

女川原子力発電所2号炉  
竜巻防護ネットの構造設計について  
(審査会合での指摘事項に対する回答)

設計基準対象施設について  
(第6条 外部からの衝撃による損傷の防止(竜巻))

令和元年6月  
東北電力株式会社

# はじめに

- ▶ 第705回審査会合(平成31年4月16日)において、竜巻防護ネットに対する設計方針について説明し、竜巻防護ネットの支持部にゴム支承や可動支承を採用することにより必要となる設計上の配慮又は対策について整理し、対応方針を説明した。
- ▶ 審査会合の更なる議論において下記の指摘を受けている。

- ① 設置許可基準規則第6条の要求に対する竜巻防護ネットの基本設計方針について、先行プラントとの相違を踏まえ整理して提示すること。
- ② 竜巻防護ネットの基本設計方針を踏まえ、構造健全性の確認における応力等の算定方法や評価基準の方針について、整理して提示すること。
- ③ 構造成立性の見通しについて、解析結果等に基づく設計手法の妥当性や根拠を整理して提示すること。また、設置許可段階と詳細設計段階での説明事項を整理して示すこと。
- ④ ストッパーの設計方針(評価方法,許容限界)の考え方について、整理して提示すること。

- ▶ 上記の指摘事項に対して、以下の内容にて改めて説明を行う。

## 1. 竜巻防護ネットの部材の役割を踏まえた設計方針【指摘事項①に対する回答】

女川2号炉竜巻防護ネットはゴム支承等を採用しており、構造が先行プラントと相違しているが、竜巻防護対策(6条)としての役割を整理し、竜巻防護ネットの設計方針について先行プラントとの相違がないことを示す。

## 2. 竜巻防護ネットの構造成立性確認【指摘事項②～④に対する回答】

各部材の要求事項を整理した上で、応力等の算定方法や評価基準、評価方針を定め、支持部材に対して飛来物の衝突評価を実施し、構造成立性を示す。

## 3. 設置許可段階と詳細設計段階での説明事項【指摘事項③に対する回答】

設置許可段階では、代表的な衝突評価結果をもって、構造成立性を見通しを示すことから、詳細設計段階では、設置許可断面の評価を踏まえた詳細設計を行い、竜巻防護ネットの強度計算結果を説明する。

# 1. 竜巻防護ネットの部材の役割を 踏まえた設計方針

---

**【指摘事項①に対する回答】**

# 1. 竜巻防護ネットの部材の役割を踏まえた設計方針(1/4)

設置許可基準規則への適合性について

## (1) 竜巻防護ネットに対する設計方針

- 「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」(以下「設置許可基準規則」という。)の竜巻に対する設計の基本方針のうち、竜巻飛来物防護対策設備である竜巻防護ネットに関するものは以下のとおり。

### 【竜巻に対する設計の基本方針】

竜巻飛来物防護対策設備は、竜巻防護ネット、防護鋼板等から構成し、飛来物から外部事象防護対象施設を防護できる設計とする。

(まとめ資料:1.8.2.1設計方針(1) 竜巻に対する設計の基本方針)

- 竜巻に対する設計の基本方針を踏まえ、設置許可基準規則の各条文(第4条、第6条)に対する竜巻防護ネットの設計方針を以下のとおり整理した。

表1 竜巻防護ネットの設計方針

設置許可基準規則	竜巻防護ネットの設計方針	備考
第4条 地震による損傷の防止	<ul style="list-style-type: none"> <li>上位クラスである非常用海水ポンプ等に対し、地震時において竜巻防護ネットの損傷等により波及的影響を及ぼさないよう、基準地震動Ssに対して十分な構造強度を有すること。</li> </ul>	説明済 (H31.4.16第705回 審査会合)
第6条 外部からの衝撃による 損傷の防止(竜巻)	<ul style="list-style-type: none"> <li>竜巻防護ネットは、竜巻時及び竜巻通過後において、設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、内包する非常用海水ポンプ等が安全機能を損なわないよう、設計飛来物が非常用海水ポンプ等に衝突することを防止可能な設計とする。また、竜巻防護ネットは、その他考えられる自然現象に対して、非常用海水ポンプ等に波及的影響を及ぼさない設計とする。</li> </ul>	今回説明範囲

# 1. 竜巻防護ネットの部材の役割を踏まえた設計方針(2/4)

## (2) 竜巻防護ネットに関する各条文の設計方針に対応する各部位の役割

- 竜巻防護ネットに対する設置許可基準規則の各条文(4条及び6条)の設計方針に対する役割を以下のとおり整理した。
- 支持部材であるゴム支承は、竜巻防護ネットの耐震設計の観点から地震時にアイソレート機能※を要求するものであるが、竜巻(6条)では、アイソレート機能の要求はなく、支持機能のみが機能要求である。

表2 竜巻防護ネットの各部位の役割

部位の名称	各部位の役割	
	地震(4条)	竜巻(6条)
ネット(金網部)	—	・設計飛来物の非常用海水ポンプ等への到達を防止する
防護板	—	・設計飛来物の非常用海水ポンプ等への到達を防止する
フレーム	・ネット(金網部)及び防護板を支持する	・ネット(金網部)及び防護板を支持する ・設計飛来物の非常用海水ポンプ等への到達を防止する
大梁	・フレームおよび可動支承を支持する	・フレームおよび可動支承を支持する
ブラケット	・大梁を支持する	・大梁を支持する
フレームゴム支承	・フレームを支持する (ゴム支承のアイソレート機能※により竜巻防護ネットの固有値をやや長周期化することで、海水ポンプ室への反力を低減)	・フレームを支持する ( <u>ゴム支承のアイソレート機能※を期待しない</u> )
大梁ゴム支承	・大梁を支持する (ゴム支承のアイソレート機能※により竜巻防護ネットの固有値をやや長周期化することで、海水ポンプ室への反力を低減)	・大梁を支持する ( <u>ゴム支承のアイソレート機能※を期待しない</u> )
可動支承	・フレームを支持する	・フレームを支持する
ストッパー	—	・フレームを支持する

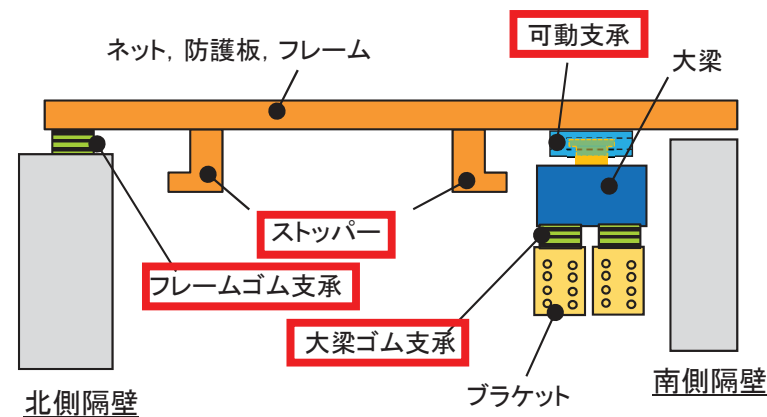


図1 竜巻防護ネットの構造(イメージ)

凡例  
 : 女川2号炉竜巻防護ネットの  
 先行プラントとの構造上の相違点

※: 水平方向に上部構造を柔らかく支持することで、固有周期を長くし、地震力を低減すること(参考文献: 道路橋支承便覧)

# 1. 竜巻防護ネットの部材の役割を踏まえた設計方針(3/4)

## (3) 竜巻防護ネット各部位の設計方針

各部位の役割を踏まえ、竜巻防護ネットの各部位に対する設計方針および評価項目について以下のとおり整理した。

表3 竜巻防護ネット各部位に対する設計方針

部位の名称		設計方針	評価項目	
竜巻防護ネット	ネット(金網部)	ネットは、設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し、飛来物が非常用海水ポンプ等へ衝突することを防止するために、 <u>主要な部材が破断せず、たわみが生じても、非常用海水ポンプ等の機能喪失に至る可能性がある飛来物が非常用海水ポンプ等と衝突しないよう捕捉できる設計とする。</u>	吸収エネルギー評価	
			破断評価	
			たわみ評価	
	防護板	防護板は、設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し、飛来物が非常用海水ポンプ等へ衝突することを防止するために、 <u>飛来物が防護板を貫通せず、非常用海水ポンプ等に波及的影響を与えない設計とする。</u>	貫通評価	
	支持部材	フレーム	支持部材は設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し、飛来物が非常用海水ポンプ等へ衝突することを防止するために、 <u>飛来物が支持部材を構成する主要な構造部材を貫通せず、上載するネット及び防護板を支持する機能を維持可能な構造強度を有し、非常用海水ポンプ等に波及的影響を与えないために、支持部材を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とする。</u>	貫通評価
		大梁		支持機能評価
		ブラケット		
フレームゴム支承				
大梁ゴム支承				
可動支承				
ストッパー				

# 1. 竜巻防護ネットの部材の役割を踏まえた設計方針(4/4)

## (4) 先行プラントとの比較

- 竜巻防護ネットの設計方針等について、先行プラントと比較した結果を以下に整理する。
- 構成部材のうち、ネット(金網部)と防護板は先行プラントと構造設計の相違がないため、支持部材に対する設計方針について比較を実施した。

表4 竜巻に対する設計の基本方針、竜巻防護ネットの設計方針等の比較

	女川	(参考)東海第二	差異理由
竜巻に対する設計の基本方針	竜巻飛来物防護対策設備は、竜巻防護ネット、防護鋼板等から構成し、飛来物から外部事象防護対象施設を防護できる設計とする。 (まとめ資料:1.8.2.1設計方針(1) 竜巻に対する設計の基本方針より抜粋)	竜巻飛来物防護対策設備は、防護ネット、防護鋼板等から構成し、飛来物から外部事象防護対象施設を防護できる設計とする。 (設置変更許可申請書(一部補正)1.7.2.1設計方針(1) 竜巻に対する設計の基本方針より抜粋)	差異無し
竜巻防護ネットの設計方針	竜巻防護ネットは、竜巻時及び竜巻通過後において、設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、内包する <b>非常用海水ポンプ等</b> が安全機能を損なわないよう、設計飛来物が非常用海水ポンプ等に衝突することを防止可能な設計とする。 また、竜巻防護ネットは、その他考えられる自然現象に対して、 <b>非常用海水ポンプ等</b> に波及的影響を及ぼさない設計とする。	防護対策施設は、竜巻時及び竜巻通過後において、設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し、内包する <b>外部事象防護対象施設</b> が安全機能を損なわないよう、設計飛来物等が <b>外部事象防護対象施設</b> に衝突することを防止可能な設計とする。 また、防護対策施設は、その他考えられる自然現象(地震等)に対して、 <b>外部事象防護対象施設</b> に波及的影響を及ぼさない設計とする。 (工認V-1-1-2-3-1竜巻への配慮に関する基本方針 2.1.3 竜巻の影響を考慮する施設の竜巻防護設計方針 c. 防護対策施設)	設備名称の相違
支持部材の設計方針	<b>支持部材</b> は設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し、飛来物が <b>非常用海水ポンプ等</b> へ衝突することを防止するために、飛来物が <b>支持部材</b> を構成する主要な構造部材を貫通せず、上載するネット及び防護板を支持する機能を維持可能な構造強度を有し、 <b>非常用海水ポンプ等</b> に波及的影響を与えないために、 <b>支持部材</b> を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とする。	<b>架構</b> は、設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し、飛来物が <b>外部事象防護対象施設</b> へ衝突することを防止するために、飛来物が <b>架構</b> を構成する主要な構造部材を貫通せず、上載する防護ネット及び防護鋼板を支持する機能を維持可能な構造強度を有し、 <b>外部事象防護対象施設</b> に波及的影響を与えないために、 <b>架構</b> を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とする (工認V-3-別添1-2防護対策施設の強度計算の方針 2.2 構造強度の設計方針(3)架構)	部材名称の相違 設備名称の相違
支持機能を担保する部材	フレーム、大梁、ブラケット、 <b>ゴム支承</b> 、 <b>可動支承</b> 、 <b>ストッパー</b>	架構	支持構造の相違
支持部材に対する評価項目	貫通評価及び支持機能評価	貫通評価及び支持機能評価	差異無し

- 女川2号炉の竜巻防護ネットは、先行プラントと支持構造に相違はあるが、「竜巻に対する設計の基本方針」、「竜巻防護ネットの設計方針」、「支持部材の設計方針」、「評価項目」に対して、先行プラントとの相違ないことを確認した。
- 先行プラントと支持構造に相違があることを踏まえて、応力等の算出方法や評価基準の方針を整理し、構造成立性を確認する。
- 構造成立性の確認結果について、「2.竜巻防護ネットの構造成立性確認」にて説明する。

## 2. 竜巻防護ネットの構造成立性確認

---

【指摘事項②～④に対する回答】



## 2. 竜巻防護ネットの構造成立性確認(1/9)

### 竜巻防護ネットの配置状況と評価対象

- 竜巻防護ネットの形状は海水ポンプ室補機ポンプエリア(東西:約29m, 南北:約24m)の上部全面に配置し, 地上からの高さは約1mである。
- 竜巻防護ネットの周囲は北側を防潮壁, 東側を防潮堤で囲まれている。また, 西側は約17mを隔てて, 原子炉建屋が設置されている。
- 竜巻防護ネットの形状, 周囲の状況を踏まえると, 飛来物の衝突方向は鉛直方向が支配的であると考えられる。水平方向からの衝突は, 鉛直方向からの衝突に比べて起こりにくいと考えられるが, 設計飛来物の最大水平速度が大きいことを踏まえて, 原子炉建屋との間の水平方向(西側)からの衝突も考慮する。このため衝突解析は, 西側の竜巻防護ネットを代表として評価を行う。

