地震等の影響により、保管架台に接触する可能性があるため、保管架台へ緩衝材を取付けることで、使用済吸着塔の滑動あるいは転倒挙動を軽減する。



緩衝材取付イメージ

大型廃棄物保管庫のクレーン耐震評価 (Ss900) について

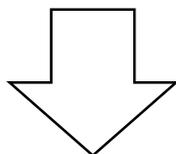
2022年11月8日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

クレーンの耐震評価（概要）

- 保管する使用済吸着塔はインベントリが大きく、「地震により安全機能を失った際の公衆への被ばく影響」を考慮すると、大型廃棄物保管庫は耐震Sクラスとなる。
- クレーンは、インベントリの大きい使用済吸着塔を運搬する設備であり、地震時において転倒、破損あるいはトロリの落下により使用済吸着塔に波及的影響*を及ぼす可能性がある。

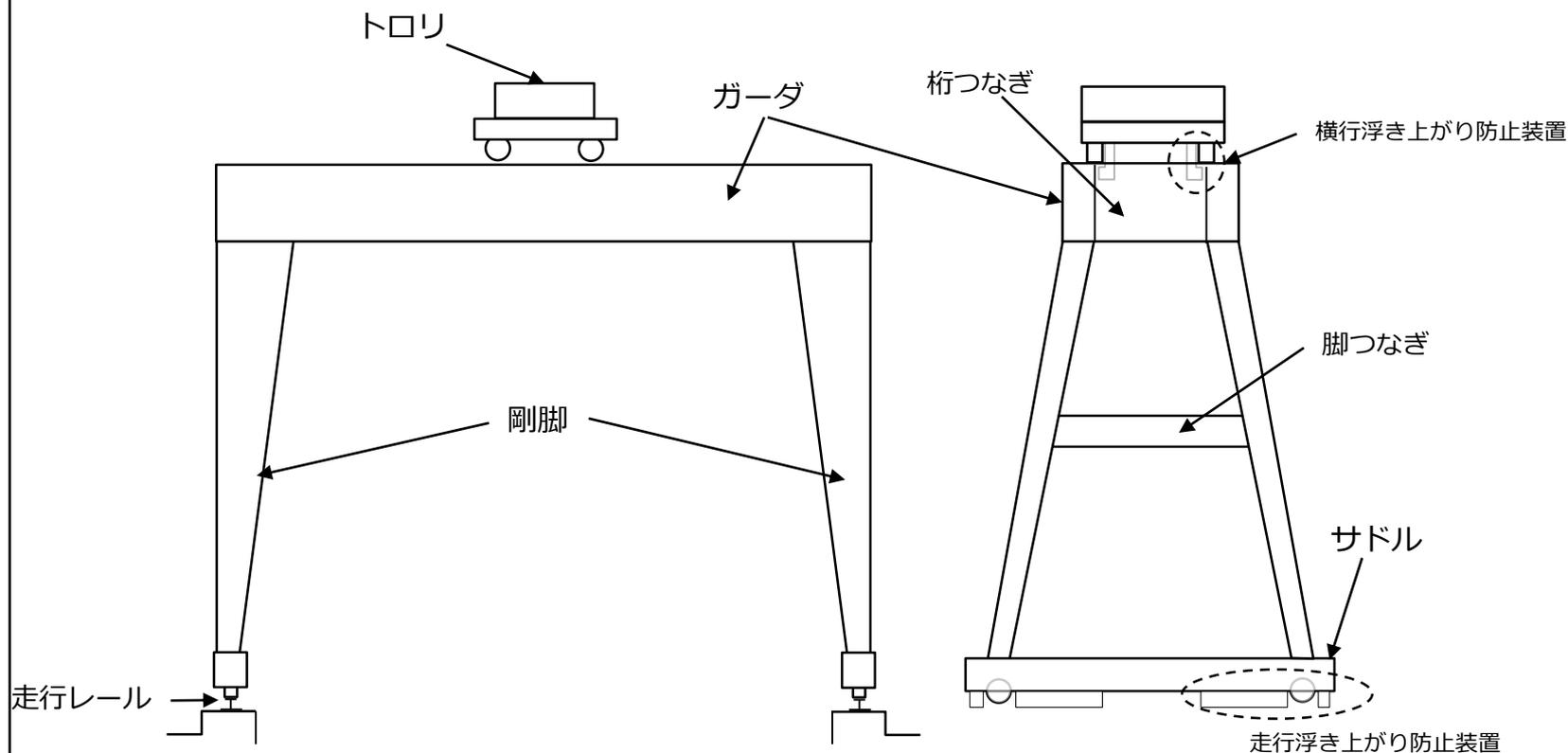


クレーンの耐震評価では、S s 9 0 0にて使用済吸着塔に
波及的影響*を及ぼさないことを確認する

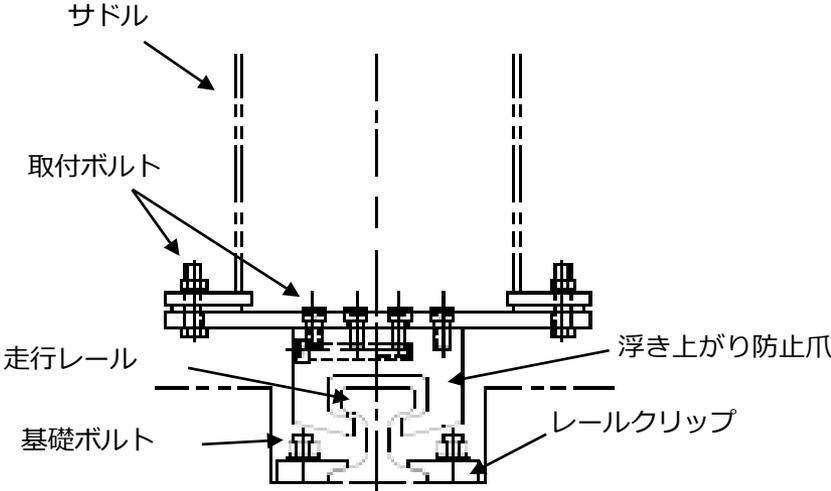
* 「波及的影響」を、使用済吸着塔を損傷させ、吸着材を漏洩させるような影響（使用済吸着塔が凹む等の吸着材が漏洩しない損傷を除く）と定義する。

クレーンの耐震評価（構造概要）

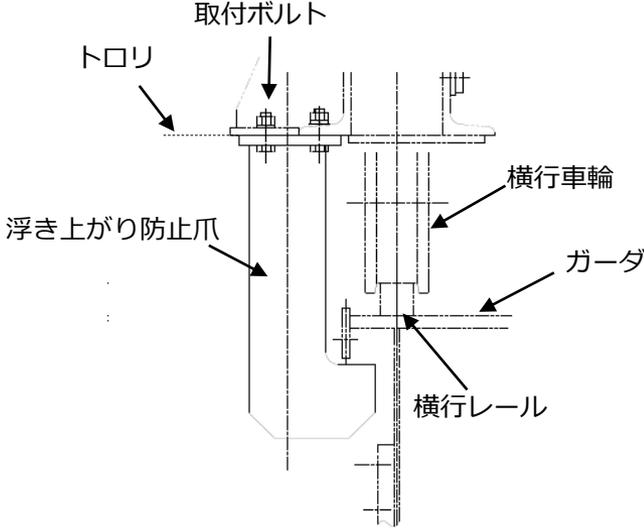
- ・クレーンは大型廃棄物保管庫に設置された走行レールにより支持し、走行レールは基礎ボルトにて床版に固定する。
- ・トロリは、クレーン横行レールにより支持する。
- ・クレーンは、両脚ともに剛脚とする。
- ・クレーン及びトロリの浮き上がり・転倒を防止するため、浮き上がり防止装置を取り付ける。



