

リサイクル燃料備蓄センター設工認
設 1-補-011-02 <u>改 1</u>
2021 年 <u>7</u> 月 <u>9</u> 日

リサイクル燃料備蓄センター
設計及び工事の計画の変更認可申請書
(補足説明資料)

竜巻に対する固縛の方針と評価結果

令和 3 年 7 月

リサイクル燃料貯蔵株式会社

目次

1. 竜巻に対する固縛の方針について	1
1. 1 概要	1
1. 2 設計飛来物の設定について	1
1. 3 設工認申請書における飛散防止措置（固縛装置等）の 記載方針について	4
1. 4 使用済燃料を収納した金属キャスクを搬入する前までに定める 保安規定上の扱いについて	5
2. 電源車の固縛装置の評価方針及び評価結果について	6

添付 電源車の固縛装置の評価方針及び評価結果について

【参考】設計及び工事の計画の変更認可申請書 竜巻に対する電源車の固縛装置
の評価方針及び評価結果に関する変更前，変更後の内容

1. 竜巻に対する固縛の方針について

1. 1 概要

事業変更許可では、設計竜巻（100m/s）により飛来物となる物品のうち、設計飛来物（ワゴン車）を超える大型の資機材及び車両は、固縛、固定及び退避し、外部事象防護施設（使用済燃料貯蔵建屋（以下、「貯蔵建屋」という。）、金属キャスク）を防護する方針とすることについて、許可を受けている。

設工認申請書においては、設計竜巻により飛散し、金属キャスクを内包する貯蔵建屋に対する影響が最大となる電源車について、その固縛装置に関する評価を添付している。

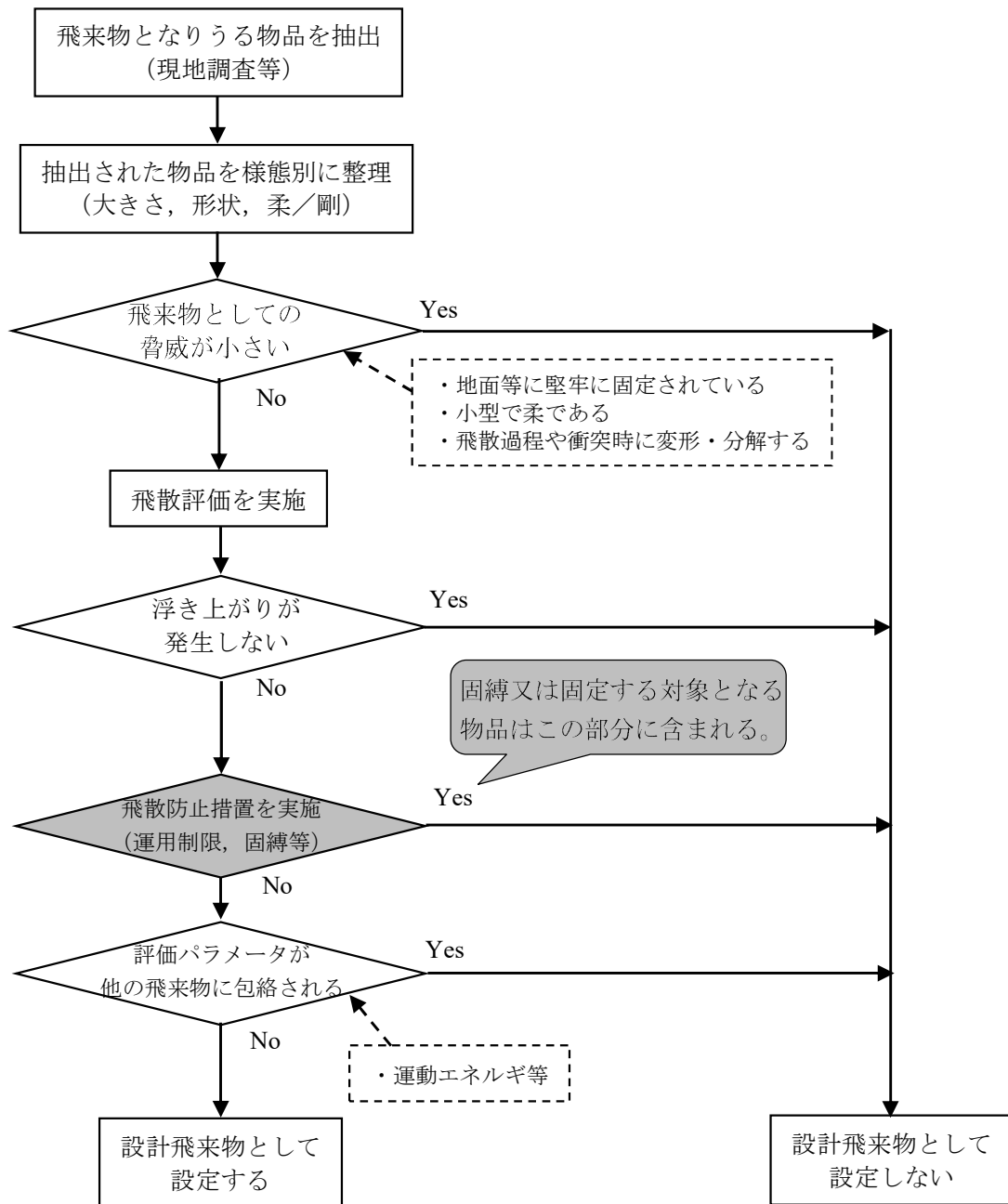
本補足説明においては、設計飛来物の設定により、固縛又は固定をすることとしている大型の資機材及び車両に関し、事業開始以降も含めた飛散防止措置に関する考え方について説明する。

1. 2 設計飛来物の設定について

貯蔵建屋は、外部事象防護施設である金属キャスクを内包する施設である。このため、飛来物による衝突荷重の影響*が金属キャスクへ及ばないようにするため、設計飛来物を設定し、原則、これを超える物品については、飛散防止措置（固縛、固定及び退避）を実施することとしている。

設計飛来物は、竜巻影響評価ガイドを参照しつつ、第1図に示す設計飛来物の設定フローに基づき、敷地内外における飛来物となりうる物品を網羅的に調査し、それらの中から代表性を持たせた物品を設計飛来物として設定している。

*貯蔵建屋の壁厚に対し、飛来物の衝突による裏面剥離限界厚さが下回っていれば貯蔵建屋壁の裏面剥離を生じることはなく、金属キャスクへの影響もない。なお、設計飛来物については、裏面剥離限界厚さを下回っている。



第1図 設計飛来物の設定フロー

事業変更許可では、設定フローに基づき、鋼製材、ワゴン車を設計飛来物として設定しているが、貯蔵建屋へ及ぼす影響の観点で、ワゴン車が鋼製材を包絡できることから、以降の説明ではワゴン車を設計飛来物の代表として扱うこととする。設計飛来物（ワゴン車）の諸元を第1表に示す。

第1表 設計飛来物（ワゴン車）の諸元

寸法（長さ×幅×高さ）（m）	5.4×1.9×2.3
質量(kg)	1970
水平最大速度(m/s)	53
鉛直最大速度(m/s)	27
運動エネルギー(kNm)	2800

設計飛来物（ワゴン車）は、運動エネルギーが比較的大きく、飛散防止措置として退避させる車両を除くと、第1図に示すとおり、固縛又は固定する（設計飛来物として設定しない）物品が今回の対象となる。

1. 3 設工認申請書における飛散防止措置（固縛装置等）の記載方針について
 現在、構内に設置されている設計飛来物を超える物品（第2表参照）は電源車のみであるが、事業変更許可（下記参照）では、固縛装置等について触れていないことから、その記載方針を明確化する。

＜添付書類六（1.1.8.5 評価手順及び飛散防止措置）より抜粋＞

屋外において飛散するおそれのある資機材及び車両については、飛来時の運動エネルギー等を評価し、外部事象防護施設への影響の有無を確認する。外部事象防護施設へ影響を及ぼす大型の資機材及び車両については、飛散防止措置として、固縛、固定又は退避を実施することとし、これらについて、あらかじめ定める手順に従って対応する。

第2表 現在構内に保管されている設計飛来物を超える物品

物品名	飛散防止措置	運動エネルギー (kNm)	備考
電源車	固縛	7400	固縛装置については、設工認申請書の添付書類に強度計算書を記載する。

※運用にて担保する設計飛来物（ワゴン車）の運動エネルギーは、2800kNmである。

今回、固縛対象としている電源車は、次に示す3点を考慮し、その固縛装置について、設工認申請書の添付書類に強度計算書を記載している。

- ・設工認申請書 添付書類3 第3-1表 施設と条文の対比一覧表（設工認申請対象機器の技術基準への適合性に係る整理）にて抽出された設備である。
- ・運用上、構内に設置され、竜巻の襲来前に退避させることは困難である。
- ・運動エネルギーが設計飛来物であるワゴン車を超える車両である。

今後も前述の考え方を踏襲しつつ、次に示す①～③の全てに該当する設備（車両を含む）が構内に設置される場合は、当該設備の設工認申請を行なうこととする。

- ① 設工認申請書 添付書類 3 第 3-1 表 施設と条文の対比一覧表（設工認申請対象機器の技術基準への適合性に係る整理）にて抽出される設備と同等の設備である。
- ② 運用上、構内に設置され、竜巻襲来前に移設（退避）させることは困難である。
- ③ 運動エネルギーが設計飛来物を超える設備である。
なお、浮き上がりが発生しない、又は、竜巻により飛散したとしても貯蔵建屋に到達しない設備は除く。

1. 4 使用済燃料を収納した金属キャスクを搬入する前までに定める保安規定上の扱いについて

使用済燃料を収納した金属キャスクを搬入する前までに定める保安規定上の運用は、原則として、以下のように考えており、飛散防止措置については、当該保安規定にて担保することとしたい。

<車両>

- ・車両の構内への乗入れは最小限とする。
- ・退避による飛散防止措置を活用する。（この場合、当該車両に対しての固縛装置は不要となる。）

<資機材>

- ・設計飛来物を超えるような大型の資機材は構内に搬入しない。
- ・資機材の構内への持ち込みは最小限とする。

2. 電源車の固縛装置の評価方針及び評価結果について

電源車の固縛装置の評価方針及び評価結果については、添付に記載する。

以 上

電源車の固縛装置の評価方針及び評価結果

目次

1.	はじめに	1
2.	固縛装置の構造	1
3.	評価方針	10
4.	記号の説明	11
5.	荷重及び荷重の組合せ	13
5. 1	浮き上がり荷重の算出	14
5. 2	横滑り荷重の算出	15
5. 3	動的荷重の算出	15
5. 4	荷重の組み合わせ	18
6.	評価方法	19
6. 1	左右方向の横滑り時の評価モデル	19
6. 2	横滑り時に固縛装置1箇所あたりに作用する荷重の算出	20
6. 3	ロータリーアイボルト及びフレノ・リンクボルト中心の座標記号の設定	21
6. 4	電源車最大移動量 xSA の算出	22
6. 4. 1	スリング伸び最大時の連結材の長さ	22
6. 4. 2	左右方向の横滑り量の算出	23
6. 4. 3	電源車移動後のロータリーアイボルト中心座標	24
6. 4. 4	連結材となす角 θV 及び θH の算出	25
6. 5	連結材（ロータリーアイボルト）に作用する荷重の算出	28
6. 6	固定材（車両側）に作用する荷重及び応力の算出	29
6. 6. 1	固定材（ブラケット）の荷重及び応力の算出	30
6. 6. 2	ボルトの荷重及び応力の算出式	32
7.	許容限界の算出	33
7. 1	各固定材の材料の設計降伏点 Sy 、及び、設計引張強さ Su の算出	33
7. 2	比例補間	34
7. 3	材料の基準強度の算出式	34
7. 4	許容限界の算出式	35
8.	評価結果	36
8. 1	連結材の評価結果	36
8. 2	地面側固定材の評価結果	37
8. 3	基礎部の評価結果	37
8. 4	車両側固定材の評価結果	38
9.	適用規格	39

1. はじめに

本資料は、リサイクル燃料備蓄センターの設計及び工事の計画の変更認可申請書において「添付 7-2-4 竜巻に対する電源車の固縛装置の評価方針及び評価結果」で示した評価結果の中で、全ての評価対象で裕度が最も小さい評価部位（スプリングブラケット部のボルト）について算定した計算過程について補足する説明資料である。

本資料の中で、上述した裕度が最も小さい評価部位（ボルト）と、当該部分のブラケットに発生する応力の算出に用いる記号、算出式を赤枠黄色ハッチングにて示す。

なお、全ての評価対象についての計算過程は上記と同様であるため割愛するが、作用荷重が許容限界以下であることを 8. 評価結果にて示す。

2. 固縛装置の構造

固縛装置は、車両側固定材、連結材、地面側固定材の構成とし、車両側固定材を電源車のシャーシに固定する。

車両側固定材は車両のシャーシの形状に合わせたブラケットを製作し、第 2-2 図に示す⑤⑥フロント フック取付部、①③サイド 車体フレーム部、②④サイド スプリングブラケット部、⑦⑧リヤ バンパー部にボルトで装着する。