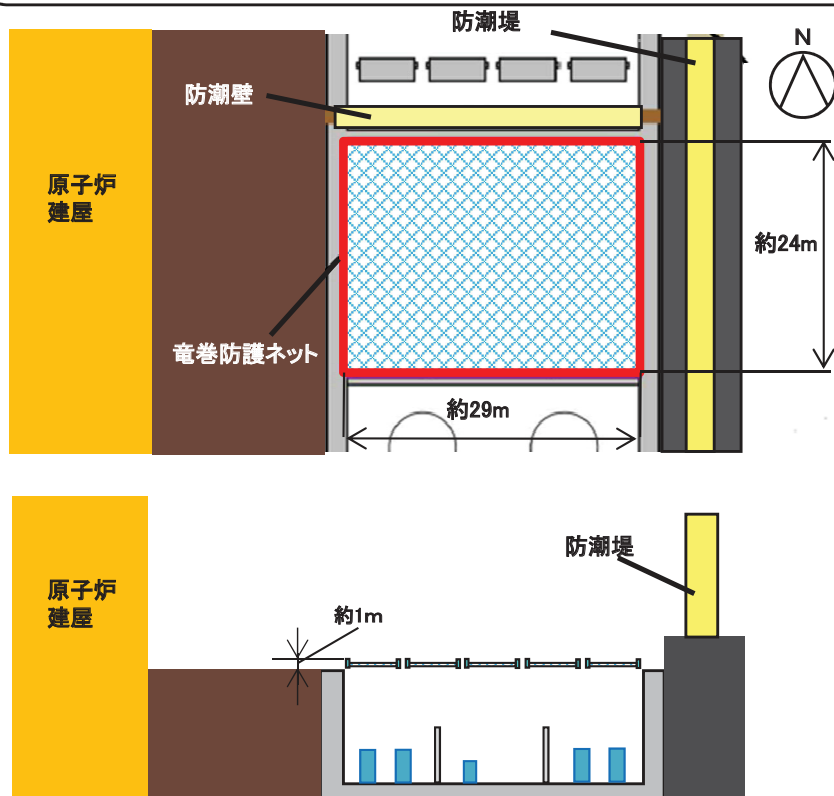


図2 竜巻防護ネットの配置(平面図及び断面図)

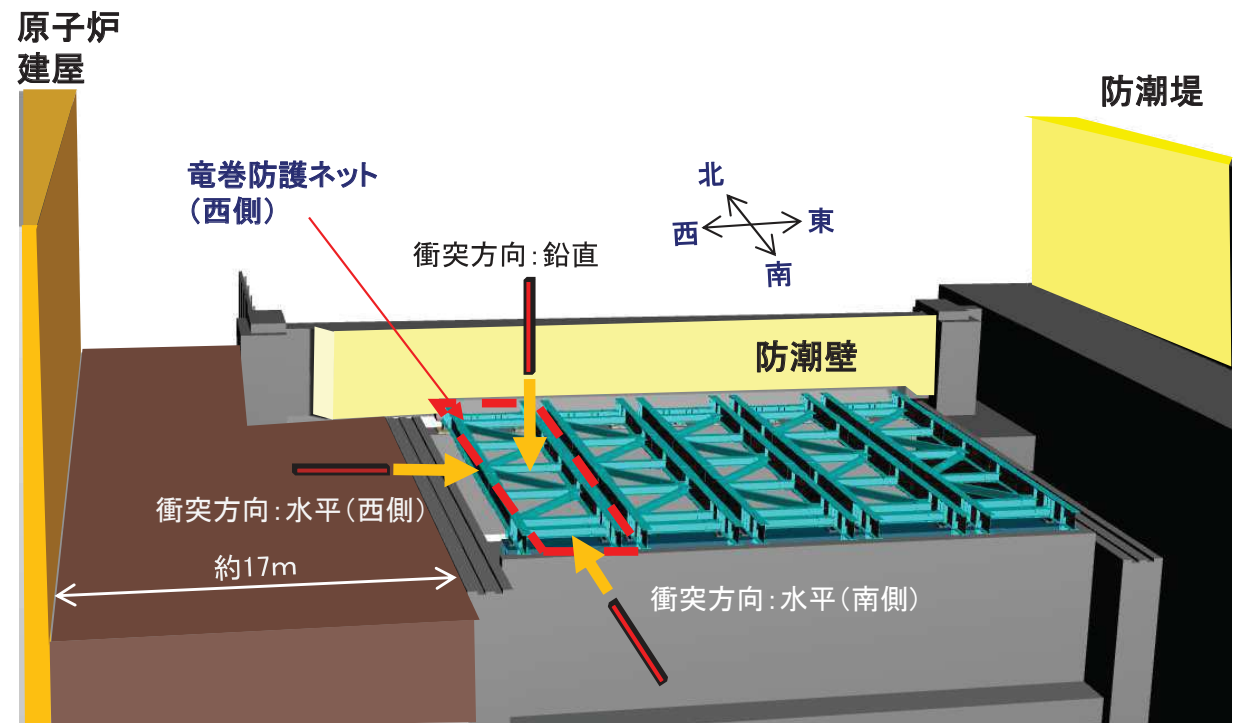


図3 竜巻防護ネットの配置(俯瞰図)

### 竜巻防護ネットの構造成立性確認方法

- 各部材の設計方針を踏まえて、構造成立性を見通しを確認するために、竜巻防護ネットを構成する支持部材に対する代表的な飛来物衝突の解析評価を実施する。評価は以下の2ステップで実施する。

#### 【STEP1】

ゴム支承に支持されるフレームに飛来物が衝突した際の挙動を確認するため、ゴム支承の剛性を考慮した衝突解析を実施する。

衝突解析は、ゴム支承による影響が最も大きくなると想定される条件(飛来物姿勢, 衝突位置, 飛来方向)で実施し、ゴム支承の影響を考慮した場合において、フレームゴム支承, 可動支承がフレームを支持する機能を維持可能な構造強度を有することを確認する。

#### 【STEP2】

衝突時の竜巻防護ネットを構成する支持部材の構造成立性を確認するため、以下の評価を実施する。

STEP2-1: 竜巻防護ネットを構成する支持部材(ストッパーを除く)はゴム剛性の結合条件を3方向固定(衝撃荷重のピーク値が大きくなると推測される条件)にて衝突解析を行い、構造成立性の確認を行う。

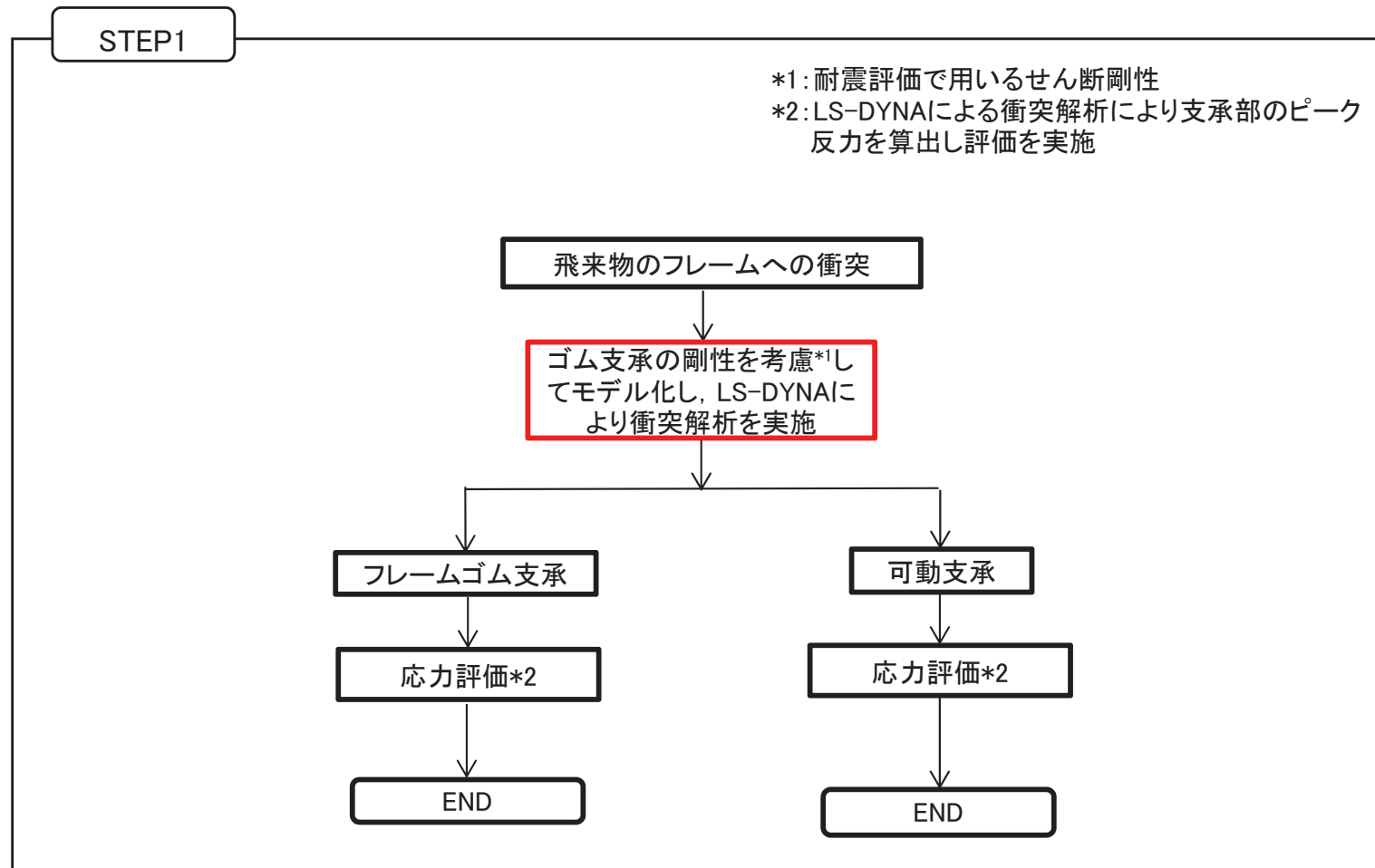
STEP2-2: フレームゴム支承に対し、STEP2-1の条件で評価を実施した結果、許容値を満足しない場合には、詳細評価としてゴム支承のせん断剛性を考慮した解析条件にて評価を実施する。

STEP2-3: STEP2-2のフレームゴム支承の評価結果を踏まえて、ストッパーの評価を実施する。ストッパーの評価はゴム剛性の結合条件を自由(ゴム支承による荷重の負担は期待せずストッパーに全ての荷重を伝達する条件)にて衝突解析を行い、構造成立性の確認を行う。

## 2. 竜巻防護ネットの構造成立性確認(3/9)

### 【STEP1】評価フロー

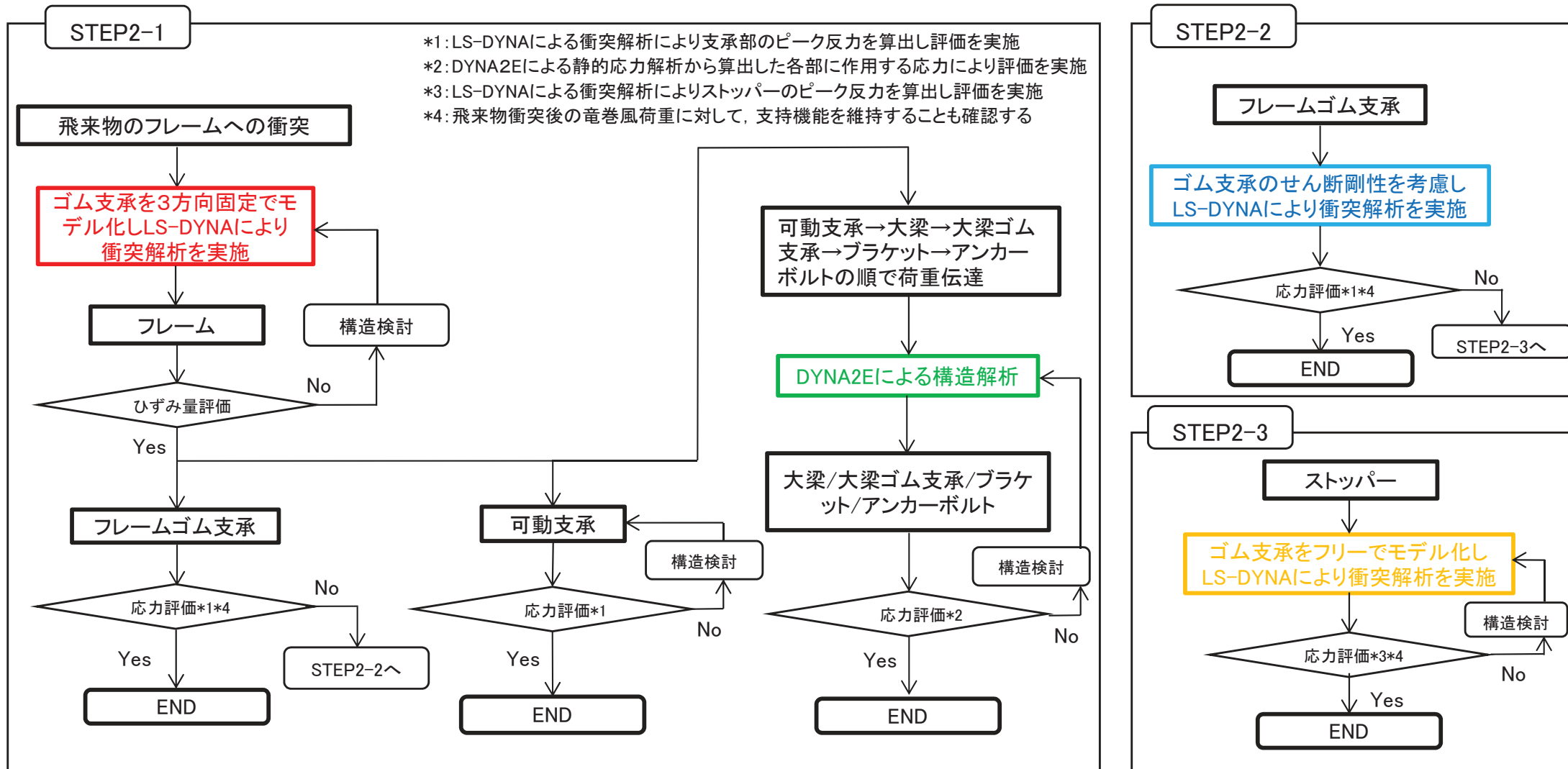
- STEP1は以下に示すフローに従い、飛来物が衝突した際の挙動を確認するため、ゴム支承の剛性を考慮して、ゴム支承、可動支承に対して構造成立性の確認を実施する。