クレーンの耐震評価（構造概要）

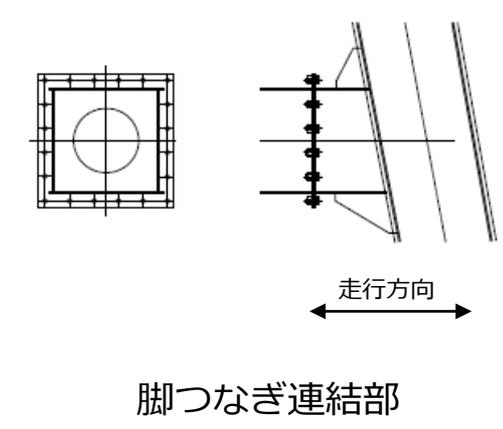
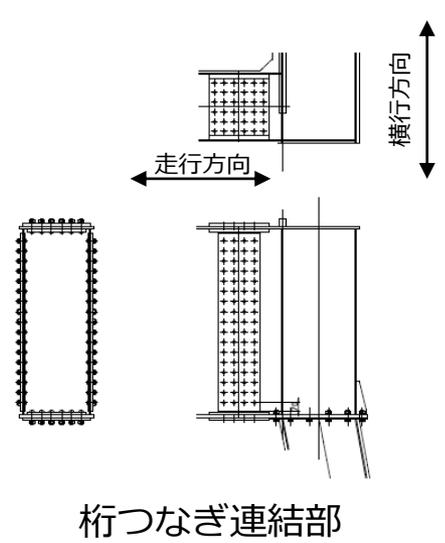
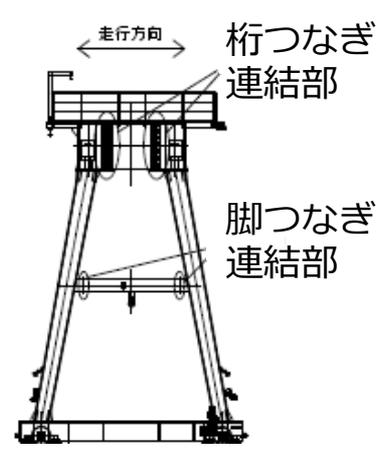
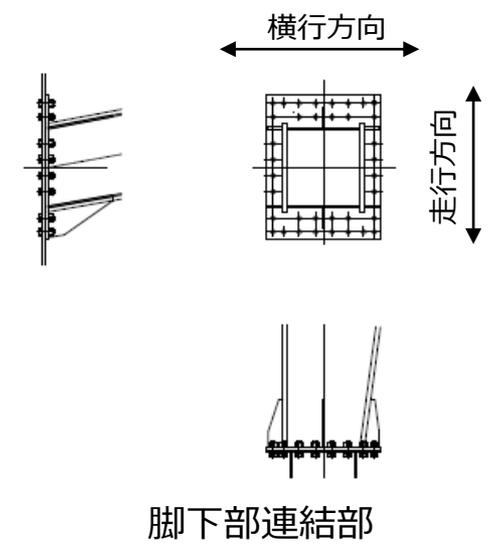
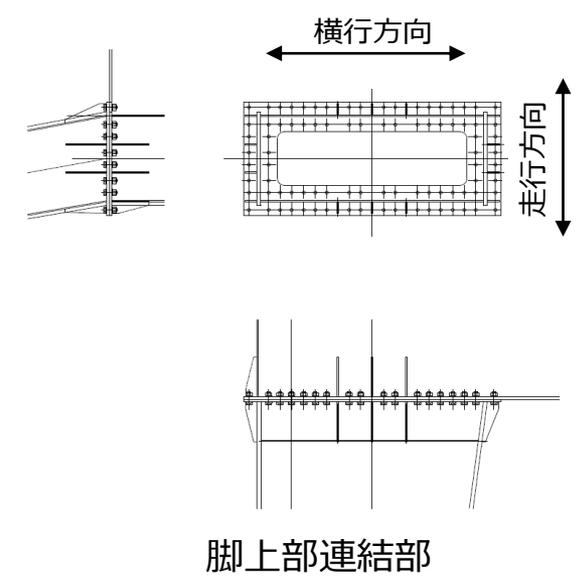
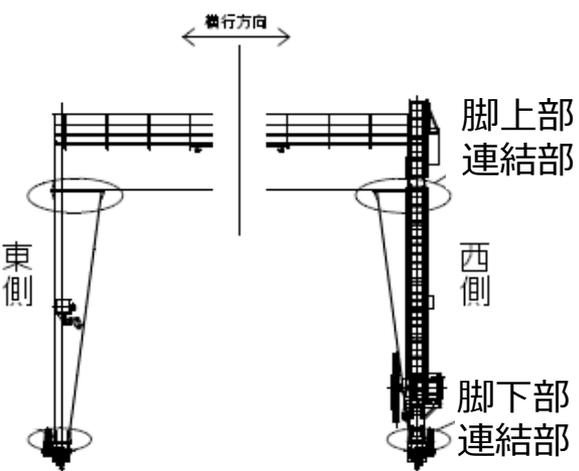


走行浮き上がり防止装置



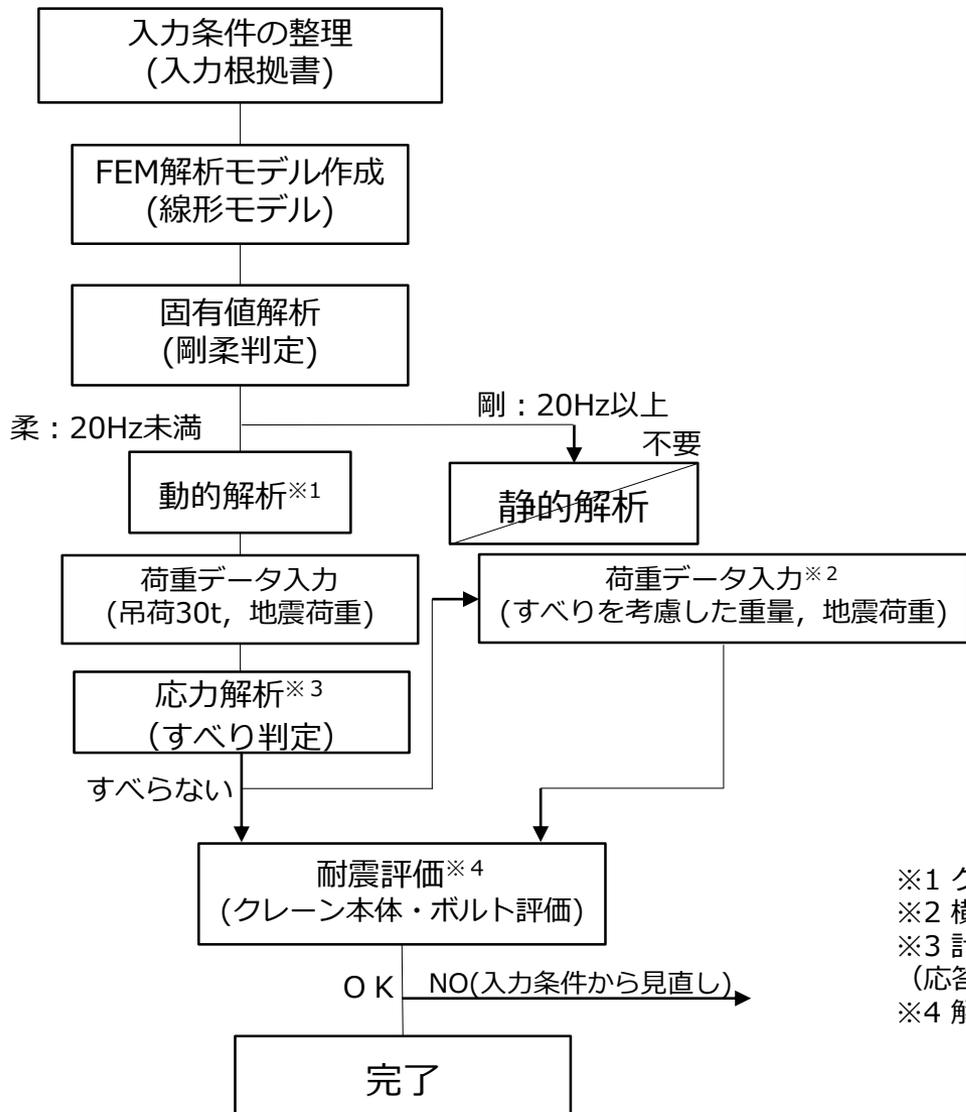
横行浮き上がり防止装置

クレーンの耐震評価（構造概要）



クレーンの耐震評価（評価フロー）

■ クレーン 耐震クラス：B+クラス（Ss900による影響評価含む）



- ※1 クレーン1次固有振動数が柔構造であることから動的解析で実施。
- ※2 横行/走行レール部のすべりを考慮。すべる箇所は重量×0.3で再評価
- ※3 計算機コード（Nastran）を使用し，自重（静解析），XYZ各方向の加振（応答スペクトル解析を実施）
- ※4 解析により算出された荷重をSRSS法にて組み合わせて評価を実施。