当該電源車は、バッテリーや燃料タンクの位置により、一部、左右対称の位置から固縛できないため、左右非対称の固縛配置となる。

電源車の外形を図 2-1 に、固縛装置配置図を図 2-2 に示す。

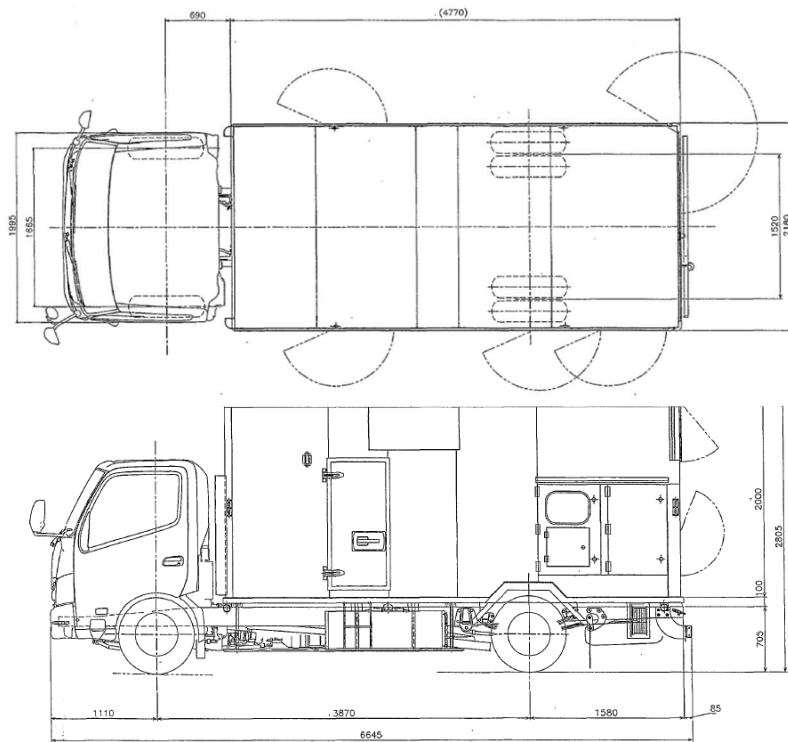


図 2-1 電源車の外形図

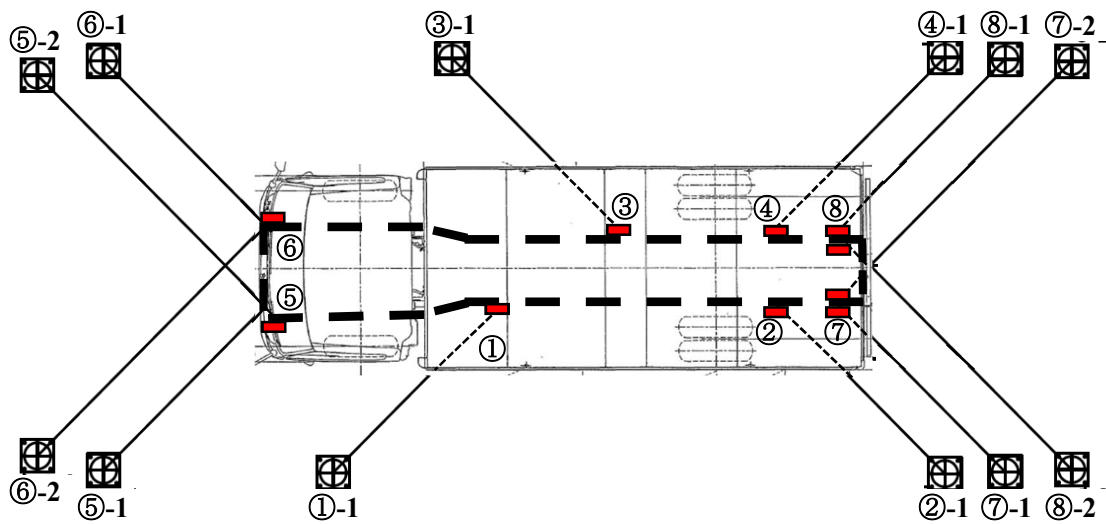


図 2-2 固縛装置配置図

固縛装置を構成する、車両側固定材、連結材、地面側固定材は以下の要素からなる構造とし、地面側固定材をコンクリートの基礎部にアンカーボルトにて固定する構造とする。

- 連結材（ロータリーアイボルト、スリング、シャックル、レバーブロック、フレノ・リンクボルト）
- 車両側固定材（ブラケット（製作品）、ボルト）
- 地面側固定材（アンカープレート）

固縛装置の連結材はレバーブロックの長さ調節により初期状態にて展張状態とする。固縛装置の構成を図 2-3 に、ブラケット配置図を図 2-4 に、固縛装置の構成要素を第 2-1 表に示す。

また、電源車のサイド スプリングブラケットに車両側固定材のブラケットを取り付ける構造が複雑であるため、電源車のサイド スプリングブラケットの詳細図を図 2-5 に、車両側固定材（ブラケット）の外形図を第 2-2 表に、サイド スプリングブラケットに車両側固定材（ブラケット）を取り付けた参考図を図 2-6 に示す。

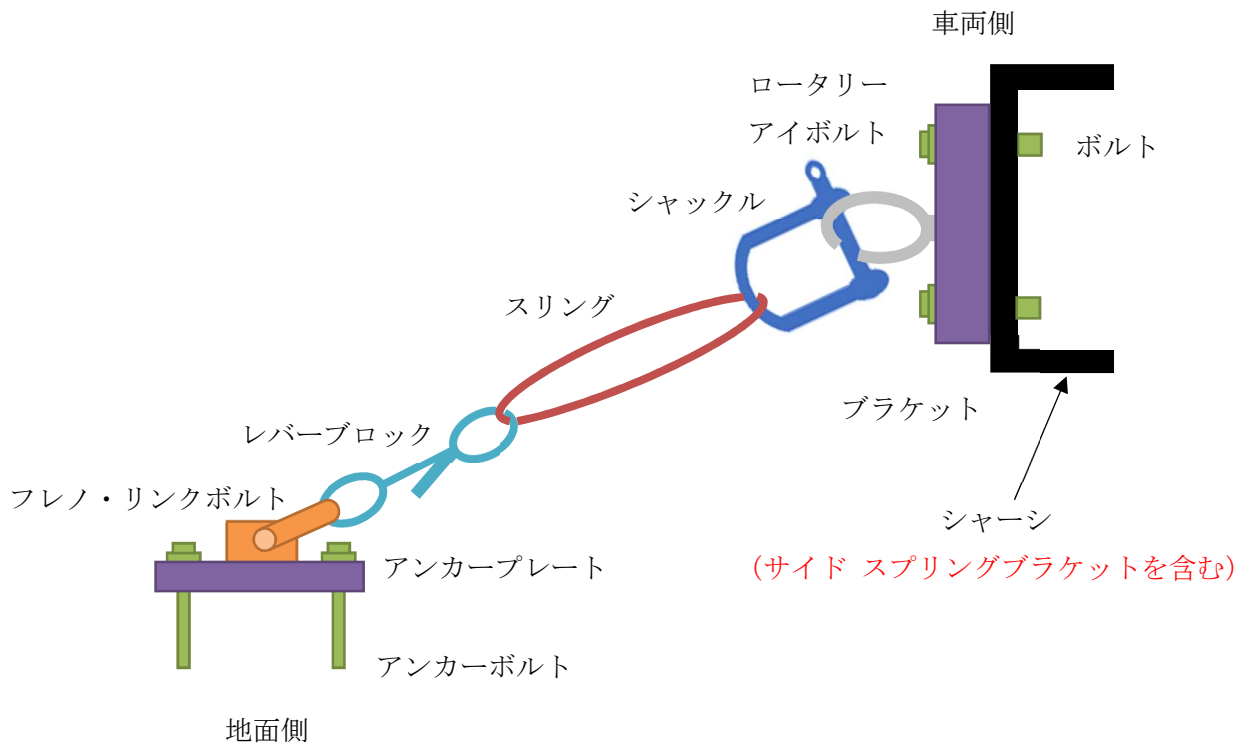
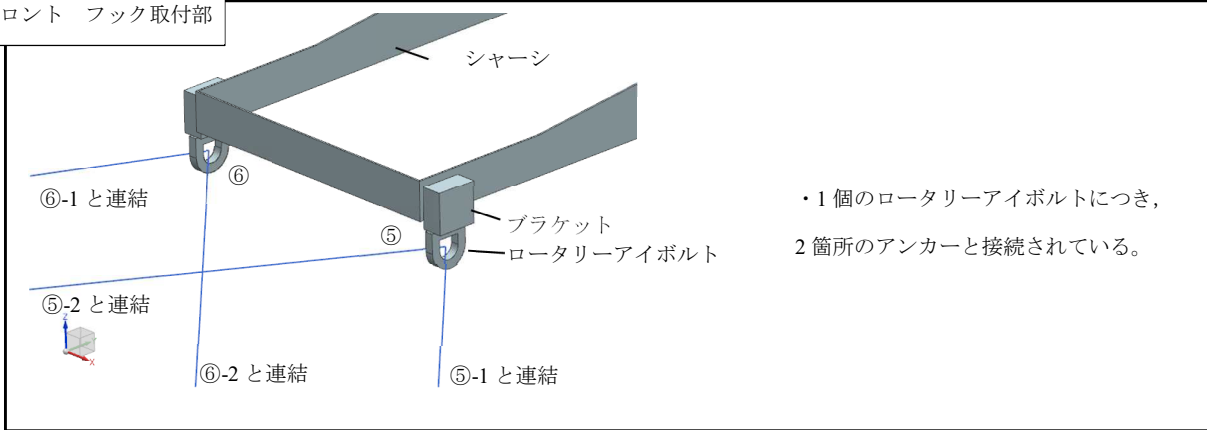
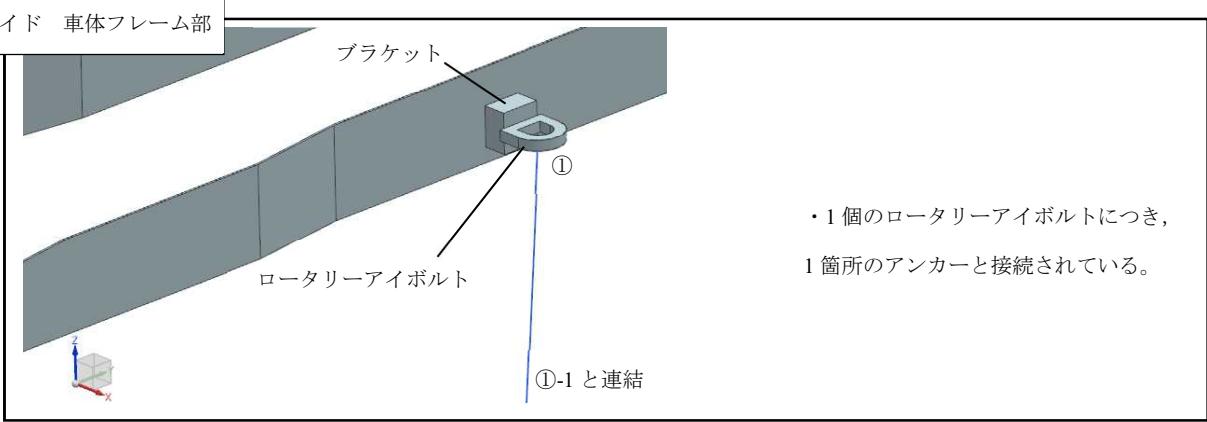


図 2-3 固縛装置の構成

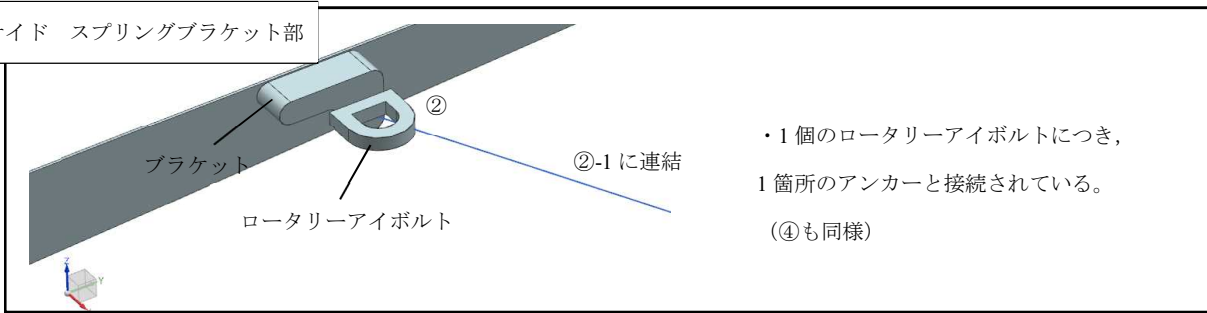
フロント フック取付部



サイド 車体フレーム部



サイド スプリングブラケット部



リヤ バンパー取付部

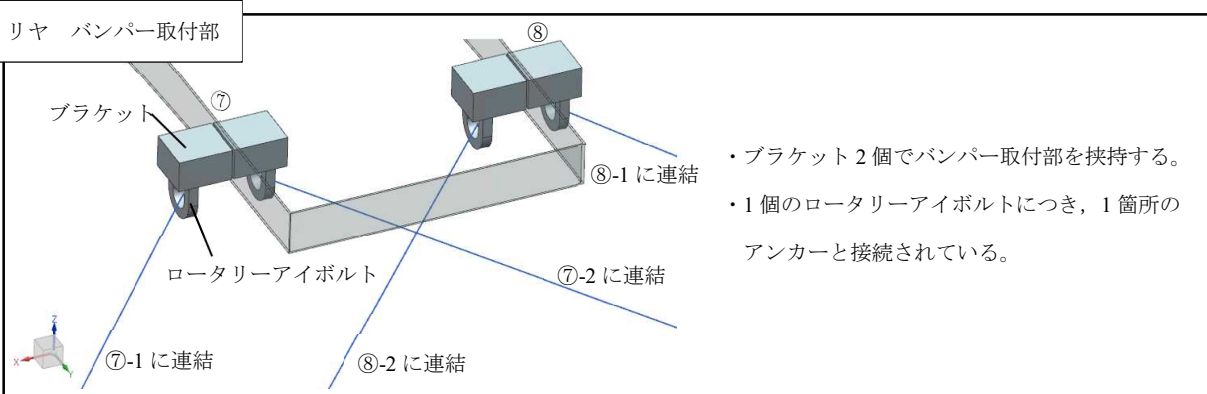



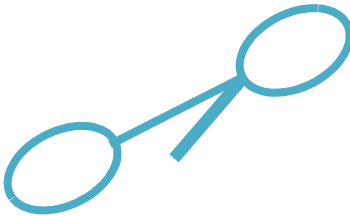
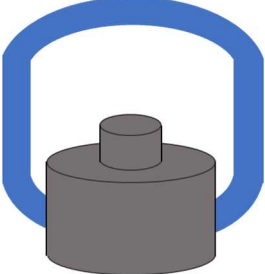
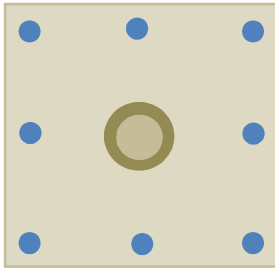
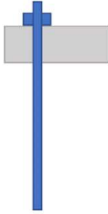
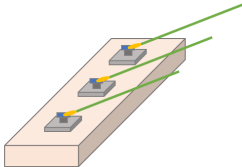
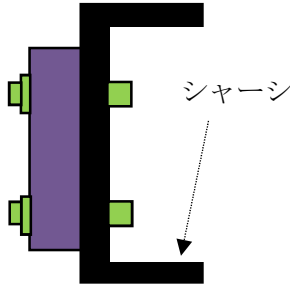



図 2-4 ブラケット配置図

第 2-1 表 固縛装置の構成要素

固縛装置構成要素名称		模式図	用途
連結材	ロータリー アイボルト		電源車と固縛装置の固定材をつなぎ、電源車を固縛するときに使用する。
	シャックル		
	スリング		
	レバーブロック		
	フレノ・リンク ボルト		

固縛装置構成要素名称		模式図	用途
固定材 (地面側)	アンカープレート		基礎部に取り付け、フレノ・リンクボルトを溶接し、電源車を固縛するときに使用する。
基礎部	アンカーボルト		アンカープレートと基礎部を定着させるために使用する。
	コンクリート		連結材及び固定材との連結により、コンクリートの重量によって、電源車の浮き上がり及び横滑りを防止するために使用する。
固定材 (車両側)	ブラケット		ロータリーアイボルトを介して連結材と接続し、電源車を固縛するときに使用する。 (第2-2表参照)
	ボルト		ブラケットを電源車に取り付けるために使用する。