## 2. 竜巻防護ネットの構造成立性確認(4/9)

### 【STEP2】評価フロー

- STEP2は以下に示すフローに従い、支持部材全体に対して構造成立性の確認を実施する。
- 次項にてSTEP2-1に示す衝突解析における応力評価の算定方法について説明する。



## 2. 竜巻防護ネットの構造成立性確認(5/9)

### 構造健全性の確認における応力等の算定方法【指摘事項②に対する回答】

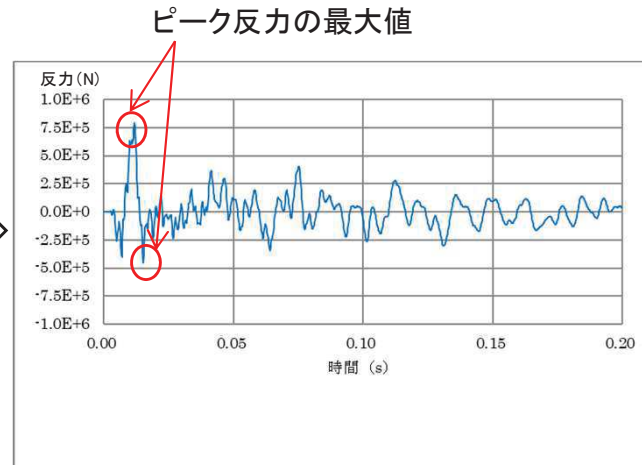
- 衝突解析はLS-DYNAを使用し、モデル化の対象は飛来物が衝突するフレームとする。フレームゴム支承、可動支承は各STEPにおいて設定した結合条件を設定する。
- LS-DYNAにより衝突部であるフレームのひずみ評価を実施するとともに、支承部のピーク反力を算出し、フレームゴム支承及び可動支承にピーク反力の最大値が静的に継続作用すると設定した評価を実施する。(自重及び竜巻による風荷重についても反力として考慮する)
- 可動支承に発生した荷重は大梁/大梁ゴム支承/ブラケット/アンカーボルトに伝達されるため、LS-DYNAにより算出した可動支承に作用するピーク反力を解析モデル(耐震評価と同様のモデル: DYNA2E)に入力し、各部に作用する応力を算出する。

フレームの被衝突部の形状をフラットに設定することで、飛来物の衝突影響を大きく受けるようにしている。

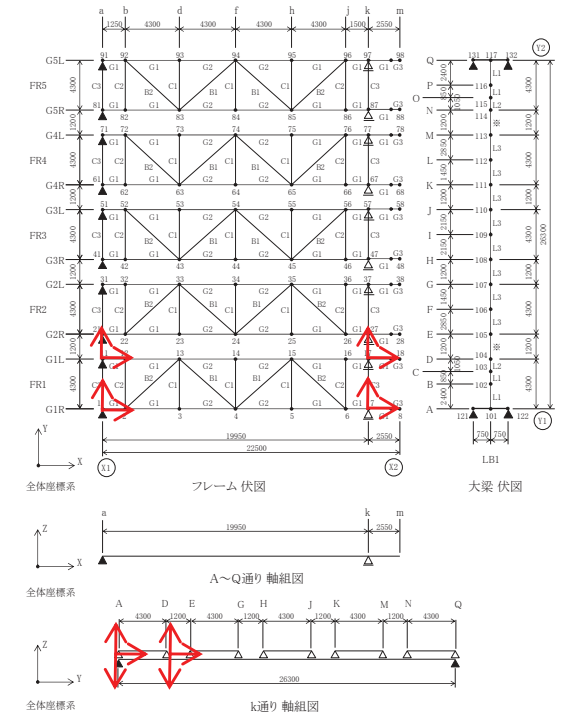


①LS-DYNAにより衝突解析を実施

ピーク反力の最大値が静的に継続作用すると設定し応力評価を実施



②支承部の反力の最大値を算出



③DYNA2Eに支承部の反力を入力し、可動支承の下部構造物に作用する応力を算出

図4 応力の算出方法概要

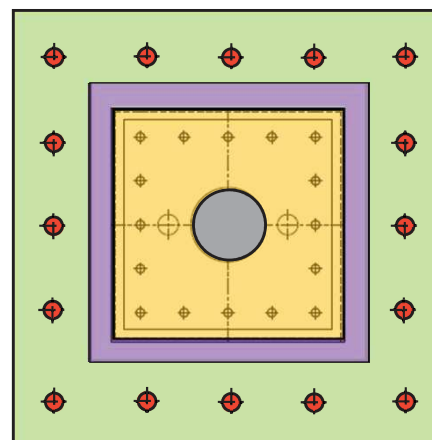
ゴム支承の支持機能評価対象部材の選定について

- 設計飛来物の衝突による衝撃荷重は瞬間的な荷重であり、135kgの鋼製材の衝突により約60tのフレームがフレームゴム支承ごと水平方向に移動することは考え難いため、評価対象部材はフレームゴム支承のうち鉛直荷重を支える部材を選定する。
- ゴム支承の部材のうち、飛来物衝突時の役割である上載するフレームを支持する支持機能を担う部材は、①ゴム体である。
- ゴム支承の支持機能評価にあたっては、当該部材に対し、構造強度上の評価方針を満足することを確認する。

断面図



平面図



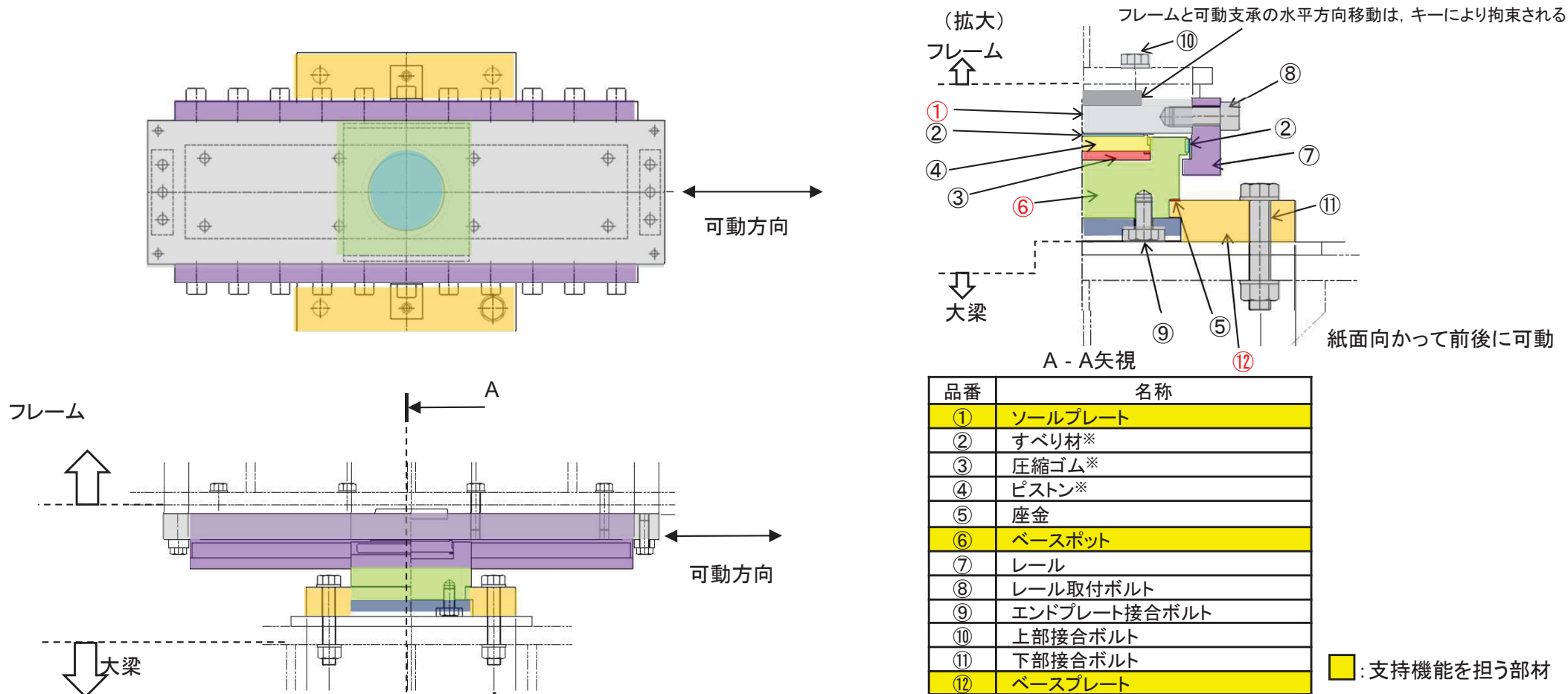
品番	名称
①	ゴム体
②	内部鋼板
③	取付ボルト
④	アンカーボルト

■ : 支持機能を担う部材

図5 フレームゴム支承の構造図

## 可動支承の支持機能評価対象部材の選定について

- 設計飛来物の衝突による衝撃荷重は瞬間的な荷重であり、135kgの鋼製材の衝突により約60tのフレームが可動支承ごと水平方向に移動することは考え難いため、評価対象部材は可動支承のうち鉛直荷重を支える部材を選定する。
- 可動支承はすべり機能を有するが、飛来物衝突時の役割である上載するフレームを支持する支持機能を担う部材は、①ソールプレート、⑥ベースポット、⑫ベースプレートである。
- 可動支承の支持機能評価にあたっては、これらの部材に対し、構造強度上の評価方針を満足することを確認する。



※ : すべり材, ピストン, 圧縮ゴムはソールプレートとベースポットの間にある内部部材のため, ソールプレートとベースポットが支持機能を維持可能な構造強度を有していれば, 鉛直荷重の支持機能に影響を与えない

図6 可動支承の構造図

## 2. 竜巻防護ネットの構造成立性確認(8/9)

構造成立性の確認に対する性能目標と評価方針【指摘事項②に対する回答】

- 竜巻防護ネットの支持部材に対し、設計方針に基づく構造強度上の性能目標と評価方針について以下のとおり整理する。
- 各部材の構造強度上の性能目標及び評価方針を踏まえ、構造成立性の確認を実施する。

表5 支持部材に対する構造強度上の性能目標と評価方針(1/2)

評価対象	支持部材の設計方針	構造強度上の性能目標	構造強度上の評価方針	評価部材	主な機能損傷モード		許容限界
					作用荷重	限界状態	
竜巻防護ネット(支持部材)	支持部材は設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し、飛来物が非常用海水ポンプ等へ衝突することを防止するために、飛来物が支持部材を構成する主要な構造部材を貫通せず、上載するネット及び防護板を支持する機能を維持可能な構造強度を有し、非常用海水ポンプ等に波及的影響を与えないために、支持部材を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とする。	【貫通】 設計飛来物の支持部材への衝突に対して、衝突箇所貫通させない。	設計飛来物が支持部材に衝突した場合に、衝突箇所が発生する衝撃荷重によって貫通が生じないように、フレームの鋼材が終局状態に至るようなひずみを生じないことを確認する。	フレーム	<ul style="list-style-type: none"> <li>自重</li> <li>上載荷重(ネット)</li> <li>竜巻風荷重</li> <li>衝撃荷重</li> </ul>	(衝突面の) 全断面欠損	NEI07-13※にTF(多軸性係数)を考慮して設定した破断ひずみ以下 (LS-DYNAによる衝突解析によりひずみ量を算出)
		【支持機能】 支持部材は設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し、上載するネット及び防護板を支持する機能を維持可能な構造強度を有する。	竜巻の風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重に対し、上載するネットを支持するため、フレームの鋼材が終局状態に至るようなひずみを生じないことを確認する。				
		竜巻の風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重に対し、上載するフレーム等を支持する構造強度を維持するため、作用する応力が許容応力状態IV <sub>A</sub> Sの許容応力を超えないことを確認する。	大梁	<ul style="list-style-type: none"> <li>自重</li> <li>上載荷重(ネット、フレーム)</li> <li>竜巻風荷重</li> <li>衝撃荷重</li> </ul>	終局状態	発生する応力がJEAG 4601のIV <sub>A</sub> S以下	
	ブラケット	<ul style="list-style-type: none"> <li>自重</li> <li>上載荷重(ネット、フレーム、大梁)</li> </ul>					
	ブラケットアンカーボルト	<ul style="list-style-type: none"> <li>自重</li> <li>上載荷重(ネット、フレーム)</li> <li>竜巻風荷重</li> <li>衝撃荷重</li> </ul>					

※:「NEI07-13:Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs」



## 2. 竜巻防護ネットの構造成立性確認(9/9)

表5 支持部材に対する構造強度上の性能目標と評価方針(2/2)