クレーンの耐震評価（材料物性）

➤ クレーンを構成する部材の材料物性ならびに断面特性を以下に示す。

部位	材質	周囲環境温度 [°C]	ポアソン比
ガーダ	SM570	54	0.3
桁つなぎ	SM570	54	0.3
脚	SM570	54	0.3
脚つなぎ	SM570	54	0.3
サドル	SM570	54	0.3
走行浮き上がり防止爪	SS400	54	0.3
走行浮き上がり防止爪取付ボルト	12.9T	54	0.3
	8.8T	54	0.3
横行浮き上がり防止爪	SM570	54	0.3
横行浮き上がり防止爪取付ボルト	12.9T	54	0.3
連結ボルト	F10T	54	0.3
	S10T	54	0.3
走行レールクリップ	FCD450	54	0.3
	SS400	54	0.3
走行レール基礎ボルト	SS400	54	0.3

クレーンの耐震評価（断面特性）

断面特性

部材名	縦弾性係数 [N/mm ²]	断面積 [cm ²]	せん断断面積 [cm ²]		断面係数 [cm ³]		ねじり断面係数 [cm ³]	
			I _y	I _z	Z _y	Z _z	Z _y	Z _z
ガーダ	201000	678.5						
桁つなぎ	201000	622						
脚上部	201000	786.56						
脚下部	201000	414.56						
脚つなぎ	201000	239.76						
サドル	201000	352.32						

使用するボルトの緒元

名称	型式	断面積 [mm ²]
走行浮き上がり防止爪取付ボルト	M20	314
横行浮き上がり防止爪取付ボルト	M20	314
連結ボルト	M24	452
走行レール基礎ボルト	M24	452

クレーンの耐震評価（荷重の組合せと許容限界）

▶ 許容限界は J E A G 4 6 0 1 に基づき下記の評価条件を設定。

許容限界

応力分類 供用状態	許容限界（ボルト等以外）*				許容限界（ボルト等）*	
	一次応力				一次応力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
C _S	1.5・ft	1.5・fs	1.5・fc	1.5・fb	1.5・ft	1.5・fs

注記 *：応力の組合せが考えられる場合は，組合せ応力に対しても評価を行う。

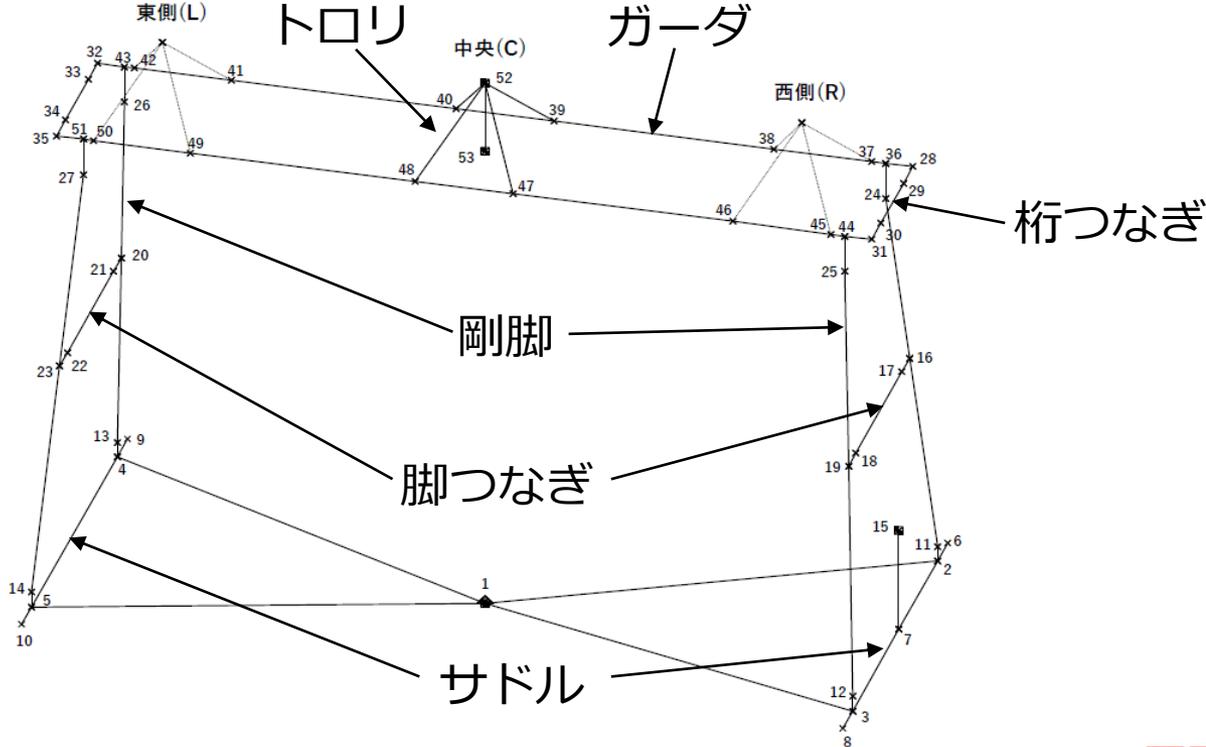
本評価ではクレーンの倒壊や転倒，トロリの落下による使用済吸着塔への波及的影響の有無を確認するため，許容値算定に用いる基準強度（F値）については，設計引張強さ（Su）とする。

なお，走行レール基礎ボルトについては，AIJに記載の試験データ※により算出した値を評価に用いているため，基準強度（F値）については設計降伏点（Sy）とする。

※Syを使用して算出した計算値と，実際の試験結果の比較により妥当性を確認

クレーンの耐震評価（解析モデル）

- クレーンの鋼材は、断面形状に基づき断面特性を設定した3次元ワイヤーフレームモデルとする。
- ガーダ上のトロリ位置は、中央及び両端部にある場合の3モデルを作成。
- トロリの質量は、重心位置が不明であるためトロリ中心の頂部に設定し、吊り荷はガーダ中心高さと同じレベルでトロリに吊られていると仮定しモデル化。
なお、吊荷の振れは評価上考慮しない。
- クレーンに付属する構造物（補巻用レール、梯子等）の質量は見込むが、強度メンバには含めない。
- 水平方向の荷重が最大静止摩擦力を上回る場合、車輪-レール間ですべりが発生することから、走行方向は全体荷重の3割、横行方向はトロリ・吊荷に対して3割の荷重を考慮する。なお、車輪4個のうち摩擦を受けるのは駆動輪の2個であるが、保守的に4個の車輪で摩擦を受けることとする。



クレーンの耐震評価（固有値解析条件）

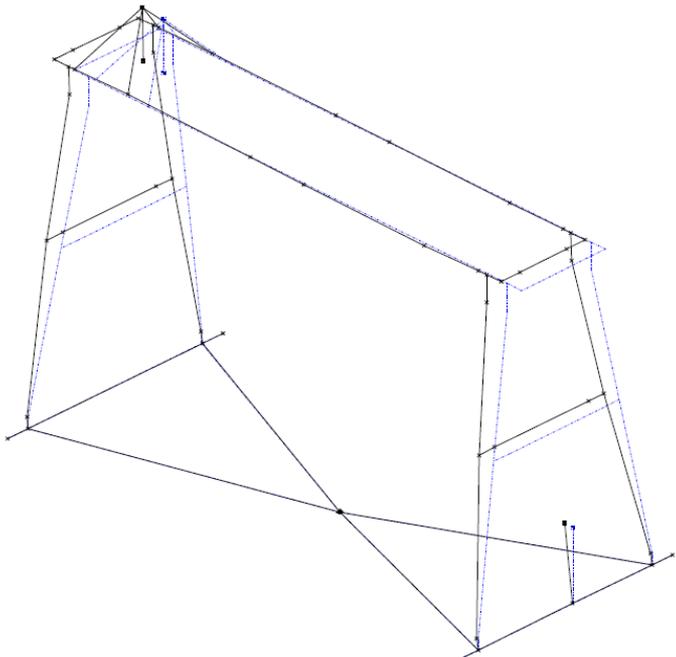
- クレーンの質量として、クレーン本体、トロリ（吊り荷含む）を考慮するものとする。
- 拘束条件として、クレーン本体駆動輪により走行・横行・上下方向を拘束し、従動輪にて横行・上下方向を拘束している。