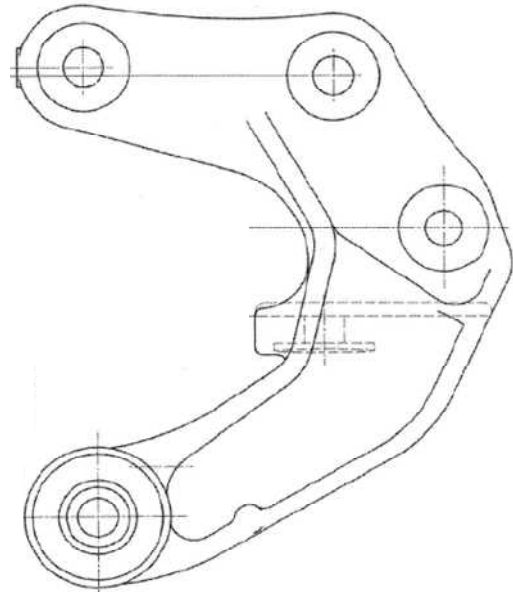
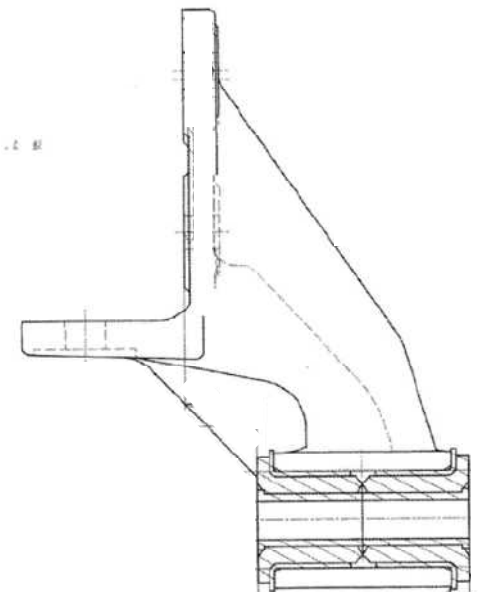
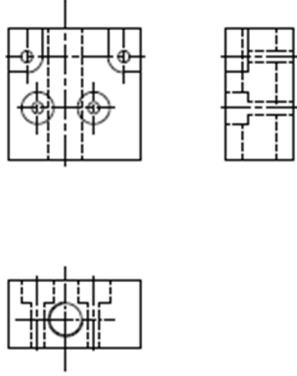
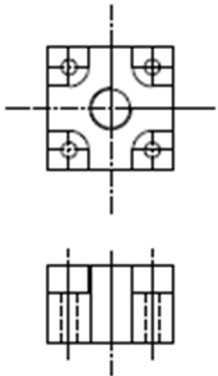
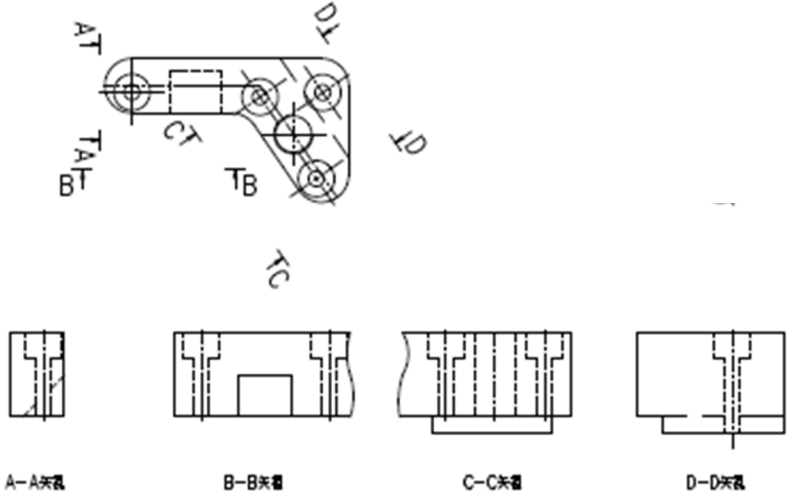
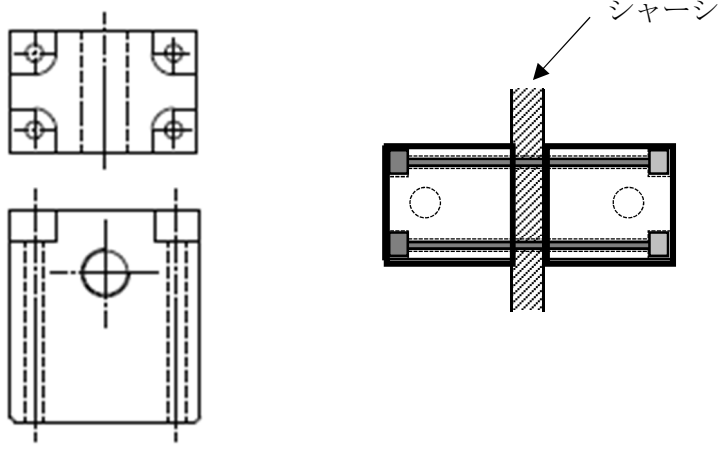


図 2-5 電源車サイド スプリングブラケット外形図

第 2-2 表 車両側固定材（ブラケット）の外形図

車両取付位置	車両側固定材（ブラケット）（製作品）
<p>フロント フック取付部 (⑤, ⑥)</p>	
<p>サイド 車体フレーム部 (①, ③)</p>	
<p>サイド スプリングブラケッ ト部 (②, ④)</p>	 <p>A-A矢視 B-B矢視 C-C矢視 D-D矢視</p>

車両取付位置	車両側固定材 (ブラケット) (製作品)
リアバンパー部 (⑦, ⑧)	

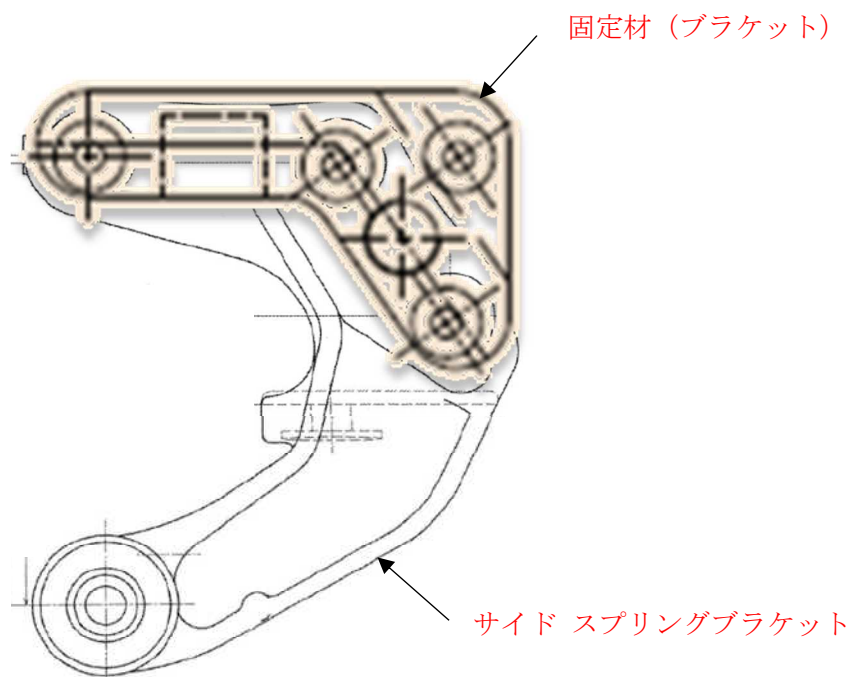


図 2-6 サイド スプリングブラケットと固定材 (ブラケット) の取付図 (参考)

3. 評価方針

固縛装置の強度評価は，設計竜巻の風圧力による荷重によって，「6. 評価方法」に示す方法により評価対象部位に生ずる荷重及び応力が，「7.4 許容限界」に収まることを「8. 評価結果」にて確認する。

固縛装置の強度評価フローを図 3-1 に示す。

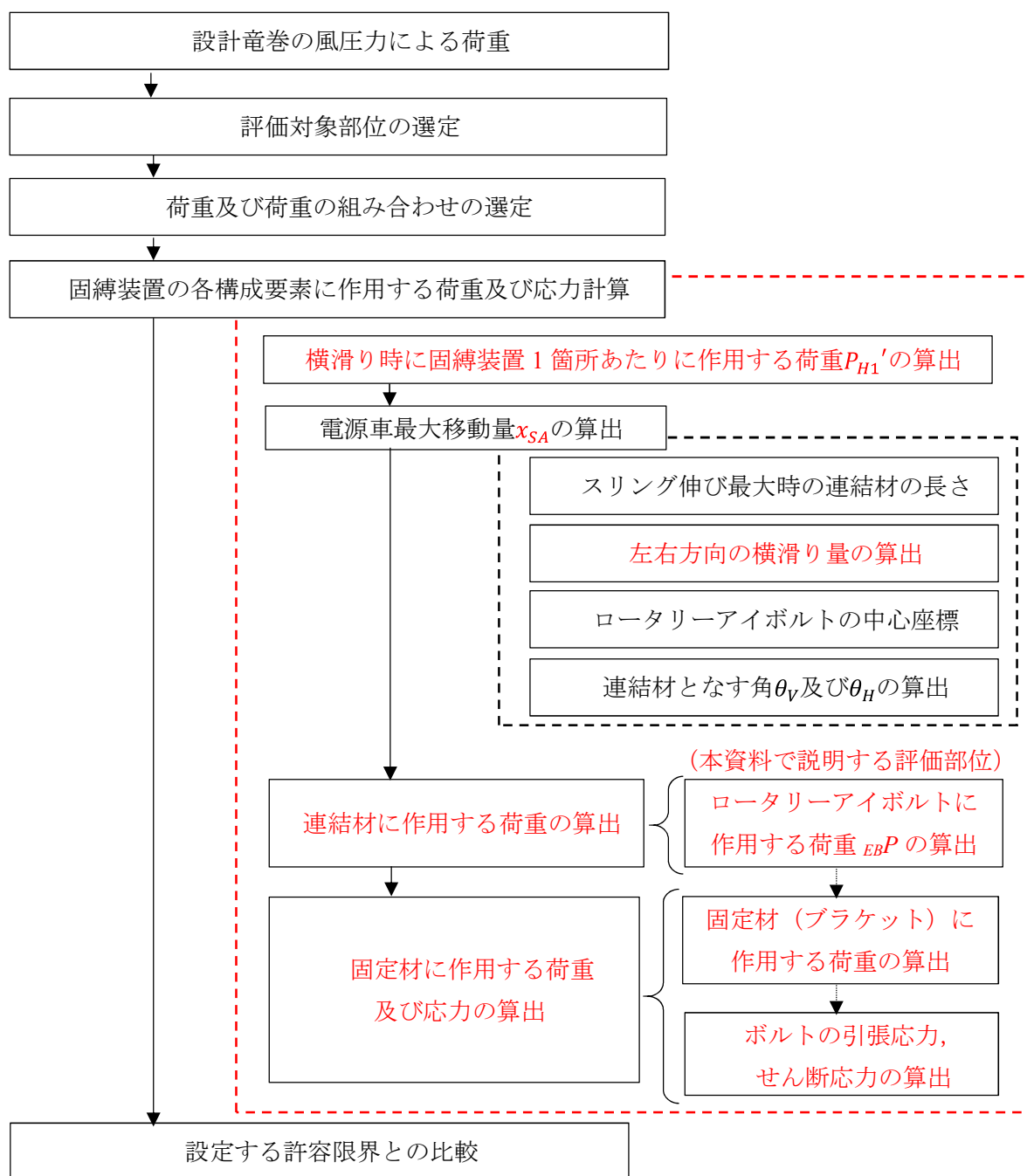


図 3-1 固縛装置の強度評価フロー

4. 記号の説明

荷重の算出に用いる記号を表 4-1 に示す。

表 4-1 荷重の算出に用いる記号

記号	定義	単位
F_i	動的荷重	N
F_i'	荷重	N
P_H	電源車に作用する横滑り荷重（左右方向）	N
P_i	電源車に作用する動的荷重（左右方向）	N
m	電源車の質量	kg
g	重力加速度	G
ρ	空気密度	kg/m ³
$\frac{C_D A}{m}$	空力パラメータ*1： $\frac{C_D A}{m} = \frac{0.33(C_{D1}A_1 + C_{D2}A_2 + C_{D3}A_3)}{m}$	—
C_{D1}	電源車の形状に応じた抗力係数*1	—
C_{D2}	電源車の形状に応じた抗力係数*1	—
C_{D3}	電源車の形状に応じた抗力係数*1	—
A_1	電源車の正面の見付面積	m ²
A_2	電源車の底面の見付面積	m ²
A_3	電源車の側面の見付面積	m ²
q	設計用速度圧： $q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_{SA}^2$	kg/m·s ²
G	ガスト影響係数*2	—
C	風力係数*3	—
k	スリングの等価剛性： $k = \frac{slE \cdot sl^A}{sl^L}$	N/m
$V_{SA,OT}$	固縛装置が作動する時点での 電源車の終端速度（前後方向）	m/s
	固縛装置が作動する時点での 電源車の終端速度（左右方向）	m/s
a	電源車の加速度（左右方向）	m/s ²
t	電源車停止までの時間（左右方向）	s
V_{SA}''	固縛装置が作動する時点で電源車に作用する風速	m/s
μ_d	電源車と路面の動摩擦係数	—

- *1 「東京工芸大学, “平成 21～22 年度 原子力安全基盤調査研究（平成 22 年度）竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究”, 独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究成果報告書, 平成 23 年 2 月」による。
- *2 「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」による。
- *3 「建築物荷重指針・同解説」による。

5. 荷重及び荷重の組合せ

電源車の固縛装置の強度評価に用いる荷重として、竜巻の風荷重によって、電源車が浮き上がり又は横滑りを起こした場合に、固縛装置に作用する荷重を設計荷重とする。設計荷重は、固縛装置が浮き上がり又は横滑り挙動を拘束するために発生する荷重であり、電源車に最大水平風速による風荷重が作用したケースを考慮して設定する。

また、固縛装置は初期状態にて展張しているが、電源車に風荷重が作用し、水平方向に横滑りする際、連結材のスリングに伸びが発生する。水平移動する電源車は、スリングの伸びが最大に達するとともに急制動により停止し、その際、固縛装置には、制動荷重の反力として動的荷重が作用するため、この動的荷重も設計荷重として考慮する。

なお、車両停止以後は、風荷重が持続荷重として継続して作用する。

また、竜巻の最大水平風速時に発生する浮き上がり及び横滑りの荷重状態を比較し、各固縛装置に作用する荷重のうち、最大荷重を設計荷重とする。

浮き上がりに伴い固縛装置に作用する荷重の算出については、空力パラメータから算出した揚力が自重よりも大きく、浮き上がると判断される電源車に対して行う。

電源車に作用する風速としては、最大水平風速 $V_{SA}=100\text{m/s}$ を使用することとする。

5. 1 浮き上がり荷重の算出

電源車の浮き上がり時に発生する荷重 P_V は、設計竜巻により電源車に発生する鉛直力とする。

浮き上がり荷重は、電源車の形状による空力パラメータを用いて算出される揚力が自重を上回る(=空力パラメータから算出される揚力 - 自重 >0)場合に上向きの力として電源車に作用する。