評価対象	支持部材の設計方針	構造強度上の性能目標	構造強度上の評価方針	評価部材		主な機能損傷モード		許容限界
						作用荷重	限界状態	
竜巻防護ネット(支持部材)	支持部材は設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し、飛来物が非常用海水ポンプ等へ衝突することを防止するために、飛来物が支持部材を構成する主要な構造部材を貫通せず、上載するネット及び防護板を支持する機能を維持可能な構造強度を有し、非常用海水ポンプ等に波及的影響を与えないために、支持部材を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とする。	【支持機能】 支持部材は設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し、上載するネット及び防護板を支持する機能を維持可能な構造強度を有する。	竜巻の風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重に対し、上載するフレーム等を支持する機能を担う部材が支持機能を維持するため、作用する応力等が「道路橋示方書・同解説V耐震設計編(H14.3)」に基づく基準値を超えないことを確認する。	大梁 ゴム支承	ゴム体	<ul style="list-style-type: none"> <li>自重</li> <li>上載荷重(ネット, フレーム, 大梁)</li> <li>竜巻風荷重</li> <li>衝撃荷重</li> </ul>	終局状態	<ul style="list-style-type: none"> <li>発生する引張応力が道路橋支承便覧の許容値以下</li> <li>発生するせん断ひずみが道路橋支承便覧の許容値以下</li> </ul>
			竜巻の風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重に対し、上載するフレーム等を支持する機能を担う部材が支持機能を維持するため、作用する応力等が「道路橋示方書・同解説V耐震設計編(H14.3)」に基づく基準値を超えないことを確認する。	フレーム ゴム支承(*1)	ゴム体	<ul style="list-style-type: none"> <li>自重</li> <li>上載荷重(ネット, フレーム)</li> <li>竜巻風荷重</li> <li>衝撃荷重</li> </ul>	終局状態	<ul style="list-style-type: none"> <li>発生する引張応力が道路橋支承便覧の許容値以下</li> <li>発生するせん断ひずみが道路橋支承便覧の許容値以下</li> </ul>
			竜巻の風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重に対し、上載するフレーム等を支持する機能を担う部材が支持機能を維持するため、作用する応力が許容応力状態IV <sub>A</sub> Sの許容応力を超えないことを確認する。	可動支承	ソールプレート ベースポット ベースプレート	<ul style="list-style-type: none"> <li>自重</li> <li>上載荷重(ネット, フレーム)</li> <li>竜巻風荷重</li> <li>衝撃荷重</li> </ul>	終局状態	発生する応力がJEAG 4601のIV <sub>A</sub> S以下
			竜巻の風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重に対し、フレーム等を支持する構造強度を維持するため、作用する応力が許容応力状態IV <sub>A</sub> Sの許容応力を超えないことを確認する。	ストッパー		<ul style="list-style-type: none"> <li>竜巻風荷重</li> <li>衝撃荷重</li> </ul>	終局状態	発生する応力がJEAG 4601のIV <sub>A</sub> S以下

\*1:フレームゴム支承は、2つのうち1つ以上の支承が構造強度上の評価方針を満足することを確認する。

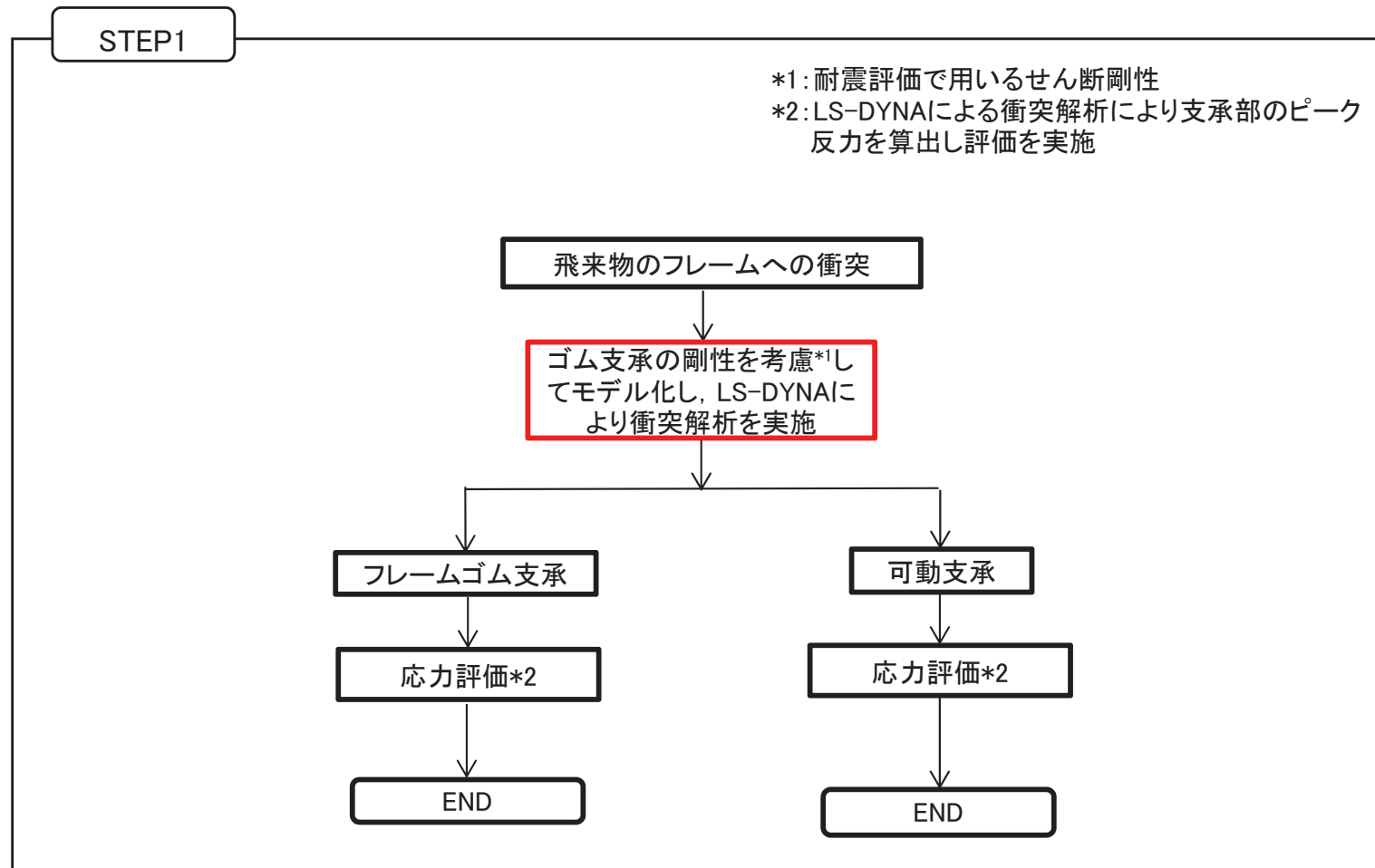
# 構造成立性確認

## STEP1

## 2. 竜巻防護ネットの構造成立性確認【STEP1】(1/5)

### 【STEP1】評価フロー

- STEP1は以下に示すフローに従い、ゴム支承、可動支承に対して構造成立性の確認を実施する。



## 2. 竜巻防護ネットの構造成立性確認【STEP1】(2/5)

### 【STEP1】解析条件

- 評価は支持機能に大きな影響を与える部材であるフレームゴム支承と可動支承に対して実施する。

表6 【STEP1】解析条件

設定項目	設定条件	考え方
ゴム支承の剛性	耐震評価で用いるせん断剛性(表7参照)	設計飛来物がフレームに衝突した場合に想定されるゴム支承の変位速度は、約0.1m/sと考えられる(参考資料1参照)。この変位速度は、地震時のゴム支承の動的特性を把握するために実施した振動数依存性試験におけるゴム支承の変位速度(0.06~0.6m/s)に包絡されることから、飛来物衝突においても、耐震評価で用いるゴム支承のせん断剛性を適用する
衝突方向	水平方向	配置および形状から水平方向から衝突する可能性は極めて低いと考えられるが、鉛直速度よりも速度が大きく、ゴム支承のせん断剛性への影響が大きい方向
衝突位置	ゴム支承近傍	ゴム支承への影響が大きくなると考えられる位置
飛来物姿勢	長辺全面で衝突	フレームには防護板や補強用のリブが設置されることから、平面となる面積が限られており、長辺全面が部材に垂直に衝突する可能性は極めて低いと考えるが、最もゴム支承に対し厳しい姿勢による挙動を確認する観点から、長辺全面が衝突すると設定

表7 【STEP1】ゴム、可動支承の結合条件

方向	フレーム ゴム支承	可動支承
X	弾性	自由
Y	弾性	剛
Z	剛	剛

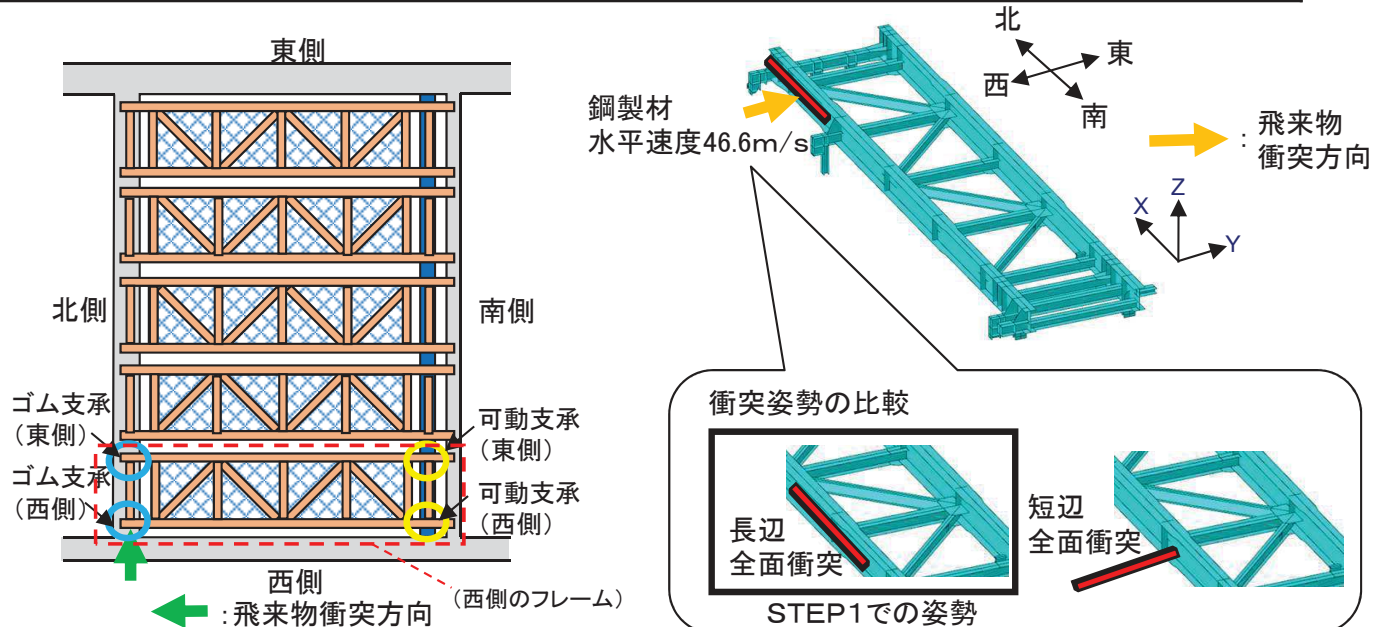


図7 飛来物衝突時の挙動確認における飛来物衝突位置および解析モデル図

## 2. 竜巻防護ネットの構造成立性確認【STEP1】(3/5)

### 【STEP1】評価結果(フレームゴム支承の支持機能評価)

- フレームゴム支承のうち、上載するフレームを支持する機能を担う部材は、①ゴム体であり、これらの部材に発生する応力等は許容値を超えず、構造強度上の評価方針を満足することを確認した。

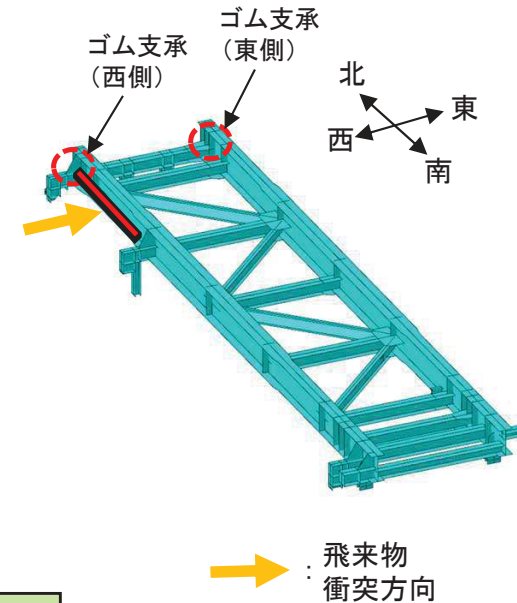
表8 STEP1におけるフレームゴム支承の評価結果

(注)本評価結果は暫定値

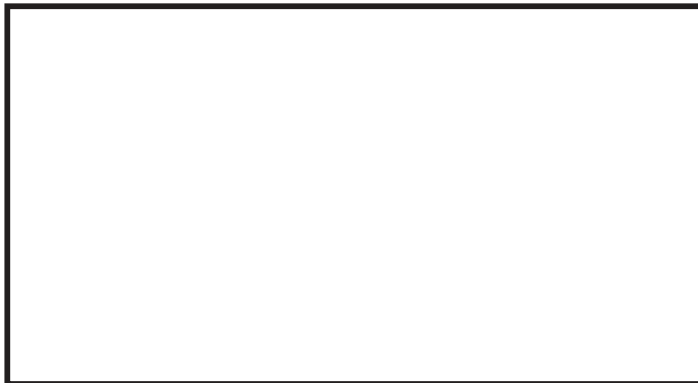
評価対象	評価項目	発生値		許容値	
		西側	東側		
フレーム ゴム支承	①ゴム体	応力度(引張)(MPa)	1.2 MPa	0.7MPa	2.0 MPa <sup>※1</sup>
		せん断ひずみ(%)	61%	60%	250 % <sup>※1</sup>
		応力度(圧縮)(MPa)	2.3MPa	2.1MPa	29.8 MPa <sup>※1</sup>
	②内部鋼板	応力度(引張)(MPa)	22MPa	20MPa	280 MPa <sup>※2</sup>
	③取付ボルト	応力度(組合せ)(MPa)	63MPa	56MPa	420 MPa <sup>※2</sup>
	④アンカーボルト	応力度(組合せ)(MPa)	86MPa	68MPa	294 MPa <sup>※2</sup>