名称	質量 (ton)
クレーン本体 (トロリ含む)	95.9
吊り荷	30.0

クレーンの耐震評価（固有値解析結果）

➤ 固有値解析結果を以下に示す。解析の結果、水平・鉛直ともに1次固有振動数が20Hz未満であり、柔構造であることを確認した。

方向	固有振動数 (Hz)
横行方向 (EW方向)	2.885
鉛直方向	9.991

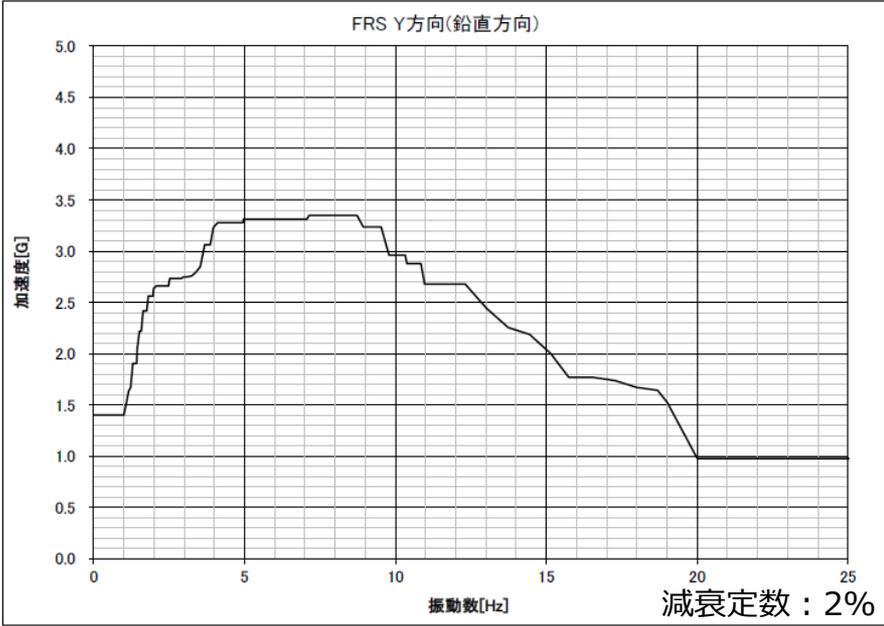
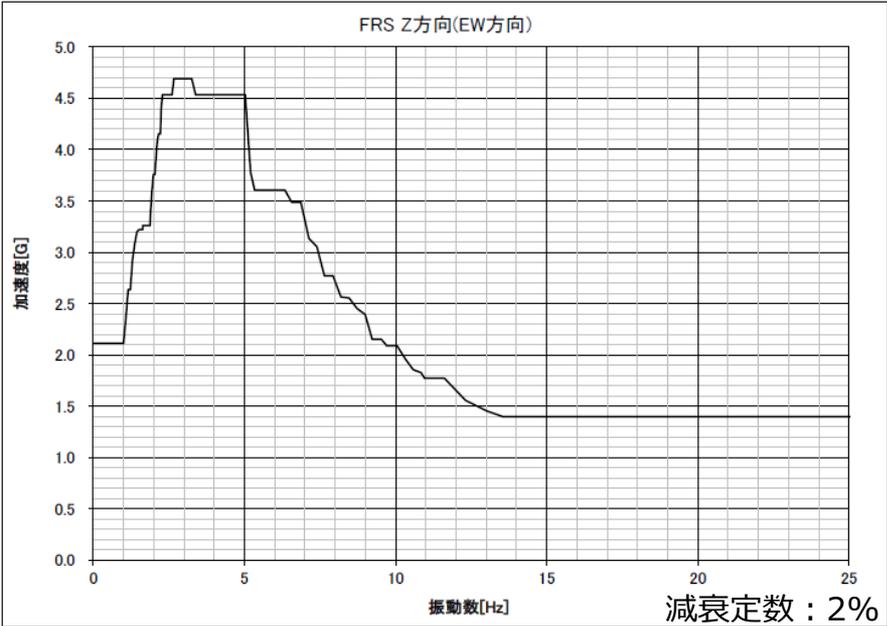
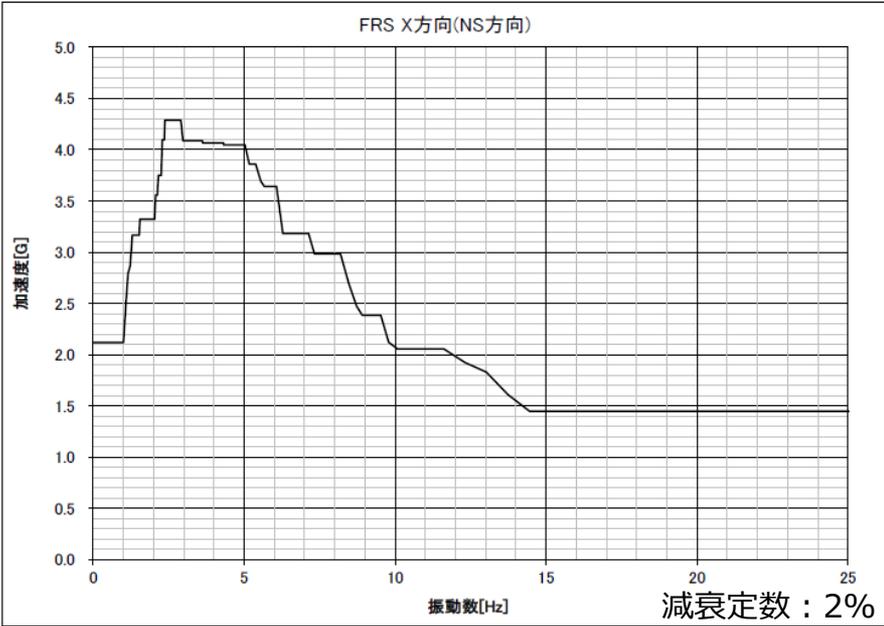


振動モード図

クレーンの耐震評価（計算に用いる地震動）

- クレーンの評価では、一次固有振動数が20Hz未満となることから、動的震度にて評価を行う。
- 動的震度は、Ss900床応答時刻歴波形に機器の減衰定数を考慮した機器設置位置での床応答スペクトルを作成し、建屋の耐震補強による影響を考慮した裕度（1.2倍）を持たせる。
- 床応答スペクトルの減衰定数はボルト・リベット構造物として水平2%、鉛直2%を適用。
- 床応答スペクトルを±10%拡幅したものを設計用床応答スペクトルとして作成し、クレーンの固有周期を踏まえ評価を行う。

クレーンの耐震評価 (計算に用いる地震動)



クレーンの耐震評価（構造強度に対する検討）

- クレーン本体は、計算モデル(10スライド)における部材応力最大位置から得られる荷重より応力を算定し、許容応力の範囲内であることを確認することで強度評価を行う。
- 連結ボルト及び浮き上がり防止装置等のその他各構造物は、クレーン本体の地震応答解析より得られる荷重あるいは反力より応力を算定し、許容応力の範囲内であることを確認することで強度評価を行う。
- 機器設置床面での応答波より機器の減衰定数を考慮した床応答スペクトルを作成し、±10%拡幅したものを設計用床応答スペクトルとして解析を行い、解析結果から得られた最大発生応力部位ごとの応力値を比較し、最も厳しい部位について評価を行う。
- 解析手法は、クレーンの一次固有振動数が20Hz未満であり、柔構造であることから応答スペクトル法にて解析を行う。
- 応力評価として、次式に示すように、水平2方向及び鉛直方向の地震荷重によるSRSS法と自重による応力の絶対値により応力値を計算する。

$$\sigma = |\text{自重による応力}| + \sqrt{\left(\begin{array}{c} \text{水平(NS)方向} \\ \text{地震荷重の応力} \end{array} \right)^2 + \left(\begin{array}{c} \text{水平(EW)方向} \\ \text{地震荷重の応力} \end{array} \right)^2 + \left(\begin{array}{c} \text{鉛直方向} \\ \text{地震荷重の応力} \end{array} \right)^2}$$