電源車に作用する揚力は、揚力係数の代わりに保守的な設定となる抗力係数を用いることにより保守的に設定された揚力 $F_{L,m}$ を用い、以下の式にて算出する。

$$F_{L,m} = \frac{1}{2} \rho \cdot V_{SA}^2 \cdot C_D A$$

$F_{L,m}$: 揚力

ρ : 空気の密度

V_{SA} : 電源車に作用する設計竜巻の最大水平風速

$C_D A$: 抗力係数と見付面積の積の平均値

保守的な揚力を空力パラメータ $C_D A/m$ を用いた式に展開すると、浮き上がり荷重 P_V は次に示す式により算出する。

$$\begin{aligned} P_V &= F_{L,m} - m \cdot g = \frac{1}{2} \rho \cdot V_{SA}^2 \cdot C_D A - m \cdot g \\ &= m \left(\frac{1}{2} \rho \cdot V_{SA}^2 \cdot \frac{C_D A}{m} - g \right) \end{aligned}$$

なお、空力パラメータの算出等については「東京工芸大学，“平成 21～22 年度原子力安全基盤調査研究(平成 22 年度) 竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究”，独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究成果報告書，平成 23 年 2 月」に基づき、以下の $C_D A/m$ として算出する。

$$\frac{C_D A}{m} = \frac{0.33(C_{D1}A_1 + C_{D2}A_2 + C_{D3}A_3)}{m}$$

5. 2 横滑り荷重の算出

横滑りに伴い発生する荷重 P_H は、電源車に設計竜巻の風圧力による荷重が作用するときの水平力とし、「日本建築学会 建築物荷重指針・同解説」に準拠して、次に示すとおりとする。

$$P_H = q \cdot G \cdot C \cdot A_{1(3)}$$

q : 設計用速度圧

G : ガスト係数

C : 風力係数

$A_{1(3)}$: 受圧面積(A_1 :正面の見付面積 A_3 :側面の見付面積)

$$q = \frac{1}{2} \rho \cdot V_{SA}^2$$

ρ : 空気の密度

V_{SA} : 電源車に作用する最大水平風速

5. 3 動的荷重の算出

固縛装置が作動（スリングに伸びが発生）し、スリングの伸びに伴って電源車が初期位置から水平方向に横滑りする際、スリングの伸びが最大に達するとともに急制動により停止し、図 5.3 に示すように、固縛装置には、制動荷重の反力として動的荷重が発生する。制動荷重は、スリング伸びが最大となる直前に電源車が有していた速度 V_{SA} が 0 (= 停止) になったとし、電源車が損失した運動量と力積との関係によって算出することができ、動的荷重も制動荷重の反力であるから同様に算出できる。

電源車が停止したときには、連結材を弾性体として、弾性的な荷重が作用するモデルにて評価し、電源車が損失した運動量による制動荷重の反力が、動的荷重として作用すると考え、以下の手順によって動的荷重を算出する。

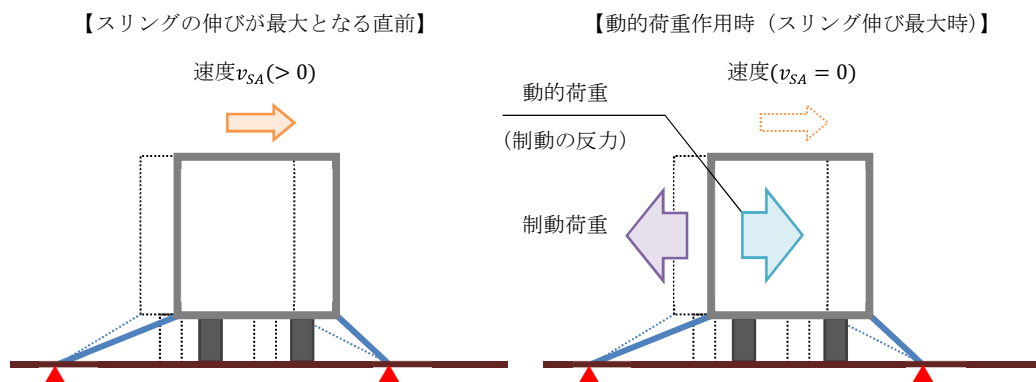


図 5.3 スリング伸び最大時の電源車の概要モデル

電源車の停止時に、固縛装置に作用する動的荷重は、急制動による停止に伴う動的荷重によって連結材に作用する張力に加え、風圧力及び動摩擦力による荷重 F_i' を静荷重として、動的荷重 F_i による連結材に作用する張力に加算する。

電源車が有する運動量は mV_{SA} である。固縛装置が作用し始めて Δt の間に停止したとすると、連結材に発生する動的荷重 F_i と運動量の関係は、(1)式に示すとおりとなる。

$$\int_0^{\Delta t} F_i(t)dt = m \cdot V_{SA} \quad \dots(1)$$

連結材の等価剛性を k として、連結材に張力が作用し、電源車の速度が0になったとすると、振幅 B として、連結材の変位 x_{LN} は、(2)式で表される。

$$x_{LN} = B \cdot \sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}} \cdot t\right) \quad \dots(2)$$

また、フックの法則により連結材に発生する動的荷重 F_i は、(3)式となる。

$$F_i(t) = k \cdot x_{LN} = k \cdot B \sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}} \cdot t\right) \quad \dots(3)$$

k : 連結材の等価剛性

(3)式を(1)式に代入して積分し、初期条件を考慮して、振幅について解くと(4)式となる。(初期条件: $t = 0$ のとき $V_{SA} = V_{SA,OT}$, $t = \Delta t$ のとき $V_{SA} = 0$)

$$B = V_{SA,OT} \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} \quad \dots(4)$$

また、動的荷重 F_i は、(3)式の正弦関数が1のときに最大値(= $k \cdot B$)となり、連結材の変位も最大となる。

$$F_i = k \cdot V_{SA,OT} \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$$

$V_{SA,OT}$ の算出方法は次頁を参照

さらに、風荷重と動摩擦力の差分による静荷重 F_i' が作用する。

$$F_i' = \frac{1}{2} m \cdot \rho \left(\frac{G \cdot C \cdot A}{m} + \mu_a \cdot \frac{C_D A}{m} \right) V_{SA}^2 - \mu_a \cdot m \cdot g$$

固縛装置作動により電源車の急停止に伴う荷重は、動的荷重 F_i に加えて静荷重 F_i' を加算した荷重とし、動的荷重 P_i とする。

$$P_i = F_i + F_i'$$

電源車が横滑り荷重 P_H を受け、スリングの伸びが最大となるのに伴い、水平距離 x_{SA} だけ移動したとすると、電源車の加速度を a 、停止までの時間を t として、終端速度 $V_{SA,OT}$ は(5)式で表される。

$$V_{SA,OT} = a \cdot t \quad \dots(5)$$

$$a = \frac{P_H - \mu_d \cdot m \cdot g}{m}$$

μ_d : 動摩擦力

m : 電源車の質量

$$x_{SA} = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \text{より, } t = \sqrt{\frac{2 \cdot x_{SA}}{a}}$$

強度評価に用いる荷重の算出式の一覧を表 5.3-1 に示す。

表 5.3-1 強度評価に用いる荷重の算出式

荷重		算出式	単位
常時作用する荷重		$F_d = m \cdot g$	N
竜巻の風圧力による荷重	浮き上がり荷重	$P_V = m \left(\frac{1}{2} \rho \cdot V_{SA}^2 \cdot \frac{C_D A}{m} - g \right)$	N
	横滑り荷重*1	前後方向: $P_H = q \cdot G \cdot C \cdot A_1$ 左右方向: $P_H = q \cdot G \cdot C \cdot A_3$	N
	動的荷重	$P_i = F_i + F_i'$ $F_i = k \cdot V_{SA,OT} \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$ $F_i' = \frac{1}{2} m \cdot \rho \left(\frac{G \cdot C \cdot A_{1(3)}}{m} + \mu_d \cdot \frac{C_D A}{m} \right) V_{SA}''^2 - \mu_d \cdot m \cdot g$	N

*1 「建築物荷重指針・同解説」による。

5. 4 荷重の組み合わせ

電源車に作用する荷重は，常時作用荷重(F_d)，風荷重による浮き上がり荷重(P_V)，横滑り荷重(P_H)及び動的荷重(P_i)を考慮する。

電源車に作用する荷重の組み合わせを表 5. 4-1 に示す。

電源車に作用する荷重の組み合わせの算定結果を表 5. 4-2 に示す。

表 5. 4-1 電源車に作用する荷重の組み合わせ

荷重の組合せ
$F_d + P_V$
$F_d + P_H$
$F_d + P_i$

表 5. 4-2 電源車に作用する荷重の組み合わせの算定結果

ケース	記号	荷重 (N)
浮き上がり荷重	$F_d + P_V$	1.47440×10^5
横滑り荷重	前後方向	1.21363×10^5
	左右方向	1.97549×10^5
動的荷重	前後方向	2.02034×10^5
	左右方向	3.49083×10^5

6. 評価方法

固縛装置の強度評価は、3. 評価方針 図 3-1 固縛装置の強度評価フローに則して評価を実施する。

6. 1 左右方向の横滑り時の評価モデル

左右方向の横滑り時の評価モデルの概要図を図 6. 1-1 に示す。

横滑り時に車体に作用する組合せ荷重 $\max(F_d + P_H, F_d + P_i)$ を、固縛 6 箇所 (①, ②, ⑤, ⑥, ⑦, ⑧) で均等に受ける。

図 6. 1-1 は左 (助手席側) 側面に荷重が作用する場合のモデルだが、右 (運転席側) 側面に荷重が作用する場合においては、荷重及び電源車の移動方向が逆向きとなり、固縛 6 箇所 (③~⑧) が作動する。この場合は左側のサイド 2 箇所 (①, ②) が作動しない。

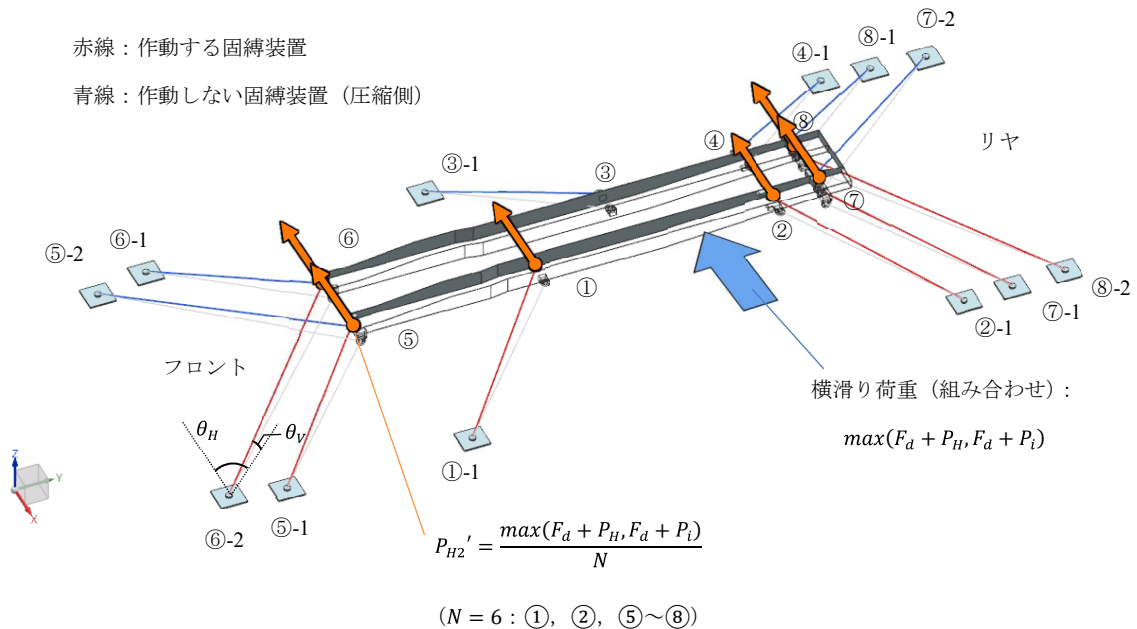


図 6. 1-1 横滑り時 (左右方向) の連結材の評価モデルの概要図

左右方向の横滑り時において、各固縛装置のロータリーアイボルトに作用する荷重 ${}_{EB}P$ を算出する。

$${}_{EB}P = P_{H2}' \cdot \frac{1}{\cos \theta_V} \cdot \frac{1}{\cos \theta_H}$$

6. 2 横滑り時に固縛装置 1 箇所あたりに作用する荷重の算出

横滑り時に電源車に作用する荷重は，作動（スリングに伸びが発生）する固縛装置にて均等に受けるものとする。

横滑り時において，固縛装置 1 箇所あたりに作用する荷重の算出式を表 6.2-1 に，算出に用いる条件値を表 6.2-2 に示す。

表 6.2-1 横滑り時に固縛装置 1 箇所あたりに作用する荷重の算出式

ケース	算出式	単位
浮き上がり	$P_V' = \frac{F_d + P_V}{N}$	N
前後方向の横滑り	$P_{H1}' = \max\left(\frac{F_d + P_H}{N}, \frac{F_d + P_i}{N}\right)$	N
左右方向の横滑り	$P_{H2}' = \max\left(\frac{F_d + P_H}{N}, \frac{F_d + P_i}{N}\right)$	N

表 6.2-2 車両側の固縛 1 箇所あたりに作用する荷重の算出に用いる条件値

記号	定義	ケース	値	単位
N	荷重を受ける 車両側の固縛箇所数	浮き上がり	8	箇所
		前後方向の横滑り	4	箇所
		左右方向の横滑り	6	箇所

6. 3 ロータリーアイボルト及びフレノ・リンクボルト中心の座標記号の設定

6. 4以降での算定をするために、まず電源車初期状態における各固縛装置のロータリーアイボルト中心、及びフレノ・リンクボルト中心の座標記号を表 6. 3-1 のとおり設定する。

表 6. 3-1 座標記号の設定

部材	固縛箇所 No.	記号	備考
ロータリー アイボルト中心	①~⑧	(x_i, y_i, z_i) $i = 1 \sim 8$	i 及び j は 固縛箇所 No. に対応
フレノ・リンク ボルト中心	①-1 ~⑧-2	$(x_{i-j}, y_{i-j}, z_{i-j})$ $i = 1 \sim 8$ $j = 1, 2$	

6. 4 電源車最大移動量 x_{SA} の算出

浮き上がり及び横滑りの各ケースにおいて、スリングの伸びが最大 (3%: JIS B 8811) に達するとともに電源車が停止した際の、電源車初期位置からの浮き上がり量及び横滑り量 x を、それぞれ算出する。