※1: 「道路橋示方書・同解説V耐震設計編(H14.3)」に基づく道路橋支承便覧による許容値

※2: JEAG4601に基づく許容応力状態IV<sub>A</sub>Sの許容応力



断面図



平面図

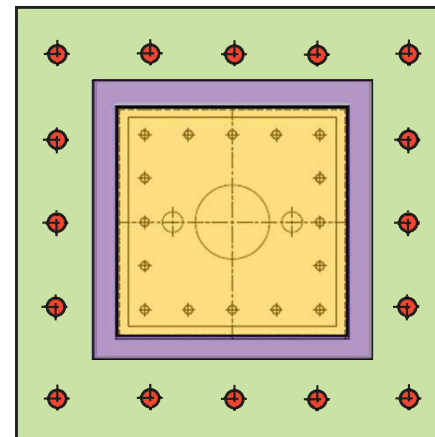


図8 フレームゴム支承の構造図

## 2. 竜巻防護ネットの構造成立性確認【STEP1】(4/5)

### 【STEP1】評価結果(可動支承の支持機能評価)

- 可動支承のうち、上載するフレームを支持する機能を担う部材は、①ソールプレート、⑥ベースポット、⑫ベースプレートであり、これらの部材に発生する応力等は許容値を超えず、構造強度上の評価方針を満足することを確認した。

表9 STEP1における可動支承の評価結果

(注)本評価結果は暫定値

評価対象	評価項目	発生値[MPa]		許容値[MPa]※1		
		西側	東側			
可動 支承	①ソールプレート	支圧応力	18	21	351	
	②すべり材	支圧応力	22	25	60(メーカー値)	
	③圧縮ゴム	支圧応力	18	21	50(メーカー値)	
	④ピストン	曲げ応力	65	74	280	
	⑤座金	支圧応力	57	65	335	
	⑥ベースポット	突出部	せん断応力	16	15	148
			曲げ応力	33	32	258
		支圧部	支圧応力	67	66	351
	⑦レール	可動支承(西側)	曲げ応力	400	390	343
			引張応力	8.8	8.7	343
			せん断応力	54	54	198
	⑧レール取付ボルト	可動支承(東側)	引張応力	600	600	525
			せん断応力	37	40	404
	⑨エンドプレート接合ボルト	引張応力	450	450	420	
	⑩上部接合ボルト	引張応力	72	71	420	
		せん断応力	220	220	323	
⑪下部接合ボルト	引張応力	210	210	420		
	せん断応力	240	230	323		
⑫ベースプレート	せん断応力	11	11	198		
	曲げ応力	180	170	343		

※1: メーカー値でないものは、JEAG4601に基づく許容応力状態IV<sub>A</sub>Sの許容応力

- : 支持機能を担う部材
- : 許容値を超えるもの

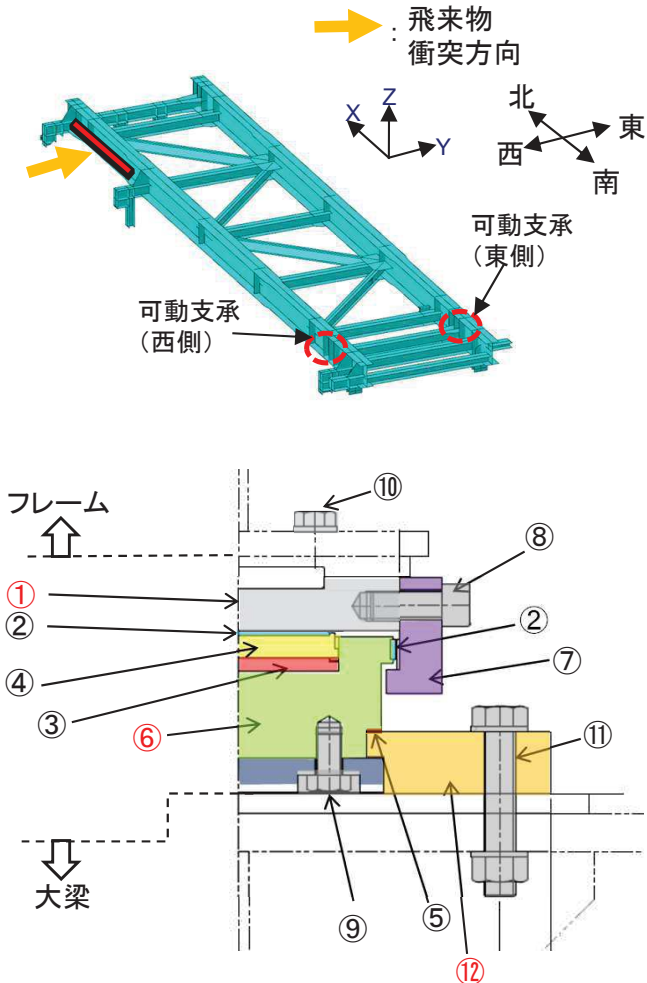


図9 可動支承の構造図(断面)

### 【STEP1】構造成立性の見通し

- ゴム支承のうち、上載するフレームを支持する機能を担う部材は、ゴム体であり、これらの部材に対し発生する応力等は許容値を超えず、構造強度上の評価方針を満足することを確認した。
- 可動支承のうち、上載するフレームを支持する機能を担う部材は、ソールプレート、ベースポット、ベースプレートであり、これらの部材に対し発生する応力等は許容値を超えず、構造強度上の評価方針を満足することを確認した。

以上より、ゴム支承の剛性を考慮した場合において、ゴム支承による影響が最も大きくなると想定される箇所に飛来物が衝突した場合でも、ゴム支承、可動支承は構造強度上の評価方針を満足し、フレームを支持する機能を維持可能な構造強度を有することを確認した。

# 構造成立性確認

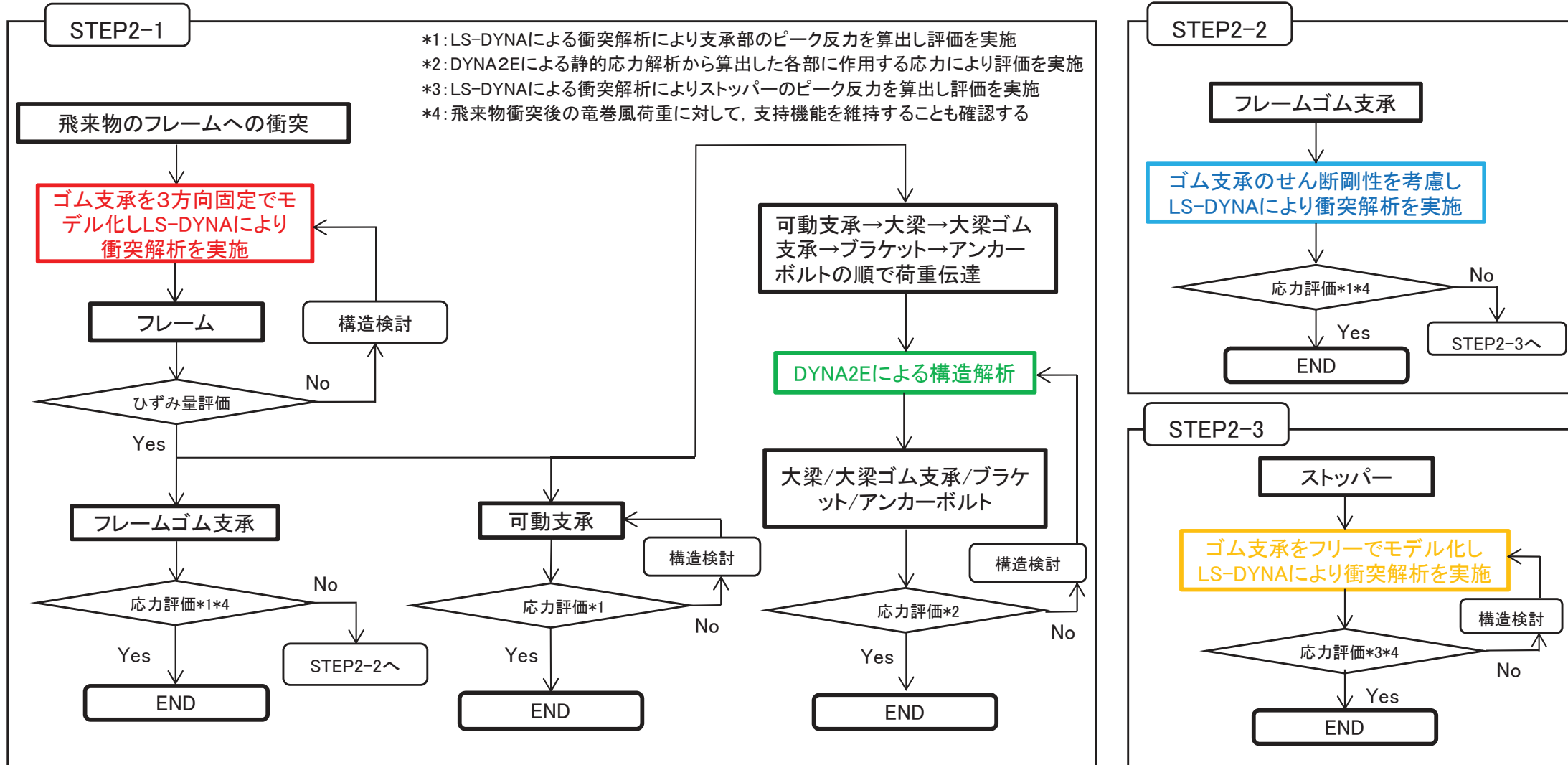
## STEP2



## 2. 竜巻防護ネットの構造成立性確認【STEP2】(1/11)

### 【STEP2】構造健全性評価フロー

- STEP2は以下に示すフローに従い、支持部材全体に対して構造成立性の確認を実施する。
- フレームゴム支承に対し、STEP2-1の条件で評価を実施した結果、許容値を満足しない場合、詳細評価(STEP2-2)としてゴム支承のせん断剛性を考慮した解析条件にて評価を実施する。
- STEP2-2のフレームゴム支承の評価結果を踏まえて、STEP2-3としてストッパーの評価を実施する。



## 2. 竜巻防護ネットの構造成立性確認【STEP2】(2/11)

### 【STEP2-1】解析条件

表10 【STEP2-1】解析条件

設定項目	設定条件	考え方
ゴム支承の剛性	3方向固定 (表11参照)	下部構造物に伝達する衝撃荷重のピーク値が大きくなるため
衝突方向	水平及び鉛直	鉛直・水平方向からの衝突による部材への影響をそれぞれ確認するため (配置および形状から水平方向から衝突する可能性は極めて低いと考えられるが、鉛直速度よりも速度が大きいため、評価を行う)
衝突位置	7パターン	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 衝突方向は衝突面積が大きい鉛直(①~③), 障害物がないNS方向南側からの水平(④)に加えて, 障害物があり飛来物衝突の可能性が低いと考えられるEW方向からの水平(⑤~⑦)も考慮する。</li> <li>➤ 各部材に対する影響が大きいと考えられる箇所を抽出               <ul style="list-style-type: none"> <li>• フレームの曲げモーメントが最大になるフレームの中央部への衝突(②, ⑥)</li> <li>• 可動支承, 大梁ゴム支承, 大梁, ブラケットが影響を受けるように, 当該部材の近傍に衝突(①, ⑤)</li> <li>• ゴム支承が大きな影響を受けるように, 当該部材の近傍に衝突(③, ⑦)</li> <li>• 可動支承のスライドによるフレームの変位によりゴム支承が大きな影響を受ける部位への衝突(④)</li> </ul> </li> </ul>
飛来物姿勢	短辺全面で衝突	竜巻防護ネットの形状, 衝突時の影響, 先行プラントの審査実績を踏まえて設定