クレーンの耐震評価（応力の評価方法）

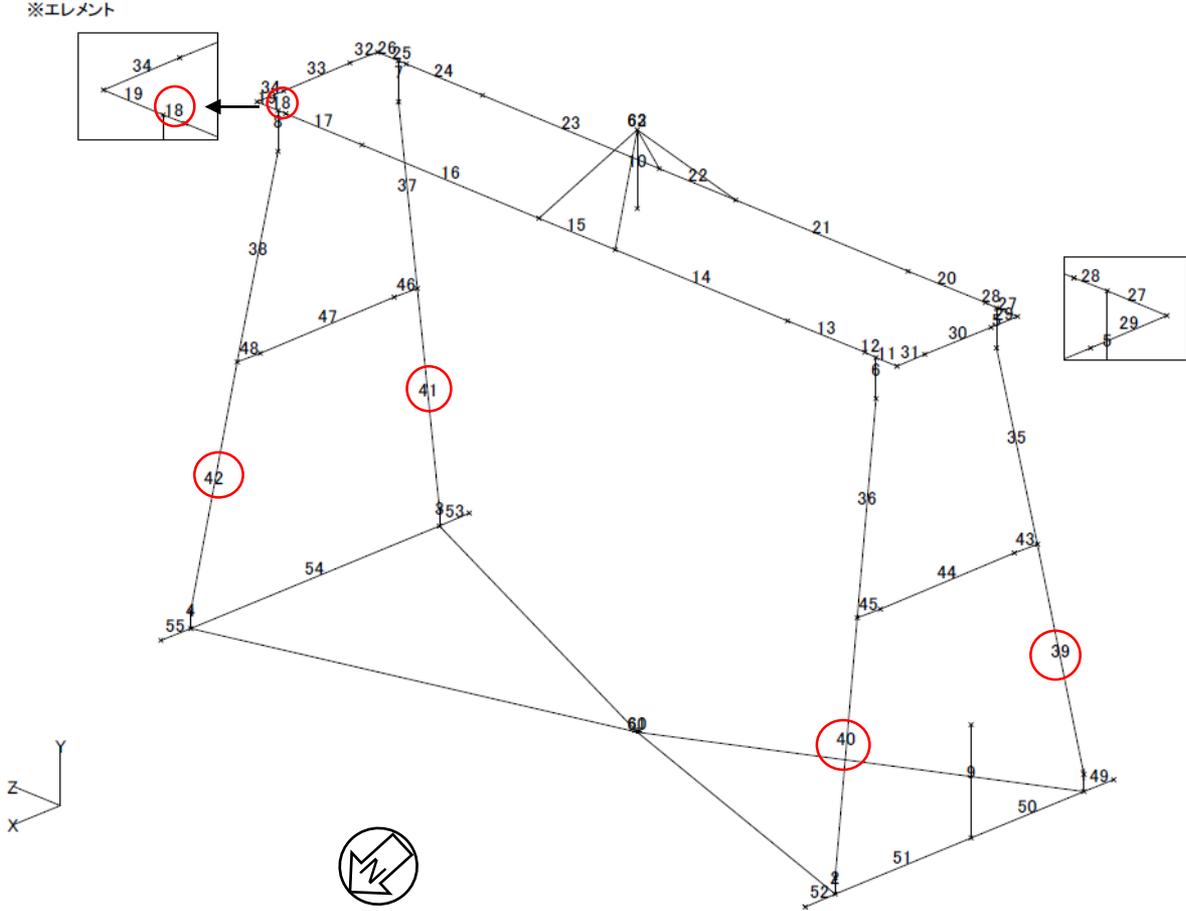
部位	使用材料	応力の種類	許容応力 (MPa)
クレーン本体	SM570	引張	557
		せん断	321
		圧縮	499
		曲げ	557
		組合せ	557
走行浮き上がり防止爪	SS400	組合せ	392
走行浮き上がり防止爪 取付ボルト	8.8T / 12.9T	引張	610 / 897
		せん断	469 / 690
横行浮き上がり防止爪	SM570	組合せ	557
横行浮き上がり防止爪 取付ボルト	12.9T	引張	897
連結ボルト	F10T	引張	735
		せん断	566
	S10T	引張	735
		せん断	566
走行レールクリップ	FCD450	曲げ	441
	SS400	曲げ	392
走行レール基礎ボルト	SS400	引張	166
		せん断	226
		組合せ (AIJ)	$\left(\frac{p}{p_a}\right)^2 + \left(\frac{q}{q_a}\right)^2 \leq 1$