固縛装置ごとに浮き上がり量及び横滑り量 x は異なるため、いずれかのスリングの伸びが最大に達した際に電源車が停止するものとして、移動量最小値 $\min(x)$ を選定する。この移動量最小値に保守係数2を乗じた値を電源車の最大移動量 x_{SA} とする。

6. 4. 1 スリング伸び最大時の連結材の長さ

最大移動量 x_{SA} 算出に必要なスリング伸び最大時の連結材の長さ L' 、及び連結材の xy 平面 (地面) 投影長さ L'_{xy} の算出式を表 6. 4. 1-1 に示す。

表 6. 4. 1-1 L' 及び L'_{xy} の算出式

ケース	接続先 アンカー	算出項目	算出式	単位
浮き上がり及び横滑り	①-1 ～⑧-2	スリング伸び最大時の連結材の長さ	$L' = {}_{EB}L + {}_{SH}L + 1.03 \cdot {}_{SL}L + {}_{LB}L + {}_{FB}L$	mm
浮き上がり	①-1 ～⑧-2	連結材の xy 平面	$L'_{xy} = \sqrt{(x_i - x_{i-j})^2 + (y_i - y_{i-j})^2}$	mm
横滑り	①-1 ～⑧-2	(地面) 投影長さ	$L'_{xy} = \sqrt{L'^2 - (z_i - z_{i-j})^2}$	

算出に使用する記号の説明を表 6. 4. 1-2 に示す。

表 6. 4. 1-2 L' 及び L'_{xy} の算出式

記号	定義	単位
${}_{EB}L$	ロータリーアイボルトの半径	mm
${}_{SH}L$	シャックルの長さ	mm
${}_{SL}L$	スリングの長さ	mm
${}_{LB}L$	レバーブロックの長さ	mm
${}_{FB}L$	フレノ・リンクボルトの長さ	mm

6. 4. 2 左右方向の横滑り量の算出

左右方向の横滑り時の電源車の水平最大移動量 x_{SA} を算出する。模式図を図 6. 4. 2-1 に、算出式を表 6. 4. 2-1 に示す。

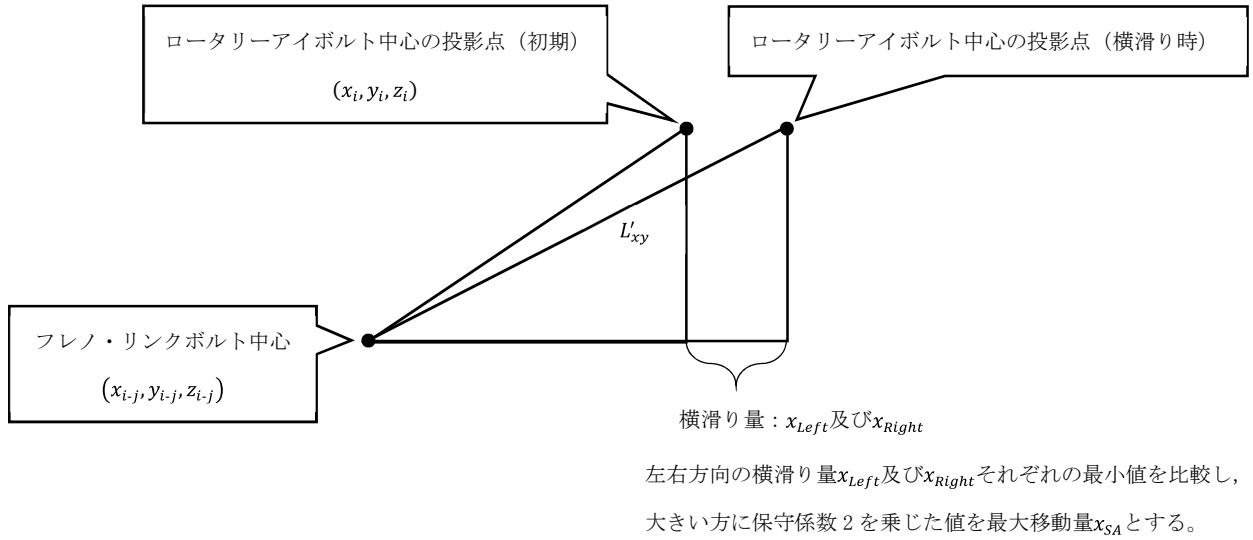


図 6. 4. 2-1 左右方向の横滑り時の x_{SA} 算出の模式図

表 6. 4. 2-1 左右方向の横滑り時の x_{SA} 算出式

荷重を受ける面	接続先アンカー	スリング伸び最大時の横滑り量	電源車の最大移動量	単位
左側面	①-1	$x_{Left} = \sqrt{L'_{xy}{}^2 - (y_i - y_{i-j})^2} - x_i - x_{i-j} $	$x_{SA} = \max\{\min(x_{Left}), \min(x_{Right})\} \times 2^{*1}$	mm
	②-1			
	⑤-1			
	⑥-2			
	⑦-1			
	⑧-2			
右側面	③-1	$x_{Right} = \sqrt{L'_{xy}{}^2 - (y_i - y_{i-j})^2} - x_i - x_{i-j} $	$x_{SA} = \max\{\min(x_{Left}), \min(x_{Right})\} \times 2^{*1}$	mm
	④-1			
	⑤-2			
	⑥-1			
	⑦-2			
	⑧-1			

*1 保守係数 2 を乗じる。

6. 4. 3 電源車移動後のロータリーアイボルト中心座標

電源車移動後の各ロータリーアイボルトの中心座標は, それぞれの最大移動量 x_{SA} を用いて表 6. 4. 3-1 のように表すことができる。

表 6. 4. 3-1 電源車移動後のロータリーアイボルト中心座標

ケース		ロータリーアイボルトの 中心座標
浮き上がり		$(x_i, y_i, z_i + x_{SA})$
前後方向の 横滑り	荷重：フロント面	$(x_i, y_i + x_{SA}, z_i)$
	荷重：リヤ面	$(x_i, y_i - x_{SA}, z_i)$
左右方向の 横滑り	荷重：左側面（助手席側）	$(x_i - x_{SA}, y_i, z_i)$
	荷重：右側面（運転席側）	$(x_i + x_{SA}, y_i, z_i)$

6. 4. 4 連結材となす角 θ_V 及び θ_H の算出

電源車の浮き上がり及び横滑りの各ケースにおいて、連結材と地面のなす角度 θ_V 、及び、連結材とx軸のなす地面投影角度 θ_H を算出する。

模式図を図 6. 4. 4-1 に示す。

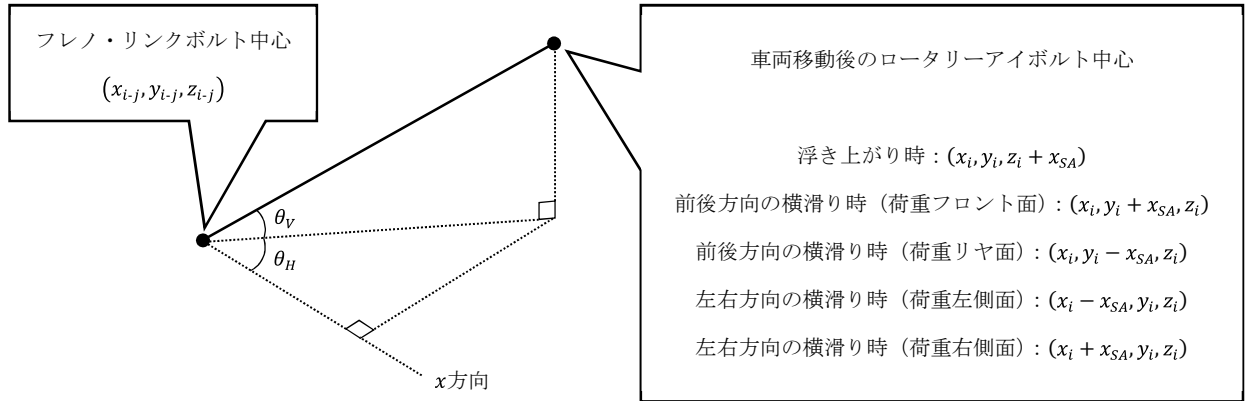


図 6. 4. 4-1 連結図となす角 θ_V 及び θ_H 算出の模式図

θ_V の算出式を表 6. 4. 4-1 に示す。

表 6. 4. 4-1 θ_V の算出式

ケース		固縛箇所	接続先アンカー	算出式	単位
浮き上がり		①～⑧	①-1 ～⑧-2	$\theta_V = \tan^{-1} \frac{z_i + x_{SA} - z_{i-j}}{\sqrt{(x_i - x_{i-j})^2 + (y_i - y_{i-j})^2}}$	deg
前後方向の横滑り	荷重： フロント面	①	①-1	$\theta_V = \tan^{-1} \frac{z_i - z_{i-j}}{\sqrt{(x_i - x_{i-j})^2 + (y_i + x_{SA} - y_{i-j})^2}}$	
		③	③-1		
		⑤	⑤-1		
			⑤-2		
		⑥	⑥-1		
	⑥-2				
	荷重： リヤ面	②	②-1	$\theta_V = \tan^{-1} \frac{z_i - z_{i-j}}{\sqrt{(x_i - x_{i-j})^2 + (y_i - x_{SA} - y_{i-j})^2}}$	
		④	④-1		
		⑦外側	⑦-1		
		⑦内側	⑦-2		
⑧外側		⑧-1			
⑧内側	⑧-2				
左右方向の横滑り	荷重： 左側面 (助手席側)	①	①-1	$\theta_V = \tan^{-1} \frac{z_i - z_{i-j}}{\sqrt{(x_i - x_{SA} - x_{i-j})^2 + (y_i - y_{i-j})^2}}$	
		②	②-1		
		⑤	⑤-1		
		⑥	⑥-2		
		⑦外側	⑦-1		
	⑧内側	⑧-2			
	荷重： 右側面 (運転席側)	③	③-1	$\theta_V = \tan^{-1} \frac{z_i - z_{i-j}}{\sqrt{(x_i + x_{SA} - x_{i-j})^2 + (y_i - y_{i-j})^2}}$	
		④	④-1		
		⑤	⑤-2		
		⑥	⑥-1		
⑦内側		⑦-2			
⑧外側	⑧-1				

θ_H の算出式を表 6. 4. 4-2 に示す。

表 6. 4. 4-2 θ_H の算出式

ケース		固縛箇所	接続先アンカー	算出式	単位
浮き上がり		①~⑧	①-1 ~⑧-2	$\theta_H = \cos^{-1} \frac{ x_i - x_{i-j} }{\sqrt{(x_i - x_{i-j})^2 + (y_i - y_{i-j})^2}}$	deg
前後方向の横滑り	荷重： フロント面	①	①-1	$\theta_H = \cos^{-1} \frac{ x_i - x_{i-j} }{\sqrt{(x_i - x_{i-j})^2 + (y_i + x_{SA} - y_{i-j})^2}}$	
		③	③-1		
		⑤	⑤-1		
			⑤-2		
		⑥	⑥-1		
	⑥-2				
	荷重： リヤ面	②	②-1	$\theta_H = \cos^{-1} \frac{ x_i - x_{i-j} }{\sqrt{(x_i - x_{i-j})^2 + (y_i - x_{SA} - y_{i-j})^2}}$	
		④	④-1		
		⑦外側	⑦-1		
		⑦内側	⑦-2		
⑧外側		⑧-1			
⑧内側	⑧-2				
左右方向の横滑り	荷重： 左側面 (助手席側)	①	①-1	$\theta_H = \cos^{-1} \frac{ x_i - x_{SA} - x_{i-j} }{\sqrt{(x_i - x_{SA} - x_{i-j})^2 + (y_i - y_{i-j})^2}}$	
		②	②-1		
		⑤	⑤-1		
		⑥	⑥-2		
		⑦外側	⑦-1		
	⑧内側	⑧-2			
	荷重： 右側面 (運転席側)	③	③-1	$\theta_H = \cos^{-1} \frac{ x_i + x_{SA} - x_{i-j} }{\sqrt{(x_i + x_{SA} - x_{i-j})^2 + (y_i - y_{i-j})^2}}$	
		④	④-1		
		⑤	⑤-2		
		⑥	⑥-1		
⑦内側		⑦-2			
⑧外側	⑧-1				

6. 5 連結材（ロータリーアイボルト）に作用する荷重の算出

左右方向の横滑り時において、連結材のロータリーアイボルトに作用する荷重 $_{EB}P$ の算出式を表 6.5-1 に示す。

サイド スプリングブラケット部 (②, ④), フック取付部 (⑤, ⑥) 及びリア バンパー部 (⑦, ⑧) は左右対称のため、ロータリーアイボルトに作用する荷重は左右で同値となる。従い、左側 (②, ⑤, ⑦) を算出することで右側 (④, ⑥, ⑧) も評価が可能である。

表 6.5-1 横滑り時（左右方向）にロータリーアイボルトに作用する荷重の算出式

車両側の固縛箇所		接続先 アンカー	算出式	
サイド	車体フレーム部	①	①-1	$_{EB}P = P_{H2}' \cdot \frac{1}{\cos \theta_V} \cdot \frac{1}{\cos \theta_H}$
		③	③-1	$_{EB}P = P_{H2}' \cdot \frac{1}{\cos \theta_V} \cdot \frac{1}{\cos \theta_H}$
	スプリング ブラケット部	②	②-1	$_{EB}P = P_{H2}' \cdot \frac{1}{\cos \theta_V} \cdot \frac{1}{\cos \theta_H}$
		④	④-1	②と同値
フロント	フック部	⑤	⑤-1	$_{EB}P = P_{H2}' \cdot \frac{1}{\cos \theta_V} \cdot \frac{1}{\cos \theta_H}$
			⑤-2	$_{EB}P = P_{H2}' \cdot \frac{1}{\cos \theta_V} \cdot \frac{1}{\cos \theta_H}$
		⑥	⑥-1	⑤-1 と同値
			⑥-2	⑤-2 と同値
リヤ	バンパー部	⑦外側	⑦-1	$_{EB}P = P_{H2}' \cdot \frac{1}{\cos \theta_V} \cdot \frac{1}{\cos \theta_H}$
		⑦内側	⑦-2	$_{EB}P = P_{H2}' \cdot \frac{1}{\cos \theta_V} \cdot \frac{1}{\cos \theta_H}$
		⑧外側	⑧-1	⑦外側と同値
		⑧内側	⑧-2	⑦内側と同値

6. 6 固定材（車両側）に作用する荷重及び応力の算出

車両側の固定材はロータリーアイボルトを介して荷重を受けるため、ロータリーアイボルトに作用する荷重 ${}_{EB}P$ の x, y, z 方向の分力 ${}_{EB}P_{x,y,z}$ を用いて、各部材の評価を行う。