表11 【STEP2-1】  
ゴム支承, 可動支承の結合条件

方向	フレーム ゴム支承	可動支承
X	剛	自由
Y	剛	剛
Z	剛	剛

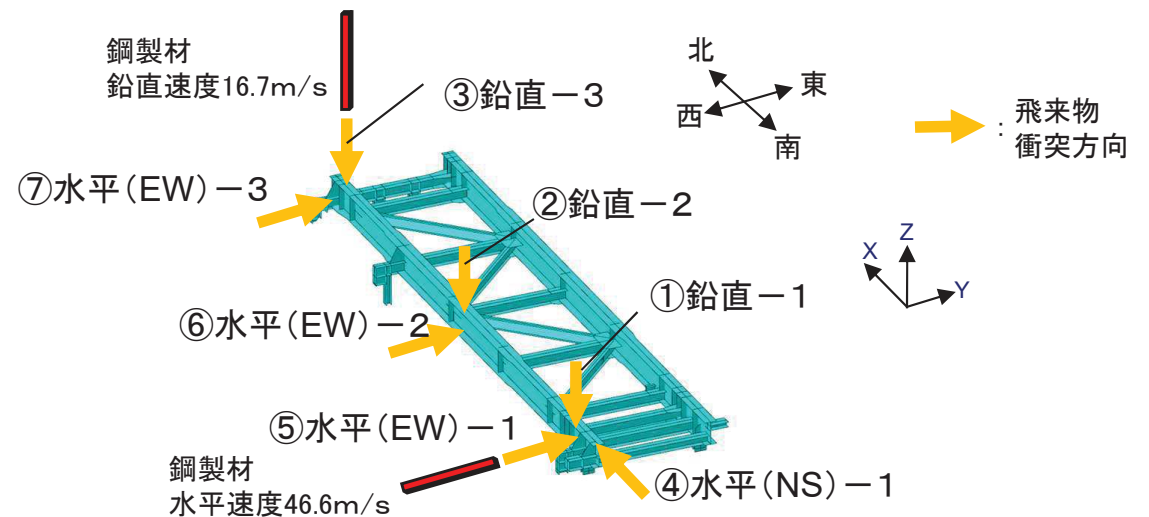


図10 飛来物衝突位置および解析モデル図(STEP2-1)

## 2. 竜巻防護ネットの構造成立性確認【STEP2】(3/11)

### 【STEP2-1】解析結果(1/2)

表12 STEP2-1における評価結果

(注)本評価結果は暫定値

評価対象部位	評価項目(単位)	飛来物衝突位置															
		①		②		③		④		⑤		⑥		⑦			
		鉛直-1	鉛直-2	鉛直-3	水平(NS)-1	水平(EW)-1	水平(EW)-2	水平(EW)-3	西側	東側	西側	東側	西側	東側	西側	東側	
フレーム	最大ひずみ(%)	0.23	0.46	1.66	1.41	1.12	1.83	9.05* <sup>1</sup>									
大梁	応力度(組合せ)(MPa)	260	160	110	120	150	130	120									
ブラケット	本体	応力度(組合せ)(MPa)	100	64	45	47	63	53	46								
	アンカーボルト	応力度(引張)(MPa)	140	100	79	84	130	100	84								
フレームゴム支承	ゴム体	応力度(引張)(MPa)	0	0	1.4	0.9	14	0.6	0.3	0.2	0.1	0	1.2	0.9	23	3.2	
		せん断ひずみ(%)	58	56	190	200	310	98	170	140	130	190	230	240	380	310	
		応力度(圧縮)(MPa)	1.2	1.2	3.4	2.6	47.5	2.1	2.2	1.8	1.6	2.2	3.8	3.4	25	7.7	
	内部鋼板	応力度(引張)(MPa)	11	11	32	24	450	20	21	17	15	21	36	32	240	72	
	取付ボルト	応力度(組合せ)(MPa)	45	44	160	160	660	95	140	120	100	160	200	210	420	310	
	アンカーボルト	応力度(組合せ)(MPa)	40	38	170	160	370	93	130	110	100	130	180	180	310	210	
大梁ゴム支承	ゴム体	応力度(引張)(MPa)	1.2	0.7	0.2	0.3	0.8	0.6	0.2								
		せん断ひずみ(%)	110	96	89	95	170	120	91								
		応力度(圧縮)(MPa)	4.7	2.8	1.8	1.9	3.2	2.3	1.9								
	内部鋼板	応力度(引張)(MPa)	50	30	19	20	34	25	20								
	取付ボルト	応力度(引張)(MPa)	110	130	100	110	180	140	100								

※1:フレーム部材端部に生じる最大ひずみが破断ひずみを上回るが、全断面の欠損に至らず部材は支持されることを確認

: 支持機能を担う部位
  : 支持部材を担う部位のうち許容値を超えるもの
  : 支持機能を担う部位以外で許容値を超えるもの

## 2. 竜巻防護ネットの構造成立性確認【STEP2】(4/11)

【STEP2-1】解析結果(2/2)

表12 STEP2-1における評価結果

(注)本評価結果は暫定値

評価対象部位	評価項目(単位)	飛来物衝突位置														
		①		②		③		④		⑤		⑥		⑦		
		鉛直-1		鉛直-2		鉛直-3		水平(NS)-1		水平(EW)-1		水平(EW)-2		水平(EW)-3		
		西側	東側	西側	東側	西側	東側	西側	東側	西側	東側	西側	東側	西側	東側	
可動 支承	ソールプレート	応力(圧縮)(MPa)	82	23	33	22	13	13	15	14	22	24	19	18	15	14
	すべり材	応力(圧縮)(MPa)	100	28	40	27	16	16	18	17	27	30	23	22	18	17
	圧縮ゴム	応力(圧縮)(MPa)	82	23	33	22	13	13	15	14	22	24	19	18	15	14
	ピストン	応力(曲げ)(MPa)	290	81	120	79	48	46	54	49	80	86	66	65	53	48
	座金	応力(圧縮)(MPa)	260	70	100	69	41	40	47	43	70	75	58	57	46	40
	ベースポット突出部	応力(せん断)(MPa)	43	20	21	12	3.5	0.1	3.8	3.3	20	10	14	11	2.7	0.4
		応力(曲げ)(MPa)	91	43	45	24	7.3	0.2	7.9	6.9	42	21	30	23	5.5	0.8
		応力(圧縮)(MPa)	190	89	92	50	15	0.3	16	14	85	44	61	47	11	1.5
	ベースポット支圧部	応力(圧縮)(MPa)	93	82	62	68	51	52	61	63	160	230	95	110	54	56
	レール	応力(曲げ)(MPa)	430	320	260	250	170	160	200	210	550	740	340	390	180	180
		応力(引張)(MPa)	25	12	12	6.6	2.0	0.1	2.2	1.9	11	5.8	8.1	6.2	1.5	0.2
		応力(せん断)(MPa)	49	40	30	33	25	25	30	31	77	110	47	56	26	28
	レール取付ボルト	応力(引張)(MPa)	500	440	340	360	270	280	330	340	840	1220	510	610	290	300
		応力(せん断)(MPa)	100	49	51	28	8.3	0.2	9.0	7.8	47	24.3	34	26	6.3	0.8
	エンドプレート接合ボルト	応力(引張)(MPa)	520	380	310	280	190	170	220	230	620	810	390	430	190	190
	上部接合ボルト	応力(引張)(MPa)	200	96	100	54	16	0.3	18	15	92	48	66	50	12	1.6
		応力(せん断)(MPa)	190	160	120	140	100	100	120	130	310	460	190	230	110	110
	下部接合ボルト	応力(引張)(MPa)	320	200	180	140	77	62	91	91	280	320	180	190	76	70
応力(せん断)(MPa)		200	170	130	140	110	110	130	130	330	480	200	240	110	120	
ベースプレート	応力(せん断)(MPa)	16	10	9.1	7.0	4.0	3.2	4.7	4.7	14	16	9.3	9.5	3.9	3.5	
	応力(曲げ)(MPa)	270	170	150	120	65	52	77	77	240	270	150	160	64	58	

  : 支持機能を担う部位       : 支持機能を担う部位以外で許容値を超えるもの

## 2. 竜巻防護ネットの構造成立性確認【STEP2】(5/11)

### 【STEP2-1】飛来物衝突時の評価結果

- フレームゴム支承は①～⑥の衝突位置の評価条件において、構造強度上の評価方針を満足することを確認した。
- ⑦の衝突位置の場合には、2つのゴム支承が許容値を満足しないことから、詳細評価(STEP2-2)としてゴム剛性を考慮した衝突解析を行い、構造成立性の確認を行う。

表13 STEP2-1における支承部の評価

衝突位置			飛来物衝突位置							
			①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	
衝突方向			鉛直-1	鉛直-2	鉛直-3	水平(NS)-1	水平(EW)-1	水平(EW)-2	水平(EW)-3	
			フレーム 可動支承近傍 鉛直	フレーム 中央部 鉛直	フレーム ゴム支承近傍 鉛直	フレーム 南側端部 水平(NS)	フレーム 可動支承近傍 水平(EW)	フレーム 中央部 水平(EW)	フレーム ゴム支承近傍 水平(EW)	
評価結果	評価対象	構造強度上の評価方針	位置							
		フレーム ゴム支承	竜巻の風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重に対し、上載するフレーム等を支持する機能を担う部材が支持機能を維持するため、作用する応力等が「道路橋示方書・同解説V耐震設計編(H14.3)」に基づく基準値を超えないことを確認する。 <sup>*1</sup>	西側	○	○	ゴム体及び内部鋼板が許容値を満足しない	○	○	○
東側				○	○	○	○	○	○	ゴム体が許容値を満足しない
可動支承		竜巻の風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重に対し、上載するフレーム等を支持する機能を担う部材が支持機能を維持するため、作用する応力が許容応力状態IV <sub>A</sub> Sの許容応力を超えないことを確認する。	西側	○	○	○	○	○	○	○
			東側	○	○	○	○	○	○	○

\*1: フレームゴム支承は、2つのうち1つ以上の支承が構造強度上の評価方針を満足することを確認する。

○: 支持機能を担う部位の発生応力又はひずみが許容値内

 : STEP2-2にて詳細評価を実施

## 2. 竜巻防護ネットの構造成立性確認【STEP2】(6/11)

【STEP2-2】解析条件(⑦の衝突位置におけるフレームゴム支承の詳細評価)

- STEP2-1における⑦の衝突位置の場合には、2つのゴム支承が許容値を満足しないことを踏まえて、詳細評価としてゴム剛性を考慮した衝突解析を行い、構造成立性の確認を行う。

表14 【STEP2-2】解析条件

設定項目	設定条件	考え方
ゴム支承の剛性	耐震評価で用いるせん断剛性(表15参照)	実現象に近いと考えられる条件で評価を行う観点から、STEP1で用いた耐震評価で用いるゴム支承のせん断剛性を適用する
衝突方向	水平方向	STEP2-1の⑦の衝突位置と同様
衝突位置	ゴム支承近傍	
飛来物姿勢	短辺全面で衝突	

表15 【STEP2-2】  
ゴム支承、可動支承の結合条件

方向	フレーム ゴム支承	可動支承
X	弾性	自由
Y	弾性	剛
Z	剛	剛

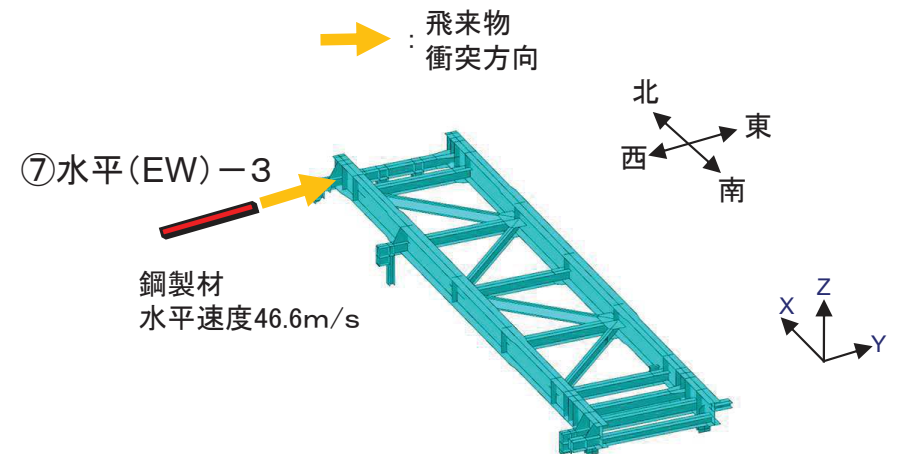


図11 飛来物衝突位置および解析モデル図(STEP2-2)

### 【STEP2-2】評価結果(ケース⑦)におけるフレームゴム支承の詳細評価)

- フレームゴム支承のうち、上載するフレームを支持する機能を担う部材は、①ゴム体であり、これらの部材に発生する応力等は許容値を超えず、構造強度上の評価方針を満足することを確認した。

表16 STEP2-2におけるフレームゴム支承の評価結果

(注)本評価結果は暫定値

評価対象	評価項目	発生値		許容値	
		西側	東側		
フレーム ゴム支承	①ゴム体	応力度(引張)(MPa)	1.1 MPa	0.8 MPa	2.0 MPa <sup>※1</sup>
		せん断ひずみ(%)	62 %	62 %	250 % <sup>※1</sup>
		応力度(圧縮)(MPa)	2.0 MPa	2.0 MPa	29.8 MPa <sup>※1</sup>
	②内部鋼板	応力度(引張)(MPa)	19 MPa	19 MPa	280 MPa <sup>※2</sup>
	③取付ボルト	応力度(組合せ)(MPa)	61 MPa	60 MPa	420 MPa <sup>※2</sup>
	④アンカーボルト	応力度(組合せ)(MPa)	98 MPa	82 MPa	294 MPa <sup>※2</sup>

※1: 「道路橋示方書・同解説V耐震設計編(H14.3)」に基づく道路橋支承便覧による許容値

※2: JEAG4601に基づく許容応力状態IV<sub>A</sub>Sの許容応力

: 支持機能を担う部位

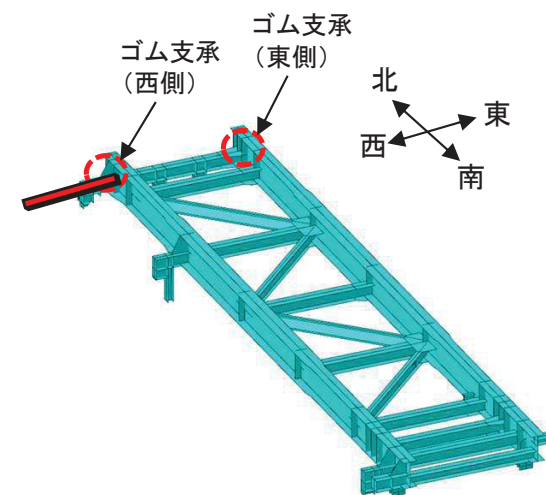


図12 飛来物衝突位置および評価対象(STEP2-2)