p:発生引張力, p_a:許容引張力, q:発生せん断力, q_a:許容せん断力



クレーンの耐震評価（地震応答解析結果）

最大応力発生部位（クレーン本体）

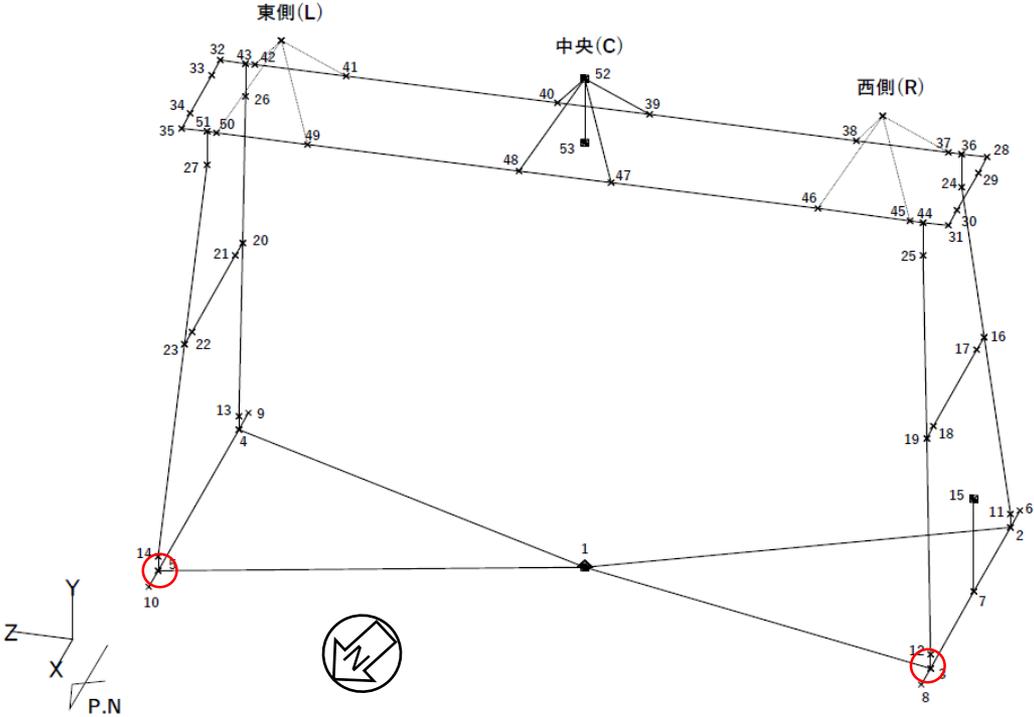


クレーンの耐震評価（地震応答解析結果）

最大応力発生部位（走行浮き上がり防止爪）

- 爪（先端）
トロリ位置：東
- 取付ボルト
トロリ位置：西

節点 I D

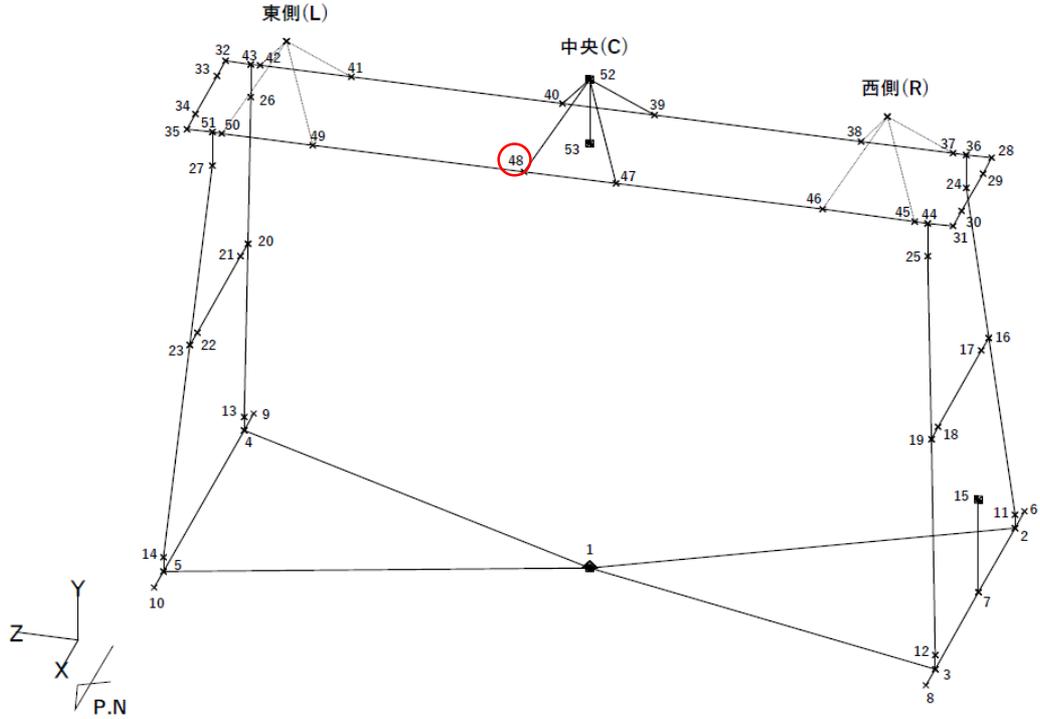


クレーンの耐震評価（地震応答解析結果）

最大応力発生部位（横行浮き上がり防止爪）

- 爪（根本）
トロリ位置：中央
- 取付ボルト
トロリ位置：中央

節点 I D

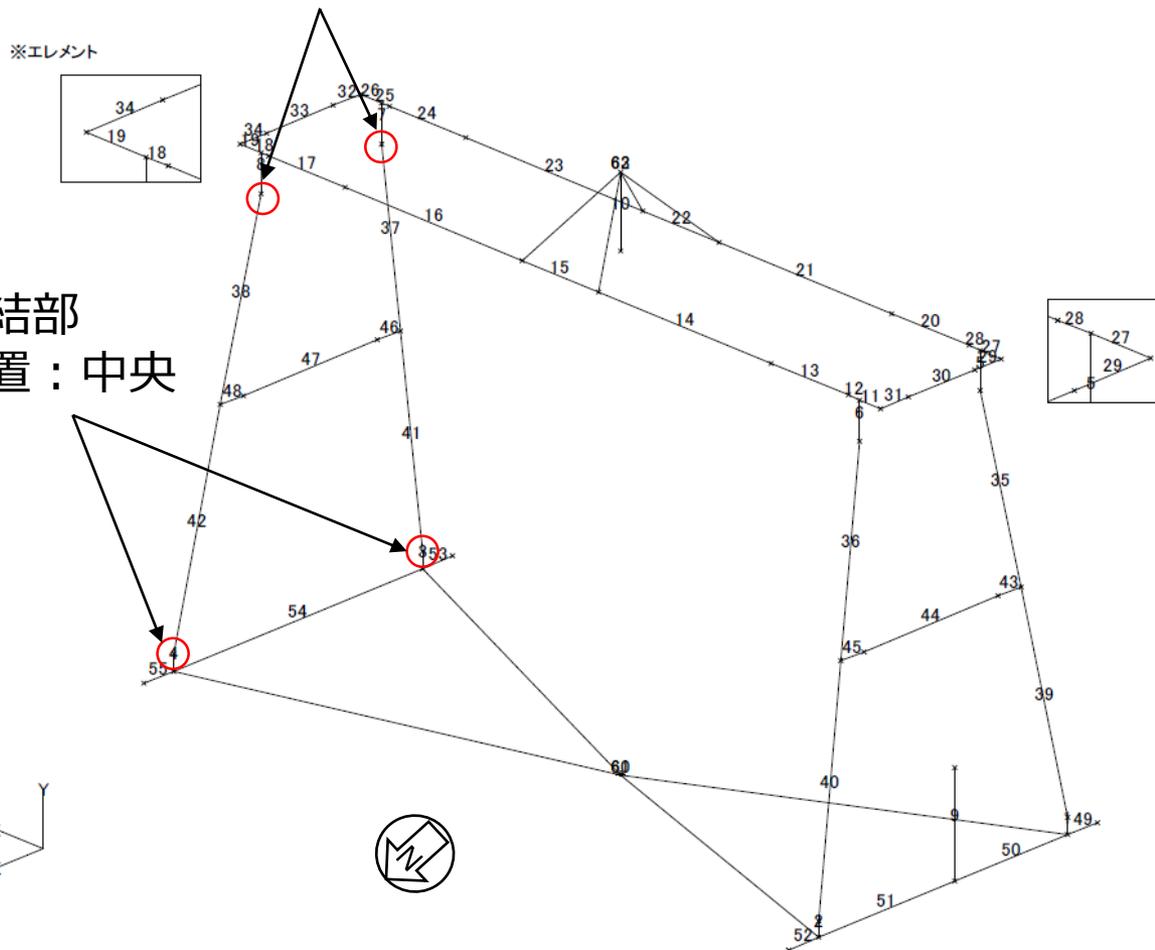


クレーンの耐震評価（地震応答解析結果）

最大応力発生部位（連結ボルト）

脚上部連結部
トロリ位置：中央

脚下部連結部
トロリ位置：中央

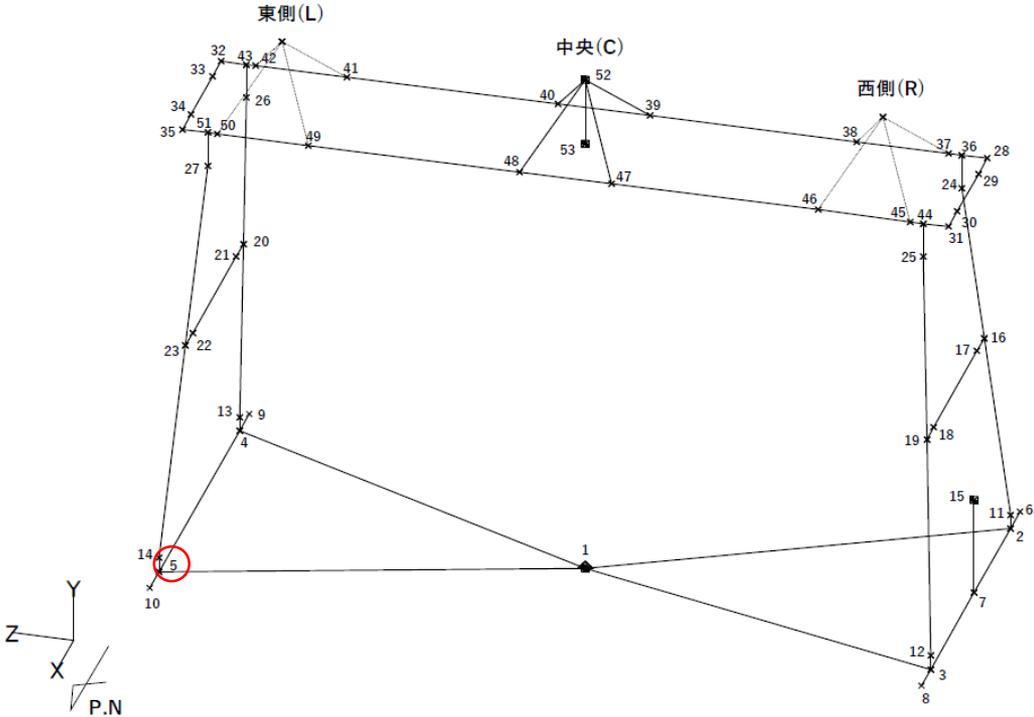


クレーンの耐震評価（地震応答解析結果）

最大応力発生部位（走行レールクリップ）

- 走行レールクリップ
トロリ位置：東側
- 走行レールクリップ基礎ボルト
トロリ位置：中央

節点 I D



クレーンの耐震評価（評価結果）

➤ 算出応力は、以下の耐震評価結果のとおり全て許容応力の範囲内であり、クレーンの転倒及び破損、トロリの落下による波及的影響がないことを確認した。

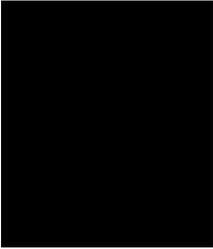
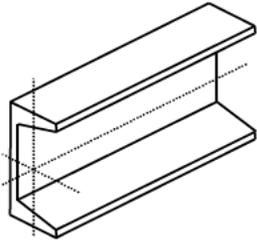
対象	評価項目	算出値	許容値	単位
クレーン本体	引張	44	557	MPa
	せん断	95	321	MPa
	圧縮	44	499	MPa
	曲げ	307	557	MPa
	組合せ	327	557	MPa
走行浮き上がり防止爪	組合せ	156	392	MPa
走行浮き上がり防止爪取付ボルト	引張	148	610	MPa
	せん断	89	469	MPa
横行浮き上がり防止爪	組合せ	420	557	MPa
横行浮き上がり防止爪取付ボルト	引張	715	897	MPa
連結ボルト	引張	483	735	MPa
	せん断	58	566	MPa
走行レールクリップ	曲げ	165	441	MPa
走行レールクリップ基礎ボルト	引張	86	166	MPa
	せん断	158	226	MPa
	組合せ (AIJ)	0.83	$\left(\frac{p}{p_a}\right)^2 + \left(\frac{q}{q_a}\right)^2 \leq 1$	-