アイボルトに作用する荷重は、浮き上がり時及び横滑り時の各ケースにおいて、最大値を選定する。

サイド スプリングブラケット部の評価に用いる記号を表 6. 6-1 に示す。

表 6. 6-1 サイド スプリングブラケット部の評価に用いる記号

記号	定義	単位
h_D	ブラケット評価範囲の芯からロータリーアイボルト芯までの距離	mm
h_H	ブラケット評価範囲における M10 ボルト芯からロータリーアイボルト芯までの高さ方向の距離	mm
L	ブラケット評価範囲における M10 ボルト芯間の距離	mm
B	ブラケット評価範囲の幅	mm
D	ブラケット評価範囲の奥行	mm
H	ブラケット評価範囲の高さ	mm
${}_{BR}\theta$	ブラケット評価範囲の幅方向と y 軸のなす角度	deg
${}_B n$	M10 ボルトの本数	本
${}_B A$	M10 ボルトの有効断面積* ¹	mm ²
F	ブラケットの材料の基準強度* ² : $F = \min(S_y, 0.7S_u)$	MPa
	M10 ボルトの材料の基準強度* ² : $F = \min(S_y, 0.7S_u)$	MPa
S_y	ブラケットの材料 (SM520C) の設計降伏点* ³	MPa
	M10 ボルトの材料 (SCM435) の設計降伏点* ³	MPa
S_u	ブラケットの材料 (SM520C) の設計引張強さ* ³	MPa
	M10 ボルトの材料 (SCM435) の設計引張強さ* ³	MPa

*1 「JIS B 1082」の有効断面積による。

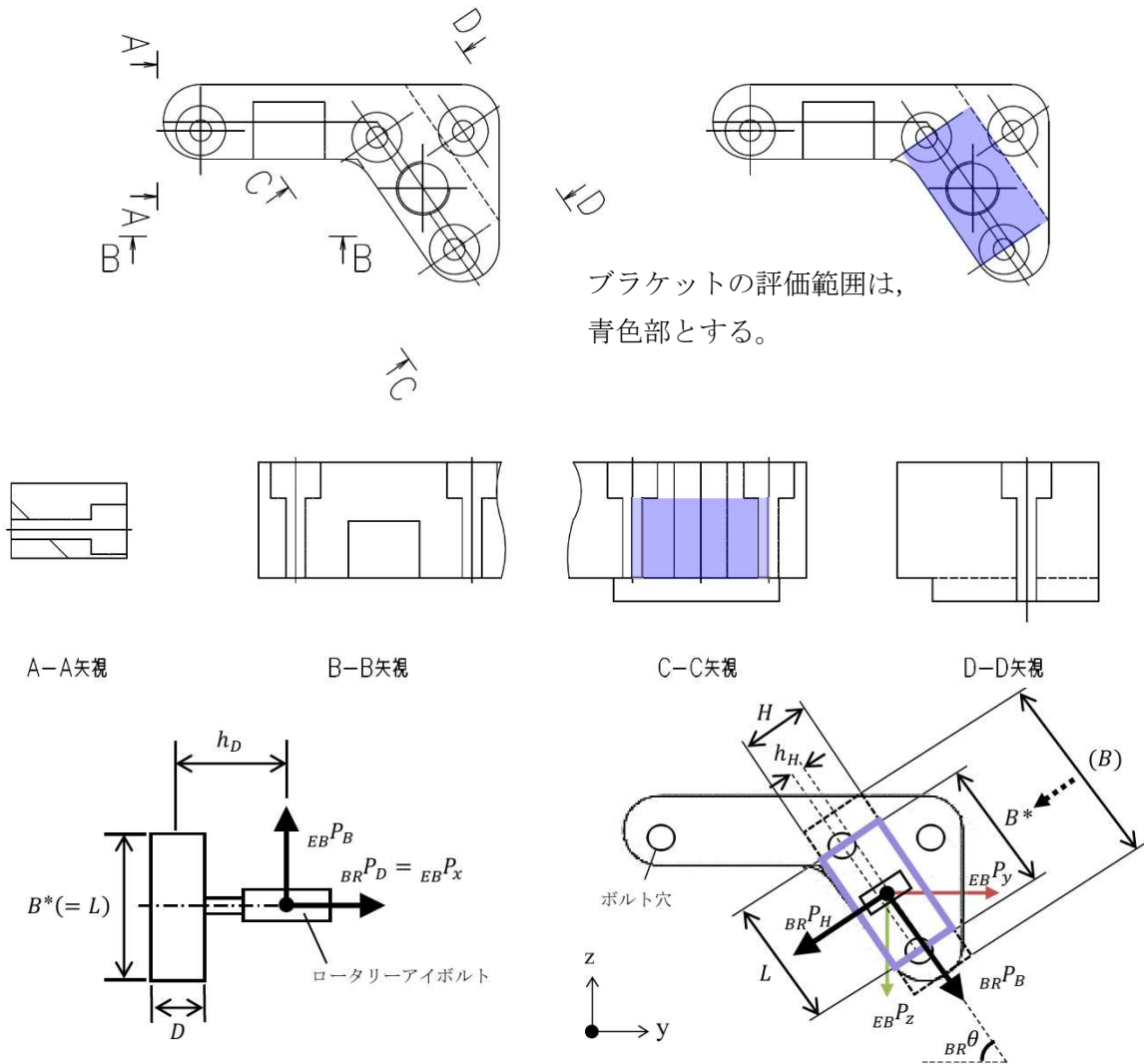
*2 「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2012 年版) <第 I 編 軽水炉規格>」による。

*3 「発電用原子力設備規格 材料規格 (2012 年版)」による。温度条件 45°C に対して、比例法により補間した値とする。別添 4 参照のこと。

6. 6. 1 固定材（ブラケット）の荷重及び応力の算出

x, y, z 方向の荷重 ${}_{EB}P_{x,y,z}$ を用いて、固定材ブラケットの奥行（ D 寸法）方向、幅（ B 寸法）方向、高さ（ H 寸法）方向に荷重を算出し、曲げ及びせん断に対する評価を行う。ブラケットの評価モデルの概要図を図 6. 6. 1-1 に、評価項目と算出式を表 6. 6. 1-1 に示す。

図 6. 6. 1-1 に示す青色部の評価範囲は、ブラケット全体に対して曲げ及びせん断を受ける断面積が小さいため、保守的側の評価となる。



ブラケットの評価範囲は、青色部とする。

*

図 6. 6. 1-1 ブラケットの評価モデルの概要図

複雑な形状のブラケットを簡略化して計算するにあたり、形状をはりとして見立て、荷重点（ロータリーアイボルト中心）及び拘束点（ボルト芯）を含む評価範囲として、青色部を選定している。この場合、ブラケットの幅寸法 B は、ボルト芯間の L 寸法と同値であり、保守的側の評価となる。

表 6.6.1-1 ブラケットの評価項目と算出式

評価項目	算出項目	算出式	単位
荷重	幅方向に作用する荷重	${}_{BR}P_B = {}_{EB}P_Z \cdot \sin {}_{BR}\theta + {}_{EB}P_Y \cdot \cos {}_{BR}\theta$ $= {}_{EB}P \cdot \sin \theta_V \cdot \sin {}_{BR}\theta + {}_{EB}P \cdot \cos \theta_V \cdot \sin \theta_H \cdot \cos {}_{BR}\theta$	N
	奥行方向に作用する荷重	${}_{BR}P_D = {}_{EB}P_X = {}_{EB}P \cdot \cos \theta_V \cdot \cos \theta_H$	N
	高さ方向に作用する荷重	${}_{BR}P_H = \left {}_{EB}P_Z \cdot \cos {}_{BR}\theta - {}_{EB}P_Y \cdot \sin {}_{BR}\theta \right $ $= \left {}_{EB}P \cdot \sin \theta_V \cdot \cos {}_{BR}\theta - {}_{EB}P \cdot \cos \theta_V \cdot \cos \theta_H \cdot \sin {}_{BR}\theta \right $	N
曲げ	${}_{BR}P_B$ による高さ (H) 方向, 及び, 奥行 (D) 方向まわりの曲げ応力	$\sigma_B = \frac{M}{Z} = \max \left(\frac{{}_{BR}P_B \cdot h_D}{2} \cdot \frac{6}{H \cdot D^2}, \frac{{}_{BR}P_B \cdot h_H}{2} \cdot \frac{6}{D \cdot H^2} \right)$	MPa
	${}_{BR}P_D$ による高さ (H) 方向, 及び, 幅 (B) 方向まわりの曲げ応力	$\sigma_D = \frac{M}{Z} = \max \left(\frac{{}_{BR}P_D \cdot L}{4} \cdot \frac{6}{H \cdot D^2}, {}_{BR}P_D \cdot h_D \cdot \frac{6}{B \cdot D^2} \right)$	MPa
	${}_{BR}P_H$ による奥行 (D) 方向, 及び, 幅 (B) 方向まわりの曲げ応力	$\sigma_H = \frac{M}{Z} = \max \left(\frac{{}_{BR}P_H \cdot L}{4} \cdot \frac{6}{D \cdot H^2}, {}_{BR}P_H \cdot h_D \cdot \frac{6}{B \cdot D^2} \right)$	MPa
せん断	${}_{BR}P_B$ によるせん断応力	$\tau_B = \max \left(\frac{{}_{BR}P_B \cdot h_D}{L} \cdot \frac{1}{H \cdot D}, \frac{{}_{BR}P_B \cdot h_H}{L} \cdot \frac{1}{D \cdot H} \right)$	MPa
	${}_{BR}P_D$ によるせん断応力	$\tau_D = \max \left(\frac{{}_{BR}P_D}{2} \cdot \frac{1}{H \cdot D}, {}_{BR}P_D \cdot \frac{1}{B \cdot D} \right)$	MPa
	${}_{BR}P_H$ によるせん断応力	$\tau_H = \frac{{}_{BR}P_H}{2} \cdot \frac{1}{D \cdot H}$	MPa

6. 6. 2 ボルトの荷重及び応力の算出式

ボルトの評価項目と算出式を表 6. 6. 2-1 に示す。

表 6. 6. 2-1 ボルトの評価項目と算出式

評価項目	算出項目	算出式	単位
引張	引張力	$T = \frac{EBP_D}{B^n}$	N
	引張応力	$\sigma = \frac{T}{B^A}$	MPa
せん断	せん断力	$Q = \frac{\sqrt{{}_{BR}P_B^2 + {}_{BR}P_H^2}}{B^n}$	N
	せん断応力	$\tau = \frac{Q}{B^A}$	MPa

7. 許容限界の算出

7. 1 各固定材の材料の設計降伏点 S_y , 及び, 設計引張強さ S_u の算出

固縛装置各固定材の材料の設計降伏点 S_y , 及び, 設計引張強さ S_u について, 「発電用原子力設備規格 材料規格 (2012 年版)」の規格値を用いて, 温度条件 45°C に対して, 比例法により補間した値を算出する。各部材の材料を表 7. 1-1 に示す。

表 7. 1-1 各部材の材料

部材	材料
アンカープレート (フレノ・リンクボルト溶接部)	SS400 (溶接母材: アンカープレート)
アンカーボルト	SS400
ブラケット	SM520C
ボルト	SCM435

「発電用原子力設備規格 材料規格 (2012 年版)」の S_y 及び S_u 規格値を表 7. 1-2 に示す。

表 7. 1-2 S_y 及び S_u 規格値

部材	材料	寸法	記号	規格値 (MPa)	
				40°C	75°C
アンカープレート	SS400	$16 < t \leq 40$	S_y	235	222
			S_u	400	381
アンカーボルト	SS400	$t \leq 16$	S_y	245	231
			S_u	400	381
ブラケット	SM520C	$t > 40$	S_y	335	315
			S_u	520	499
M10 ボルト	SCM435	直径 60mm 以下	S_y	785	712
			S_u	930	847

7. 2 比例補間

温度条件 45°C に対して、比例法により補間した S_y 及び S_u を表 7. 1-3 に示す。

表 7. 1-3 45°C における S_y 及び S_u

部材	記号	算出式	値 (MPa)
			45°C
アンカープレート	S_y	$S_y = \frac{235 - 222}{40 - 75} \times (45 - 40) + 235$	233
	S_u	$S_u = \frac{400 - 381}{40 - 75} \times (45 - 40) + 400$	397
アンカーボルト	S_y	$S_y = \frac{245 - 231}{40 - 75} \times (45 - 40) + 245$	243
	S_u	$S_u = \frac{400 - 381}{40 - 75} \times (45 - 40) + 400$	397
ブラケット	S_y	$S_y = \frac{335 - 315}{40 - 75} \times (45 - 40) + 335$	332
	S_u	$S_u = \frac{520 - 499}{40 - 75} \times (45 - 40) + 520$	517
M10 ボルト	S_y	$S_y = \frac{785 - 712}{40 - 75} \times (45 - 40) + 785$	774
	S_u	$S_u = \frac{930 - 847}{40 - 75} \times (45 - 40) + 930$	918

7. 3 材料の基準強度の算出式

7. 2 で比例補間した値から基準強度を求めた結果を表 7. 3. -1 に示す。

表 7. 3-1 ブラケットの材料及びボルトの材料の基準強度

部材	記号	算出式	値 (MPa)
ブラケット	F	$F = \min(S_y, 0.7S_u)$	332
ボルト	F	$F = \min(S_y, 0.7S_u)$	642

*1 「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2012 年版) <第 I 編 軽水炉規格>」による。

7. 4 許容限界の算出式

ブラケット及びボルトの材料の許容限界の算出式を表 7. 4-1 に示す。

表 7. 4-1 ブラケット及びボルトの材料の許容限界の算出式*1

評価項目	算出項目	算出式	単位
ブラケット	許容曲げ応力	$f_b = \frac{F}{1.3} \times 1.5$	MPa
	許容せん断応力	$f_s = \frac{F}{1.5 \times \sqrt{3}} \times 1.5$	MPa
ボルト	許容引張応力	$f_t = \min(1.4 \times \frac{F}{1.5} \times 1.5 - 1.6\tau, \frac{F}{1.5} \times 1.5)$	MPa
	許容せん断応力	$f_s = \frac{F}{1.5 \times \sqrt{3}} \times 1.5$	MPa

*1 「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2012 年版) <第 I 編 軽水炉規格>」による。

8. 評価結果

全ての評価対象部位に作用する荷重は許容限界以下であり、固縛状態の維持に必要な強度を有している。

固縛の配置が左右非対称であるため、車両の左側と右側では作用する荷重が変わる。よって、車両の左側と右側で同じ部材を使用している部分については、どちらか裕度が小さい方の評価結果を示す。

なお、設工認資料の添付 7-2-4 で示した、全ての評価対象部位の中で最も裕度が小さい結果となった車両側サイド スプリングブラケット部のボルトの評価結果については表 8.4-1 に示す。

8. 1 連結材の評価結果

連結材を構成するロータリーアイボルト、シャックル、スリング、レバーブロック、フレノ・リンクボルトの評価結果を表 8.1-1 に示す。

表 8.1-1 連結材の評価結果 (左右方向の横滑り時)