## 【STEP2-3】解析条件 【指摘事項④に対する回答】

- 今回実施した7つの衝突ケースでは、フレームゴム支承が許容値を満足しない場合は確認されなかったことから、ストッパーに支持機能が必要な状況ではない。しかしながら、STEP2-2の評価で許容値を満足しない場合も想定し、ストッパーの評価を実施する。
- ストッパーは設計上の保守性を考慮し、飛来物の衝撃荷重に対してゴム支承による荷重を負担せずに、ストッパーに全ての荷重を伝達する条件で評価を実施するものとし、以下のとおり構造成立性を確認した。

表17 【STEP2-3】解析条件

設定項目	設定条件	考え方
ゴム支承の剛性	自由(表18参照)	飛来物がフレームに衝突した場合の荷重をすべて伝達し、ゴム支承による荷重の負担を期待せずストッパーへかかる衝撃荷重が大きくなる条件とするため
衝突方向	水平	フレームの水平移動によるストッパーへの影響が大きい方向
衝突位置	1パターン	可動支承の拘束が期待できない可動方向(NS側)として、南側端部への衝突を考慮
飛来物姿勢	短辺全面で衝突	竜巻防護ネットの形状、衝突時の影響、先行プラントの審査実績を踏まえて設定

表18 【STEP2-3】ゴム、可動支承結合条件

方向	フレーム ゴム支承	可動支承
X	自由	自由
Y	自由	剛
Z	自由	剛

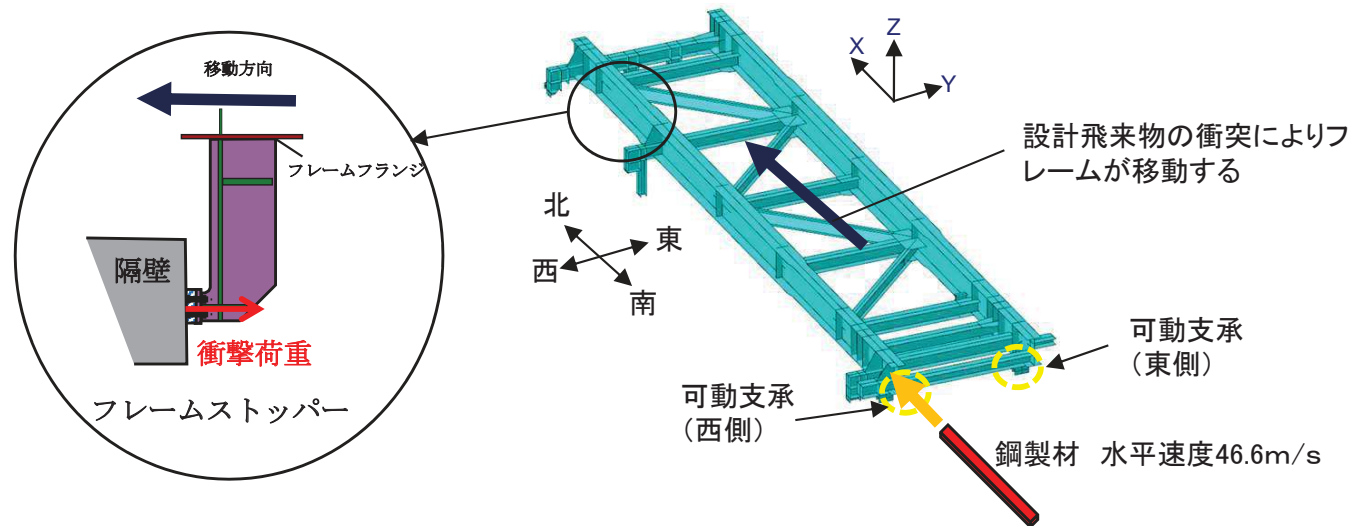


図13 可動支承の挙動確認における飛来物衝突位置および解析モデル図(STEP2-3)



## 2. 竜巻防護ネットの構造成立性確認【STEP2】(9/11)

### 【STEP2-3】評価結果

- ストッパーに発生する応力は全て許容値を満足し、構造強度上の評価方針を満足することを確認した。

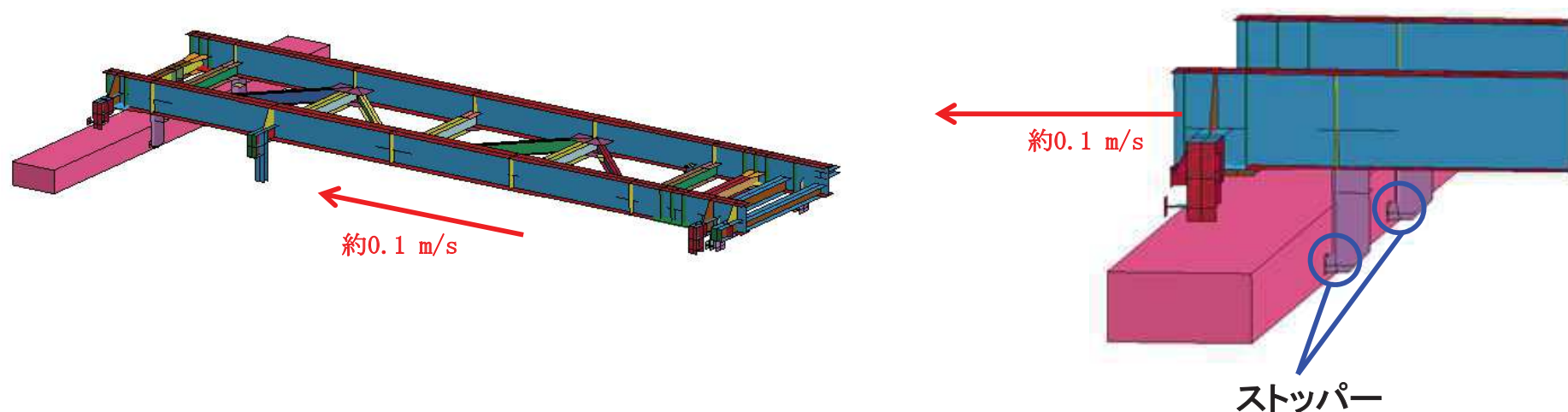


図14 設計飛来物衝突時のフレーム変位イメージ

表19 ストッパー応力評価結果

	発生値(MPa)	許容値(MPa)
せん断応力	19	198
曲げ応力	228	343
組合せ応力	230	343

(注)本評価結果は暫定値

### 飛来物衝突後の竜巻風荷重に対する評価

- 飛来物衝突後の竜巻による風荷重に対して、竜巻防護ネットは非常用海水ポンプ等に波及的影響を与えないことが要求されるため、飛来物衝突後の竜巻による風荷重に対する評価を実施する。
- STEP2-1及びSTEP2-2の評価結果から、許容値を超えないゴム支承が少なくとも1つは残ることを確認しているため、フレーム全体が受ける竜巻による風荷重が、ゴム支承1つに対して作用する条件で評価を実施する。
- 評価した結果、ゴム支承1つにより、竜巻による風荷重に対してフレームの支持機能を維持することを確認した。

(評価条件)

- 風速 : 100m/s(設計竜巻風速)
- 受圧面積は、形状を考慮した投影面積
- フレームゴム支承(西側)のみが残存し、風荷重を受ける場合を代表して評価を実施

表20 竜巻風荷重に対するフレームゴム支承の評価結果

評価対象		評価項目	発生値	許容値	
			西側		
フレーム ゴム支承	①ゴム体	応力度(引張)(MPa)	0.4 MPa	2.0 MPa※1	
		せん断ひずみ(%)	130 %	250 %※1	
		応力度(圧縮)(MPa)	1.2 MPa	29.8 MPa※1	
	②内部鋼板	応力度(引張)(MPa)	11 MPa	280 MPa※2	
		③取付ボルト	応力度(組合せ)(MPa)	100 MPa	420 MPa※2
		④アンカーボルト	応力度(組合せ)(MPa)	73 MPa	294 MPa※2

※1:「道路橋示方書・同解説V耐震設計編(H14.3)」に基づく道路橋支承便覧による許容値  
 ※2: JEAG4601に基づく許容応力状態IV<sub>A</sub>Sの許容応力

(注)本評価結果は暫定値

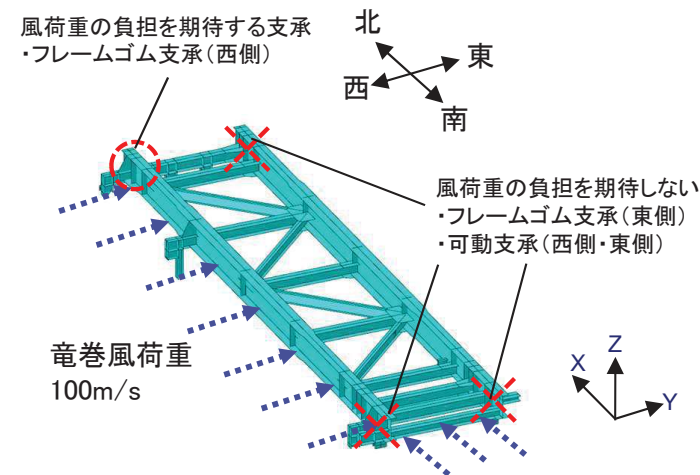


図15 飛来物衝突後の竜巻風荷重に対する評価モデル図

### 【STEP2】構造成立性の見通し【指摘事項③に対する回答】

- 全ての衝突位置において、支持部材であるフレーム、大梁、ブラケット、大梁ゴム支承、可動支承は許容値を超えず、構造強度上の評価方針を満足することを確認した。
- ただし、STEP2-1において、フレームゴム支承近傍に設計飛来物が水平に衝突する場合のみ(⑦の衝突位置)、フレームゴム支承が2つ許容値を満足しない結果となった。そのため、STEP2-2において詳細評価を実施し、フレームゴム支承が構造強度上の評価方針を満足することを確認した。
- また、飛来物衝突後には、構造健全性を保つゴム支承が少なくとも1つ残存することから、1つのゴム支承にて竜巻による風荷重及び常時作用する荷重に対し、フレームの支持機能を維持することを確認した。
- STEP2-1及びSTEP2-2の評価において、ストッパーに支持機能が必要な状況ではないが、STEP2-3として、飛来物の衝撃荷重に対してフレームゴム支承による荷重を負担せずに、ストッパーに全ての荷重を伝達する条件で評価を実施し、構造強度上の評価方針を満足することを確認した。

以上より、竜巻防護ネットの支持部材は構造強度上の評価方針を満足し、飛来物衝突時および衝突後において竜巻防護ネットの支持機能を維持することから、構造成立性の見通しがあることを確認した。

### 3. 設置許可段階と詳細設計段階での説明事項

---

【指摘事項③に対する回答】

### 3. 設置許可段階と詳細設計段階での説明事項(1/3)

- 設置許可段階では、STEP1及びSTEP2のとおり竜巻防護ネットの構造成立性に係わる代表的な評価結果をもって、構造成立性の見通しを説明した。
- 詳細設計段階では、設置許可断面の評価を踏まえて詳細設計を行い、改めて竜巻防護ネットの強度計算結果を説明する。

表21 設置許可段階及び詳細設計段階での説明事項(1/3)

評価対象	支持部材の設計方針	構造強度上の性能目標	構造強度上の評価方針	評価部材	主な機能損傷モード		許容限界	説明段階※		
					作用荷重	限界状態		EP(構造成立性見通し)		CP(構造強度)
								STEP1	STEP2	
竜巻防護ネット(支持部材)	支持部材は設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し、飛来物が非常用海水ポンプ等へ衝突することを防止するために、飛来物が支持部材を構成する主要な構造部材を貫通せず、上載するネット及び防護板を支持する機能を維持可能な構造強度を有し、非常用海水ポンプ等に波及的影響を与えないために、支持部材を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とする。	【貫通】 設計飛来物の支持部材への衝突に対して、衝突箇所貫通させない。	設計飛来物が支持部材に衝突した場合に、衝突箇所発生する衝撃荷重によって貫通が生じないように、フレームの鋼材が終局状態に至るようなひずみを生じないことを確認する。	フレーム	自重 上載荷重 (ネット) 竜巻風荷重 衝撃荷重	衝突面の全断面欠損	NEI07-13にTF(多軸性係数)を考慮して設定した破断ひずみ以下(LS-DYNAによる衝突解析によりひずみ量を算出)	-	○ (STEP2-1)	○ (STEP2-1)
		竜巻の風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重に対し、上載するフレーム等を支持する構造強度を維持するため、作用する応力が許容応力状態IV <sub>A</sub> Sの許容応力を超えないことを確認する。	大梁	自重 上載荷重(ネット、フレーム) 竜巻風荷重 衝撃荷重	発生する応力がJEAG 4601のIV <sub>A</sub> S以下	-	○ (STEP2-1)	○ (STEP2-1)		
自重 上載荷重(ネット、フレーム、大梁) 竜巻風荷重 衝撃荷重	ブラケット ブラケットアンカー ボルト	自重 上載荷重(ネット、フレーム、大梁) 竜巻風荷重 衝撃荷重								

※ EP:設置許可段階 CP:詳細設計段階 ()内は適用する評価条件を示す

# 3. 設置許可段階と詳細設計段階での説明事項(2/3)

表21 設置許可段階及び詳細設計段階での説明事項(2/3)