クレーンの耐震評価（応力の計算方法）

➤ クレーン本体

(1) 引張応力： σ_{t1}

$$\sigma_{t1} = \frac{F}{A}$$



(2) せん断応力： σ_s

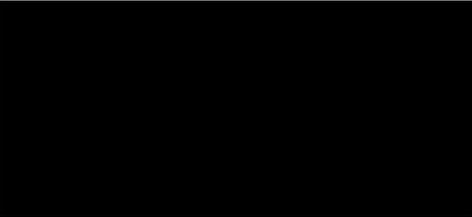
$$\sigma_{s1} = \frac{F}{A}$$

クレーンの耐震評価（応力の計算方法）

➤ クレーン本体

(3) 曲げ応力： σ_b

$$\sigma_{b1} = \text{[Redacted]}$$



(4) 圧縮応力： σ_{c1}

$$\sigma_{c1} = \text{[Redacted]}$$



クレーンの耐震評価（応力の計算方法）

➤ クレーン本体

(5) 組合せ応力： σ_{k1}

$$\sigma_{k1} = \text{[Redacted]}$$

ここで,

[Redacted]

[Redacted]

クレーンの耐震評価（応力の計算方法）

➤ 走行浮き上がり防止爪（先端）

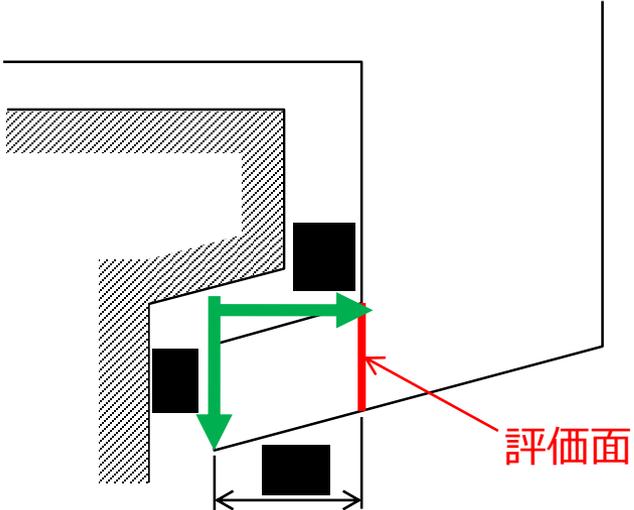
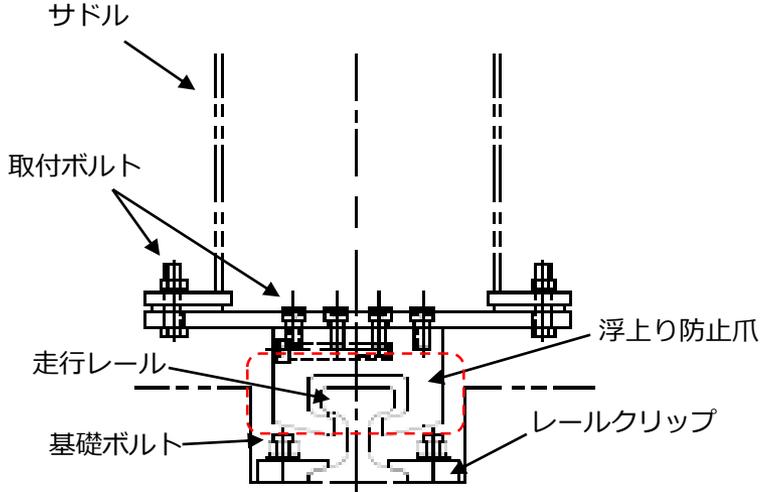
(1) 組合せ応力： σ_{k2}

$$\sigma_{k2} = \text{[Redacted]}$$

ここで、

[Redacted]

[Redacted]



クレーンの耐震評価（応力の計算方法）

➤ 走行浮き上がり防止爪（根本）

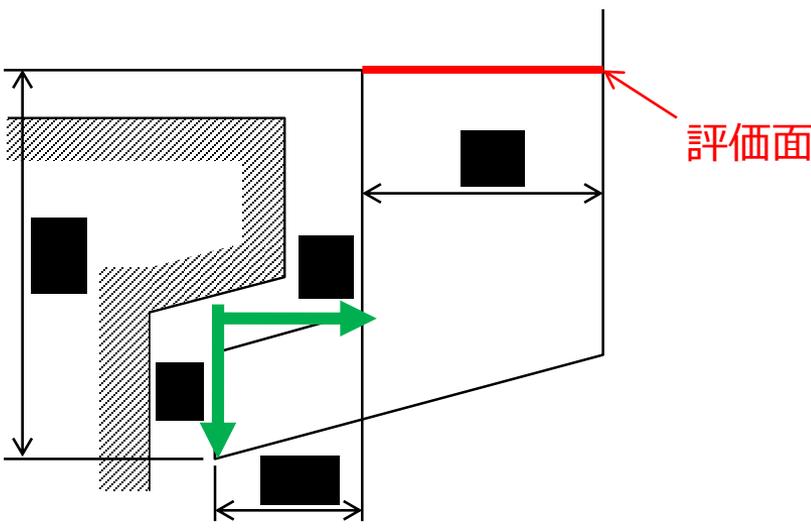
(1) 組合せ応力： σ_{k3}

$\sigma_{k3} =$ [Redacted]

ここで、

[Redacted]

[Redacted]



クレーンの耐震評価（応力の計算方法）

➤ 走行浮き上がり防止爪（取付ボルト（A））

(1) 引張応力： σ_{t2}

$\sigma_{t2} =$ [Redacted]

ここで、

[Redacted]

[Redacted]

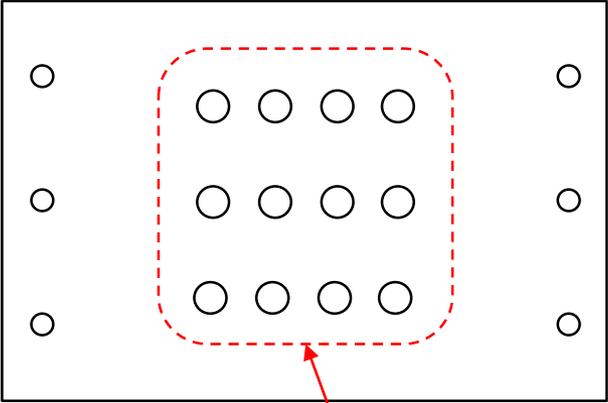
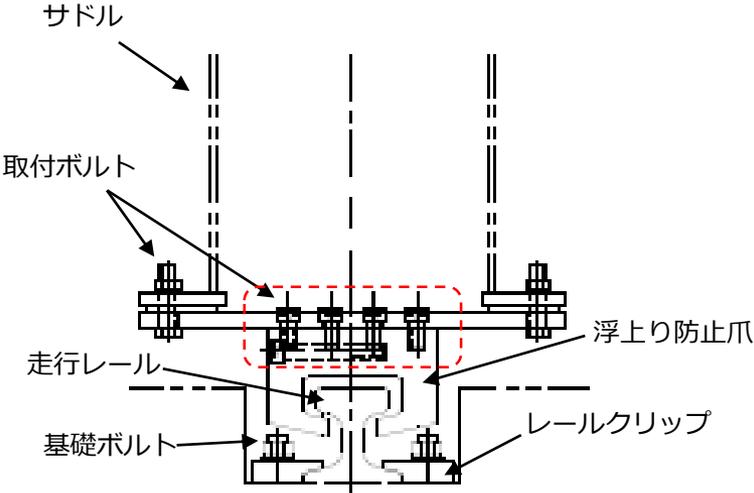
(2) せん断応力： σ_{s1}

$\sigma_{s1} =$ [Redacted]

ここで、

[Redacted]

[Redacted]



評価箇所

クレーンの耐震評価（応力の計算方法）

➤ 走行浮き上がり防止爪（取付ボルト（B））

(1) 引張応力： σ_{t3}

$$\sigma_{t3} = \text{[Redacted]}$$

ここで、

[Redacted]

[Redacted]