評価部位	固縛箇所		作用荷重 ${}_{EB}P$ (kN)	許容限界 (kN)	裕度	
ロータリーアイボルト	車両 サイド	スプリング ブラケット部	②	82.4	196.1	2.3
シャックル			②-1	82.4	196.1	2.3
スリング			②-1	82.4	188.2	2.2
レバーブロック			②-1	82.4	247.1	3.0
フレノ・リンクボルト			②-1	82.4	196.1	2.3

8. 2 地面側固定材の評価結果

アンカープレート及びフレノ・リンクボルト溶接部の評価結果を表 8.2-1, 表 8.2-2 に示す。

表 8.2-1 アンカープレートのz方向荷重に対する評価結果 (左右方向の横滑り時)

評価部位	固縛箇所		荷重		許容限界	裕度
アンカープレート	アンカー	②-1	曲げモーメント (kN・mm)	1385.0	8095.0	5.8
			せん断力(kN)	9.9	984.0	99.4

表 8.2-2 フレノ・リンクボルト溶接部の評価結果 (左右方向の横滑り時)

評価部位	固縛箇所		応力 (MPa)		許容限界 (MPa)	裕度
フレノ・リンクボルト溶接部	アンカー	②-1	引張	89	233	2.6
		⑤-2	せん断	58	134	2.3

8. 3 基礎部の評価結果

基礎部のアンカーボルト及びコンクリートの評価結果を表 8.3-1 に示す。

表 8.3-1 基礎部の評価結果 (左右方向の横滑り時)

評価部位	固縛箇所 アンカー		力 (kN)		許容限界 (kN)	裕度	引張力とせん断力の組み合わせ $\left[\frac{T}{P_b}\right]^2 + \left[\frac{Q}{Q_b}\right]^2 \leq 1$
アンカーボルト	②-1	引張	6.8	15.4	2.2	0.4	
	⑤-2	せん断	10.1	26.7	2.6	0.3	
コンクリート	②-1	引張	6.8	23.6	3.4	0.2	
	⑤-2	せん断	10.1	37.7	3.7	0.2	

8. 4 車両側固定材の評価結果

車両側の各固定材（ブラケット）とボルトの評価結果を表 8. 4-1 に示す。

表 8. 4-1 車両側固定材の評価結果（左右方向の横滑り時）

評価部位	固縛箇所			応力 (MPa)		許容限界 (MPa)	裕度	
				曲げ	せん断			
ブラケット (y方向荷重)	車両サイド	車体フレーム部	①	曲げ	137	383	2.7	
				せん断	27		191	7.0
M10 ボルト		③	引張	251	500	1.9		
			せん断	249		370	1.4	
ブラケット (奥行 (D寸法) 方向荷重)		車両サイド	スプリングブラケット部	②	曲げ	218	383	1.7
					せん断	17		191
ブラケット (幅 (B寸法) 方向荷重)	②			曲げ	149	383	2.5	
				せん断	29		191	6.5
M10 ボルト	②		引張	251	495	1.9		
			せん断	252		370	1.4	
ブラケット (x方向荷重)	車両フロント		フック取付部	⑤	曲げ	188	383	2.0
					せん断	13		191
M10 ボルト		⑤	引張	251	510	2.0		
			せん断	243		370	1.5	
ブラケット (y方向荷重)	車両リヤ	バンパー取付部	⑦外側	曲げ	63	383	6.0	
				せん断	10		191	19.1
M10 ボルト		⑦	引張	251	502	2.0		
			せん断	248		370	1.4	

設工認で記載した結果

9. 適用規格

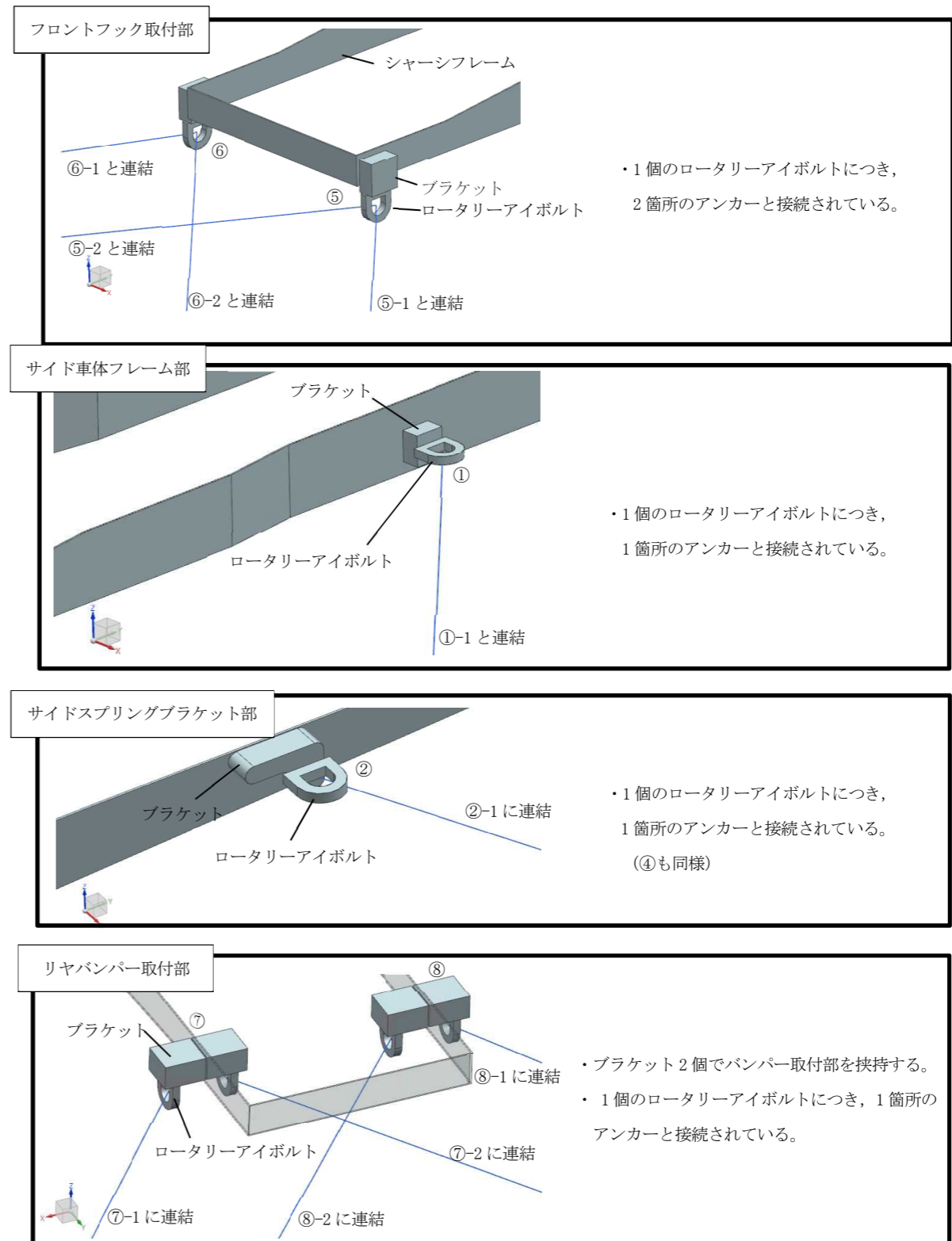
- 日本産業規格 JIS
- 鋼構造設計規準 - 許容応力度設計法 - (社) 日本建築学会 2005 改訂
- 鋼構造塑性設計指針 (社) 日本建築学会 2017 改訂
- 建築物荷重指針・同解説 (社) 日本建築学会 2015 改訂
- 各種合成構造設計指針・同解説 (社) 日本建築学会 2010 改訂
- 鉄筋コンクリート構造 計算規準・同解説 (社) 日本建築学会 2010 改訂
- 発電用原子力設備規格 設計・建設規格
(2012 年版) <第 I 編 軽水炉規格> (社) 日本機械学会
- 発電用原子力設備規格 材料規格 (2012 年版) (社) 日本機械学会
- 原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類
- 許容応力編 JEAG 4601・補-1984 (社) 日本電気協会
- 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1991 追補版 (社) 日本電気協会

設計及び工事の計画の変更認可申請書 竜巻に対する電源車の固縛装置の評価方針及び評価結果に関する変更前, 変更後の内容
 竜巻に対する電源車の固縛装置の評価方針及び評価結果に関し, 変更前, 変更後の内容を示す。(赤字: 修正箇所)

変更前	変更後
<p>添付 7-2-4 竜巻に対する電源車の固縛装置の評価方針及び評価結果</p> <p>1. 概要 本資料は, リサイクル燃料備蓄センター内の屋外に設置する設備のうち, 「添付 7-2-2 固縛対象物の選定」で選定する電源車に設置する固縛装置が竜巻襲来時においても, 固縛装置の構成要素が, 設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重(以下「設計荷重」という。)が電源車に作用した場合であっても, 固縛状態を維持するために必要な構造強度を有することを計算により確認するための強度設計方針及び評価結果について説明するものである。</p> <p>2. 基本方針 固縛装置の強度設計は, 第 3-1 表で示す固縛装置の構成要素である部材を評価対象部位とし, 「4 荷重及び荷重の組合せ」で示す設計荷重を考慮し, 部材の許容限界を超えない設計とする。</p> <p>3. 固縛装置の構造 固縛装置の構造は, 連結材(ロータリーアイボルト, スリング, シャックル, レバーブロック, フレノ・リンクボルト)を車輻側固定材(ブラケット, ボルト)及び地面側固定材(アンカープレート)を介してコンクリートの基礎部でアンカーボルトにて拘束する構造とする。固縛装置はレバーブロックの長さ調節により初期状態にて展張状態とする。固縛装置の構成を第 3-1 図に, 構成要素を第 3-1 表に示す。</p>	<p>添付 7-2-6 竜巻に対する電源車の固縛装置の評価方針</p> <p>1. 概要 本資料は, リサイクル燃料備蓄センター内の屋外に設置する設備のうち, 「添付 7-2-3 固縛対象物の選定」で選定する電源車に設置する固縛装置が竜巻襲来時においても, 固縛装置の構成要素が, 設計竜巻による荷重とこれに組み合わせる荷重(以下「設計荷重」という。)が電源車に作用した場合であっても, 固縛状態を維持するために必要な構造強度を有することを計算により確認するための強度設計方針について説明するものである。</p> <p>2. 基本方針 固縛装置の強度設計は, 第 3-1 表で示す固縛装置の構成要素である部材を評価対象部位とし, 「4 荷重及び荷重の組合せ」で示す設計荷重を考慮し, 部材の許容限界を超えない設計とする。</p> <p>3. 固縛装置の構造 固縛装置は, 車両側固定材, 連結材, 地面側固定材の構成とし, 車両側固定材を電源車のシャーシに固定する。 車両側固定材は車両のシャーシの形状に合わせたブラケットを製作し, 第 3-1 図に示す⑤⑥フロントフック取付部, ①③サイド車体フレーム部, ②④サイドスプリングブラケット部, ⑦⑧リヤバンパー部にボルトで装着する。 当該電源車は, バッテリーや燃料タンクの位置により, 一部, 左右対称の位置から固縛できないため, 左右非対称の固縛配置となる。 電源車と固縛装置の配置を第 3-1 図に, 車両側固定材の詳細な位置を第 3-2 図に示す。</p> <div data-bbox="1528 1354 2597 1858" data-label="Diagram"> </div> <p>第 3-1 図 固縛装置配置図</p>