評価対象	支持部材の設計方針	構造強度上の性能目標	構造強度上の評価方針	評価部材		主な機能損傷モード		許容限界	説明段階※		
						作用荷重	限界状態		EP(構造成立性見通し)		CP(構造強度)
									STEP1	STEP2	
竜巻防護ネット(支持部材)	支持部材は設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し、飛来物が非常用海水ポンプ等へ衝突することを防止するために、飛来物が支持部材を構成する主要な構造部材を貫通せず、上載するネット及び防護板を支持する機能を維持可能な構造強度を有し、非常用海水ポンプ等に波及的影響を与えないために、支持部材を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とする。	【支持機能】支持部材は設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し、上載するネット及び防護板を支持する機能を維持可能な構造強度を有する。	竜巻の風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重に対し、上載するフレーム等を支持する機能を担う部材が支持機能を維持するため、作用する応力等が「道路橋示方書・同解説V耐震設計編(H14.3)」に基づく基準値を超えないことを確認する。	大梁 ゴム支承	ゴム体	<ul style="list-style-type: none"> <li>自重</li> <li>上載荷重(ネット, フレーム, 大梁)</li> <li>竜巻風荷重</li> <li>衝撃荷重</li> </ul>	終局状態	発生する引張応力が道路橋支承便覧の許容値以下	—	○ (STEP2-1)	○ (STEP2-1)
								発生するせん断ひずみが道路橋支承便覧の許容値以下	—	○ (STEP2-1)	○ (STEP2-1)
				フレーム ゴム支承(*1)	ゴム体	<ul style="list-style-type: none"> <li>自重</li> <li>上載荷重(ネット, フレーム)</li> <li>竜巻風荷重</li> <li>衝撃荷重</li> </ul>	終局状態	発生する引張応力が道路橋支承便覧の許容値以下	○	○ (STEP2-1) ○ (STEP2-2)	○ (STEP2-1) ○ (STEP2-2)
								発生するせん断ひずみが道路橋支承便覧の許容値以下	○	○ (STEP2-1) ○ (STEP2-2)	○ (STEP2-1) ○ (STEP2-2)

\*1: フレームゴム支承は、2つのうち1つ以上の支承が評価方針を満足することを確認する

※ EP: 設置許可段階 CP: 詳細設計段階 ( )内は適用する評価条件を示す

### 3. 設置許可段階と詳細設計段階での説明事項(3/3)

表21 設置許可段階及び詳細設計段階での説明事項(3/3)

評価対象	支持部材の設計方針	構造強度上の性能目標	構造強度設計	評価部材		主な機能損傷モード		許容限界	説明段階※		
						作用荷重	限界状態		EP(構造成立性見通し)		CP (構造強度)
									STEP1	STEP2	
竜巻防護ネット(支持部材)	支持部材は設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し、飛来物が非常用海水ポンプ等へ衝突することを防止するために、飛来物が支持部材を構成する主要な構造部材を貫通せず、上載するネット及び防護板を支持する機能を維持可能な構造強度を有し、非常用海水ポンプ等に波及的影響を与えないために、支持部材を構成する部材自体の転倒及び脱落を生じない設計とする。	【支持機能】 支持部材は設計竜巻の風圧力による荷重、飛来物による衝撃荷重及びその他の荷重に対し、上載するネット及び防護板を支持する機能を維持可能な構造強度を有する。	竜巻の風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重に対し、上載するフレーム等を支持する機能を担う部材が支持機能を維持するため、作用する応力が許容応力状態IV <sub>A</sub> Sの許容応力を超えないことを確認する。	可動支承	ソールプレート ベースポット ベースプレート	<ul style="list-style-type: none"> <li>自重</li> <li>上載荷重(ネット、フレーム)</li> <li>竜巻風荷重</li> <li>衝撃荷重</li> </ul>	終局状態	発生する応力がJEAG 4601のIV <sub>A</sub> S以下	○	○ (STEP2-1)	○ (STEP2-1)
			竜巻の風圧力による荷重及び設計飛来物による衝撃荷重に対し、フレーム等を支持する構造強度を維持するため、作用する応力が許容応力状態IV <sub>A</sub> Sの許容応力を超えないことを確認する。	ストッパー	<ul style="list-style-type: none"> <li>竜巻風荷重</li> <li>衝撃荷重</li> </ul>	終局状態	発生する応力がJEAG 4601のIV <sub>A</sub> S以下	—	○ (STEP2-3)	○ (STEP2-3)	

※ EP:設置許可段階 CP:詳細設計段階 ()内は適用する評価条件を示す

## 4. まとめ

---



- 女川2号炉竜巻防護ネットはゴム支承等を採用していることで、支持構造が先行プラントと相違しているが、竜巻防護対策(6条)としての役割を整理し、竜巻防護ネットの設計方針について先行プラントとの相違がないことを確認した。
- 竜巻防護ネットの設計方針を踏まえ、支持部材に対しそれぞれ構造強度上の性能目標と評価方針を定め、構造健全性の確認を実施した。
- 構造成立性の確認は、【STEP1】及び【STEP2】の条件でそれぞれ実施した。各支持部材は設定した構造強度上の性能目標と評価方針を満足し、竜巻防護ネットは設計竜巻荷重に対し支持機能を維持することから、構造成立性の見通しがあることを確認した。
- 設置許可断面では、竜巻防護ネットの構造成立性に係わる代表的な評価結果をもって、構造成立性の見通しを説明した。工認段階では、設置許可断面の評価を踏まえて詳細設計を行い、改めて竜巻防護ネットの強度計算結果を説明する。

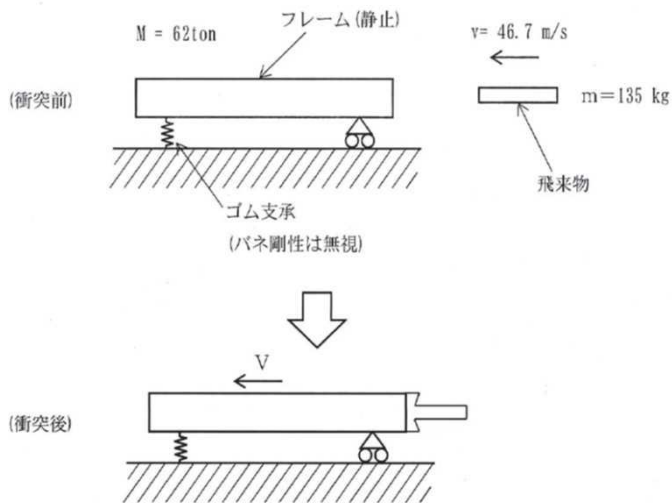
## 【参考資料1】

---

衝突解析で用いるゴム支承の剛性について

# 【参考資料1】衝突解析で用いるゴム支承の剛性について

- 竜巻防護ネットのフレームに飛来物が衝突した際のフレームの移動速度を、衝突前後の運動量保存則から算出すると、約0.1m/sとなる
- 一方、地震時のゴム支承の動的特性を把握するため、振動数依存性試験を実施しており、変位速度の最大値は約0.06~0.60m/sの範囲の速度範囲において、せん断剛性に有意な変化がないことを確認している
- したがって、飛来物衝突時の評価においても、耐震評価で得られたゴム支承のせん断剛性を適用することが可能であると考える



飛来物衝突前後のイメージ図

運動量保存則より  $mv = (m + M)V$

ここで、m: 設計飛来物(鋼製材)重量 (m = 135kg)

v: 設計飛来物(鋼製材)衝突速度 (v = 46.7m/s)

M: フレーム重量 (M = 62000kg)

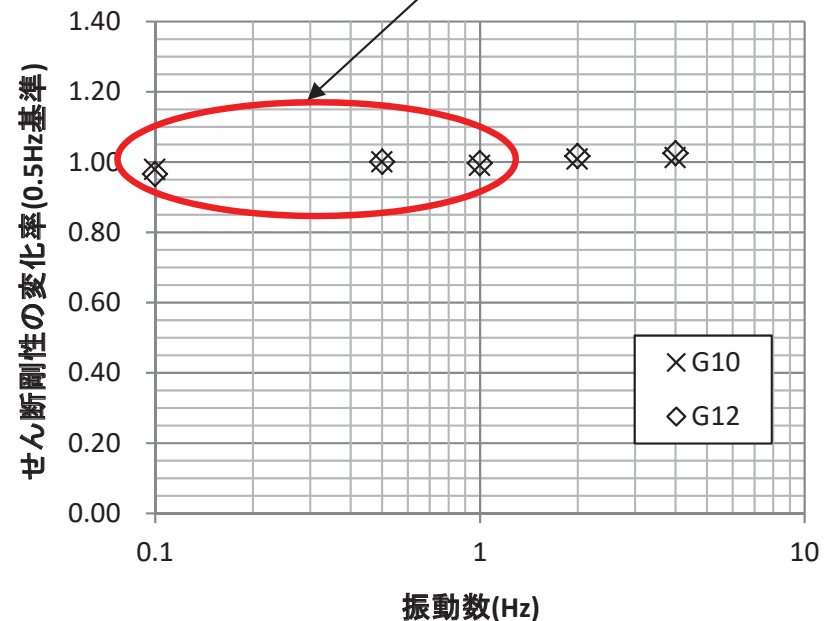
V: 衝突後のフレーム移動速度 (m/s)

$$V = mv / (m + M)$$

$$= 135 \times 46.6 / (135 + 62000)$$

$$\approx 0.101 \text{ (m/s)}$$

振動数依存性試験(ゴム支承を振幅95mmで単振動)により、ゴム支承の変位速度0.06m/s(0.1Hz)~0.6m/s(1Hz)において、ゴム支承のせん断剛性に有意な変化がないことを確認している



振動数依存性試験結果抜粋

## 【参考資料2】

---



支持機能評価対象部材以外の評価

ゴム支承, 可動支承の支持機能評価対象部材に該当しない部材について, 許容値を超えた場合による支持機能への影響について確認を実施した。

## (1) フレームゴム支承

- 支持機能評価対象外部材の一部は飛来物の衝突により許容値を超えるが, フレームをゴム支承で支持する構造は維持され, 上載するフレームの支持機能に影響を及ぼさないことを確認した。(詳細評価は表1参照)

表1 支持機能評価対象部材以外の部材が許容値を上回る場合の支持機能への影響評価(フレームゴム支承)

取付ボルト	アンカーボルト
<p>➤ 取付ボルトが組合せ応力により許容値を超えた場合でも, キーによりフレームとフレームゴム支承は位置決めされており, フレームの下部にゴム体が位置する状況は変わらないことから, 支持機能に影響を及ぼさない。</p> 	<p>➤ アンカーボルトが組合せ応力により許容値を超えた場合でも, 135kgの鋼製材の衝突により約60tのフレームがフレームゴム支承ごと水平方向に移動することは考え難く, フレームの下部にゴム体が位置する状況は変わらないことから, 支持機能に影響を及ぼさない。</p> 

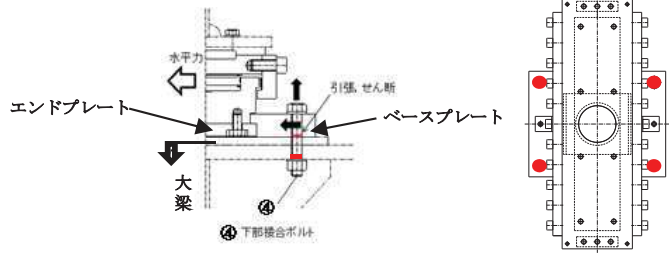
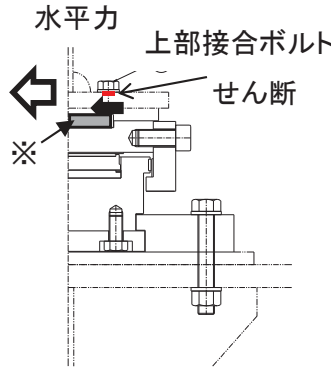
## (2) 可動支承

- 支持機能評価対象外部材の一部は飛来物の衝突により許容値を超えるが、フレームを支持する構造は維持され、支持機能に影響を及ぼさないことを確認した。(可動支承の可動機構は機能を喪失するが、支持機能は維持される)(詳細評価は表2参照)

表2 支持機能評価対象部材以外の部材が許容値を上回る場合の支持機能への影響評価(可動支承(1/2))

レール	レール取付ボルト	エンドプレート接合ボルト
<p>➤ レールとベースポットが重なる部分(赤線)が許容値を超えた場合でも、それ以外の部分は健全な状態であることから、レールは可動支承本体と一体で保たれる。よって支持機能に影響を及ぼさない。</p>	<p>➤ ベースポットと重なる範囲にあるレール取付けボルト(赤で示した範囲)が許容値を超えた場合でも、他のボルトが残存しボルト締結されているレール全体は脱落することは無い。よって支持機能に影響を及ぼさない。</p>	<p>➤ エンドプレート接合ボルトが許容値を超えた場合でも、当該ボルトは自重伝達経路部材ではないため、支持機能に影響を及ぼさない。</p>

表2 支持機能評価対象部材以外の部材が許容値を上回る場合の支持機能への影響評価(可動支承(2/2))

下部接合ボルト	上部接合ボルト
<p>➤ 下部接合ボルトが許容値を超えた場合でも、135kgの鋼製材の衝突により約60tのフレームが可動支承ごと水平方向に移動することは考え難く、ベースプレート下方に大梁が位置する状況は変わらないことから、支持機能に影響を及ぼさない。</p> 	<p>➤ 上部接合ボルトが許容値を超えた場合でも、キーによりフレームと可動支承は位置決めされており、フレームの下方に可動支承が位置する状況は変わらないことから、支持機能に影響を及ぼさない。</p>  <p>※フレームと可動支承の水平方向移動は、キーにより拘束される</p>