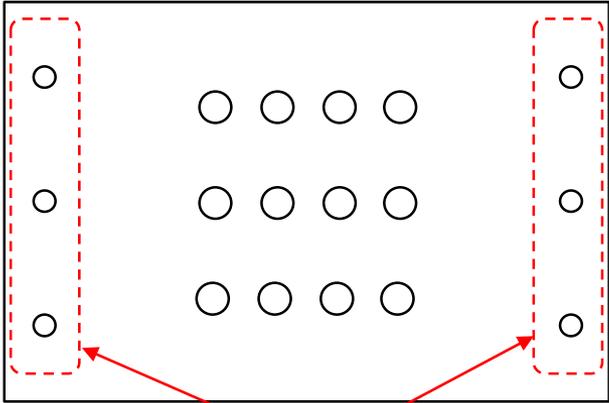
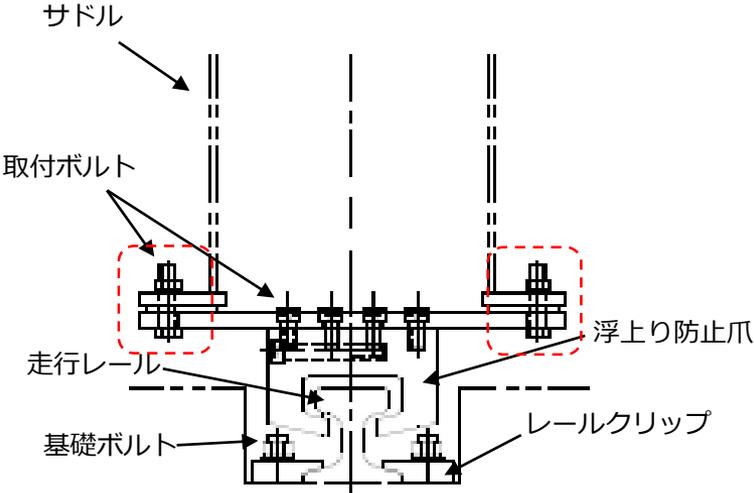
(2) せん断応力： σ_{s2}

$$\sigma_{s2} = \text{[Redacted]}$$

ここで、

[Redacted]

[Redacted]



評価箇所

クレーンの耐震評価（応力の計算方法）

➤ 横行浮き上がり防止爪（根本）

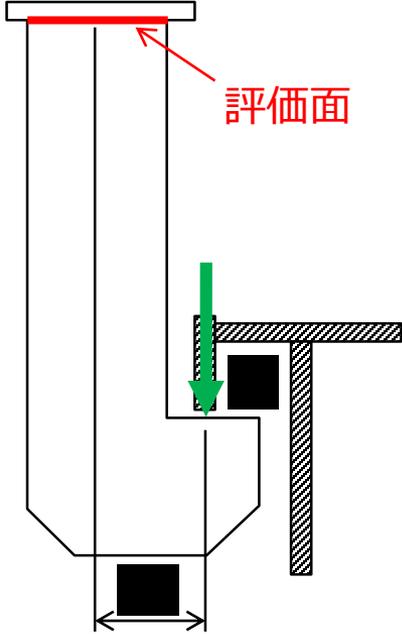
(1) 組合せ応力： σ_4

$\sigma_4 =$ [Redacted]

ここで、

[Redacted]

[Redacted]



クレーンの耐震評価（応力の計算方法）

➤ 横行浮き上がり防止爪（先端）

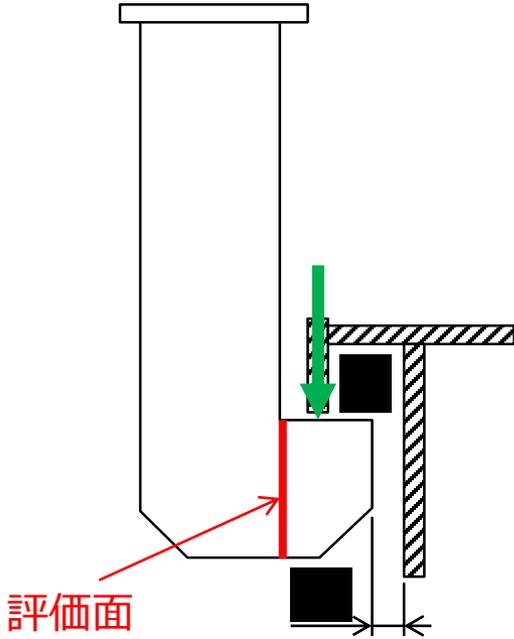
(1) 組合せ応力： σ_{k5}

$\sigma_{k5} =$ [Redacted]

ここで、

[Redacted]

[Redacted]



クレーンの耐震評価（応力の計算方法）

➤ 横行浮き上がり防止爪（取付ボルト）

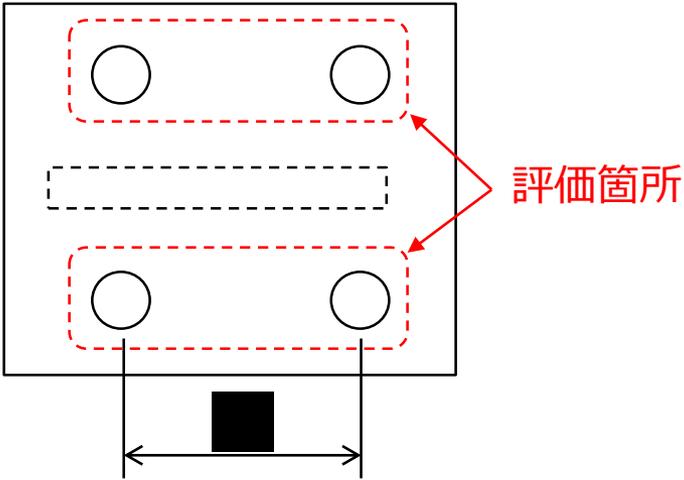
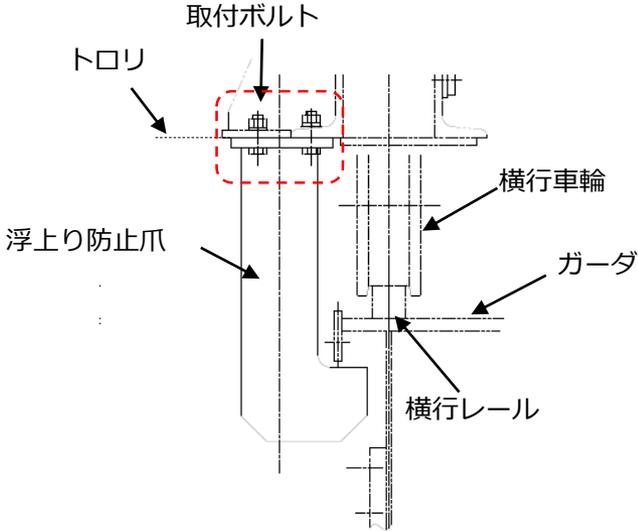
(1) 引張応力： σ_{t5}

$$\sigma_{t5} = \text{[Redacted]}$$

ここで、

[Redacted]

[Redacted]



クレーンの耐震評価（応力の計算方法）

➤ 連結ボルト（脚上部連結部, 脚下部連結部, 脚つなぎ連結部）

(1) 引張応力： σ_{t6}

$$\sigma_{t6} = \text{[Redacted]}$$

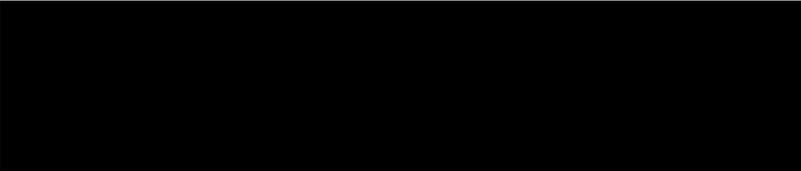
(2) せん断応力： σ_{s1}

$$\sigma_{s1} = \text{[Redacted]}$$

➤ 連結ボルト（桁つなぎ連結部）

(1) せん断応力： σ_{s2}

$$\sigma_{s2} = \text{[Redacted]}$$



クレーンの耐震評価（応力の計算方法）

➤ 走行レールクリップ（一般部レールクリップ）

(1) 曲げ応力： σ_{b4}

$\sigma_{b4} =$ [Redacted]



➤ 走行レールクリップ（連結部レールクリップ）

(1) 曲げ応力： σ_{b5}

$\sigma_{b5} =$ [Redacted]



クレーンの耐震評価（応力の計算方法）

➤ 走行レールクリップ（基礎ボルト）

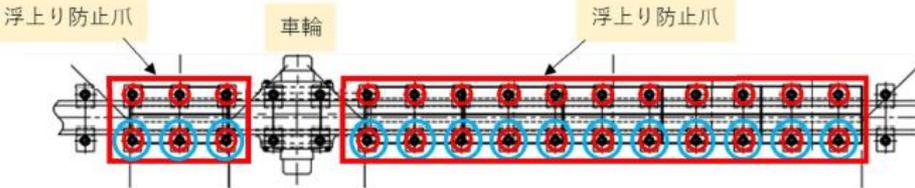
(1)引張応力： σ_{t7}

$\sigma_{t7} =$ [Redacted]

ここで、

[Redacted]

[Redacted]



- …… 引張力は赤丸ボルト 28 本で負担
- …… せん断力は青丸ボルト 14 本で負担

(2)せん断応力： σ_s

$\sigma_s =$ [Redacted]

ここで、

[Redacted]

[Redacted]