変更前

変更後



第 3-3 図 ブラケット配置図

変更前

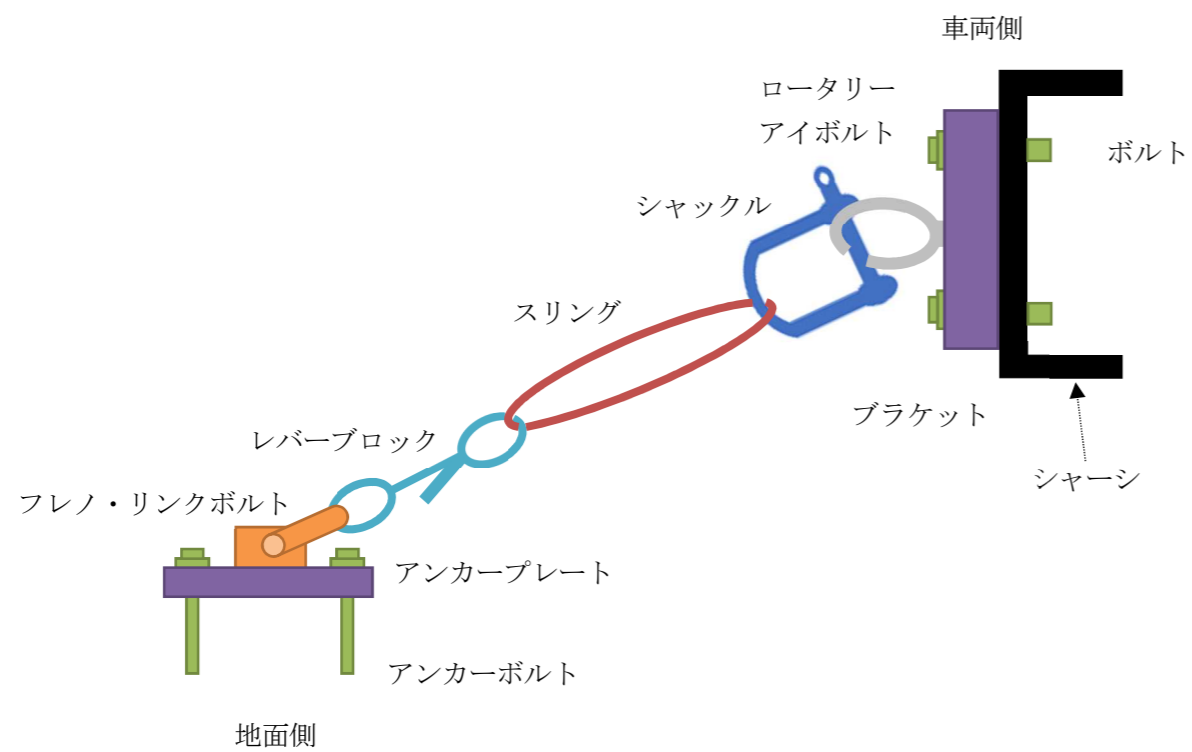
変更後

固縛装置を構成する，車両側固定材，連結材，地面側固定材は以下の要素からなる構造とする。

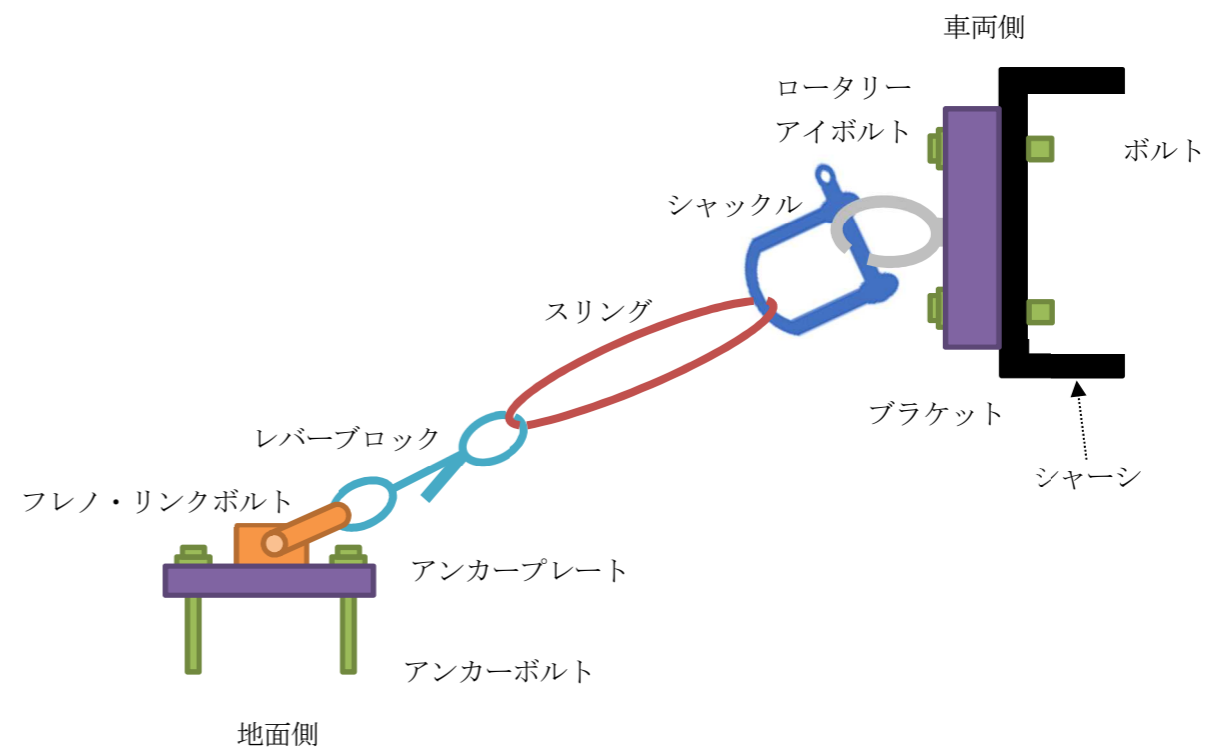
- ・連結材（ロータリーアイボルト，スリング，シャックル，レバーブロック，フレノ・リンクボルト）
- ・車両側固定材（ブラケット（製作品），ボルト）
- ・地面側固定材（アンカープレート）

また，地面側固定材をコンクリートの基礎部でアンカーボルトにて拘束する構造とする。固縛装置の連結材はレバーブロックの長さ調節により初期状態にて展張状態とする。




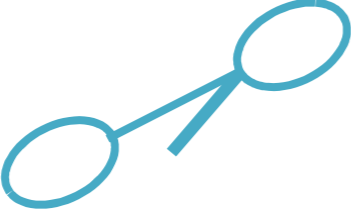
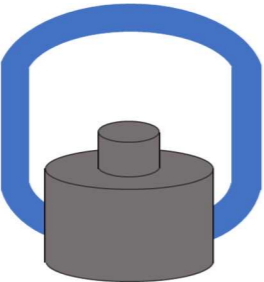
固縛装置の構成を第3-3図に，固縛装置の構成要素を第3-1表に示す。



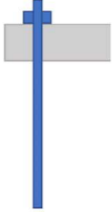

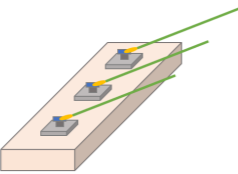
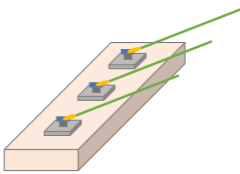
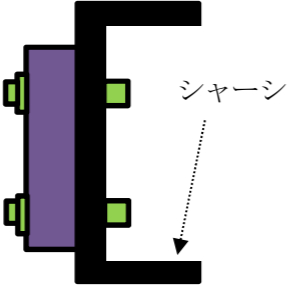
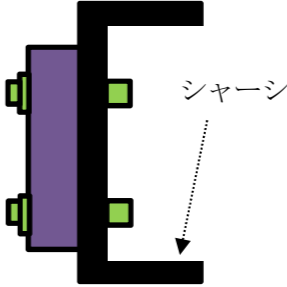




第3-1図 固縛装置の構成



第3-3図 固縛装置の構成

変更前			変更後
第3-1表 固縛装置の構成要素			第3-1表 固縛装置の構成要素
	固縛装置構成要素名称	模式図	用途
連結材	ロータリー アイボルト		電源車と固縛装置の固定材をつなぎ、電源車を固縛するときに使用する。
	シャックル		
	スリング		
	レバーブロック		
	フレノ・リンク ボルト		
			中略

変更前				変更後			
固定装置構成要素名称		模式図	用途	固定装置構成要素名称		模式図	用途
固定材 (地面側)	アンカープレート		基礎部に取り付け、フレノ・リンクボルトを溶接し、電源車を固縛するときに使用する。	固定材 (地面側)	アンカープレート		基礎部に取り付け、フレノ・リンクボルトを溶接し、電源車を固縛するときに使用する。
	アンカーボルト		アンカープレートと基礎部を定着させるために使用する。		アンカーボルト		アンカープレートと基礎部を定着させるために使用する。
基礎部	コンクリート		連結材及び固定材との連結により、コンクリートの重量によって、電源車の浮き上がり及び横滑りを防止するために使用する。	基礎部	コンクリート		連結材及び固定材との連結により、コンクリートの重量によって、電源車の浮き上がり及び横滑りを防止するために使用する。
	ブラケット		ロータリーアイボルトを介して連結材と接続し、電源車を固縛するときに使用する。		ブラケット		ロータリーアイボルトを介して連結材と接続し、電源車を固縛するときに使用する。
固定材 (車輛側)	ボルト		ブラケットを電源車に取り付けるために使用する。	固定材 (車輛側)	ボルト		ブラケットを電源車に取り付けるために使用する。

変更前

4. 荷重及び荷重の組合せ

電源車の固縛装置の強度評価に用いる荷重として、竜巻の風荷重によって、電源車が浮き上がり又は横滑りを起こした場合に、固縛装置に作用する荷重を設計荷重とする。

設計荷重は、固縛装置が浮き上がり又は横滑り挙動を拘束するために発生する荷重であり、電源車に最大水平風速による風荷重が作用したケースを考慮して設定する。

固縛装置は初期状態にて展張しているが、電源車に風荷重が作用し、水平方向に横滑りする際、連結材のスリングに伸びが発生する。水平移動する電源車は、スリングの伸びが最大に達するとともに急制動により停止し、その際、固縛装置には、制動荷重の反力として動的荷重が作用するため、この動的荷重も設計荷重として考慮する。

なお、車輛停止以後は、風荷重が持続荷重として継続して作用する。

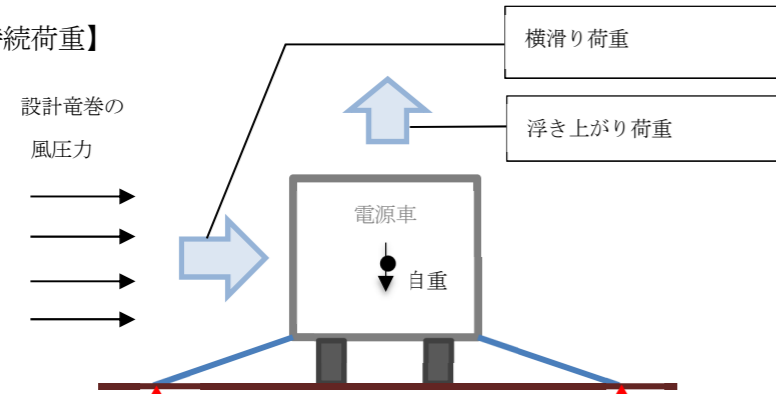
また、竜巻の最大水平風速時に発生する浮き上がり及び横滑りの荷重状態を比較し、各固縛装置に作用する荷重のうち、最大荷重を設計荷重とする。

電源車に作用する風速としては、最大水平風速 $V_{SA}=100\text{m/s}$ を使用することとする。

設計竜巻の風荷重は、電源車の形状及び風荷重の作用方向による見付面積に応じて異なるため、電源車に最も厳しくなる方向の風圧力に対して、荷重を設定する。

設計荷重の考え方を第 4-1 図に示す。

【持続荷重】



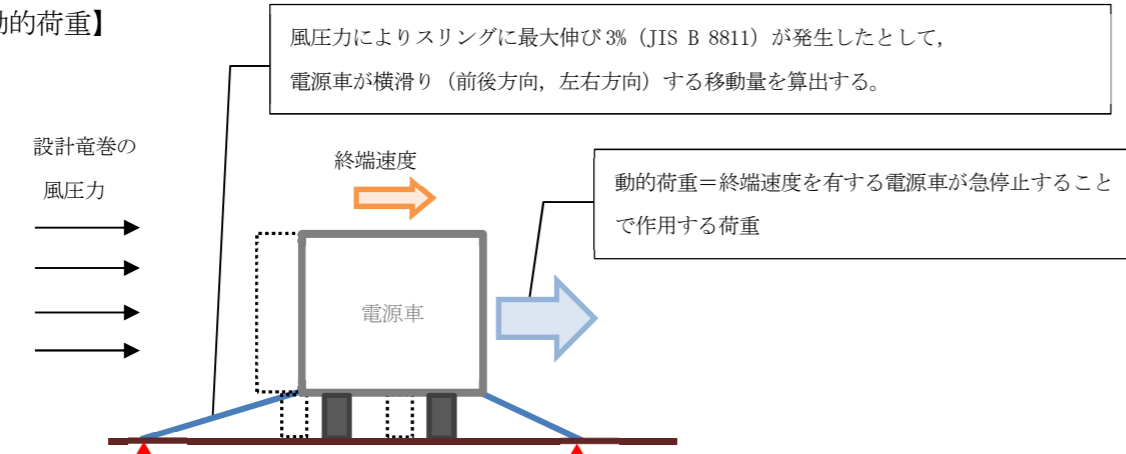
【電源車の仕様】

重量：8000(kg)
全長：6645(mm)
全幅：2180(mm)
全高：2805(mm)

【見付面積】

正面：5.86(m²)
側面：16.27(m²)
底面：14.49(m²)

【動的荷重】



第 4-1 図 設計荷重の考え方

変更後

4. 荷重及び荷重の組合せ

変更なし

変更前	変更後																
<p>(1) 荷重の設定 強度評価には、以下の荷重を用いる。</p> <p>a. 常時作用する荷重 (F_d) 常時作用する荷重は、持続的に生じる荷重であり、自重とする。</p> <p>b. 竜巻の風圧力による荷重 風圧力による荷重は、電源車に発生し、車輛側の固定材、連結材、地面側の固定材を介して基礎部に作用する。 竜巻による最大風速は、一般的には水平方向の風速として設定され、これにより固縛対象装置は横滑りを生じるような力を受けるが、鉛直方向に対しても、風圧力により電源車に揚力が発生し、浮き上がりが生じるような力を受けるため、鉛直方向の荷重についても考慮する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・浮き上がり荷重 (P_V) ・横滑り荷重 (P_H) : 前後方向及び左右方向 ・動的荷重 (P_i) : 横滑りするケースのみ検討する。 <p>強度評価に用いる荷重の算出式を第 4-1 表に示す。</p> <p style="text-align: center;">第 4-1 表 強度評価に用いる荷重の算出式</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">荷重</th> <th style="width: 65%;">算出式</th> <th style="width: 20%;">単 位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>常時作用する荷重</td> <td style="text-align: center;">$F_d = m \cdot g$</td> <td style="text-align: center;">N</td> </tr> <tr> <td rowspan="3" style="text-align: center; vertical-align: middle;">竜巻 の風圧 力によ る荷重</td> <td style="text-align: center;">浮き上がり 荷重</td> <td style="text-align: center;">$P_V = m \left(\frac{1}{2} \rho \cdot V_{SA}^2 \cdot \frac{C_D A}{m} - g \right)$</td> <td style="text-align: center;">N</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">横滑り 荷重*1</td> <td style="text-align: center;">前後方向 : $P_H = q \cdot G \cdot C \cdot A_1$ 左右方向 : $P_H = q \cdot G \cdot C \cdot A_3$</td> <td style="text-align: center;">N</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">動的荷重</td> <td style="text-align: center;">$P_i = F_i + F_i'$ $F_i = k \cdot V_{SA,OT} \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$ $F_i' = \frac{1}{2} m \cdot \rho \left(\frac{G \cdot C \cdot A_{1(3)}}{m} + \mu_d \cdot \frac{C_D A}{m} \right) V_{SA}''^2 - \mu_d \cdot m \cdot g$</td> <td style="text-align: center;">N</td> </tr> </tbody> </table>	荷重	算出式	単 位	常時作用する荷重	$F_d = m \cdot g$	N	竜巻 の風圧 力によ る荷重	浮き上がり 荷重	$P_V = m \left(\frac{1}{2} \rho \cdot V_{SA}^2 \cdot \frac{C_D A}{m} - g \right)$	N	横滑り 荷重*1	前後方向 : $P_H = q \cdot G \cdot C \cdot A_1$ 左右方向 : $P_H = q \cdot G \cdot C \cdot A_3$	N	動的荷重	$P_i = F_i + F_i'$ $F_i = k \cdot V_{SA,OT} \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$ $F_i' = \frac{1}{2} m \cdot \rho \left(\frac{G \cdot C \cdot A_{1(3)}}{m} + \mu_d \cdot \frac{C_D A}{m} \right) V_{SA}''^2 - \mu_d \cdot m \cdot g$	N	
荷重	算出式	単 位															
常時作用する荷重	$F_d = m \cdot g$	N															
竜巻 の風圧 力によ る荷重	浮き上がり 荷重	$P_V = m \left(\frac{1}{2} \rho \cdot V_{SA}^2 \cdot \frac{C_D A}{m} - g \right)$	N														
	横滑り 荷重*1	前後方向 : $P_H = q \cdot G \cdot C \cdot A_1$ 左右方向 : $P_H = q \cdot G \cdot C \cdot A_3$	N														
	動的荷重	$P_i = F_i + F_i'$ $F_i = k \cdot V_{SA,OT} \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$ $F_i' = \frac{1}{2} m \cdot \rho \left(\frac{G \cdot C \cdot A_{1(3)}}{m} + \mu_d \cdot \frac{C_D A}{m} \right) V_{SA}''^2 - \mu_d \cdot m \cdot g$	N														

変更前

変更後

(2) 荷重の組み合わせ

電源車に作用する荷重は、常時作用荷重(F_d)、風荷重による浮き上がり荷重(P_V)、横滑り荷重(P_H)及び動的荷重(P_i)を考慮する。

電源車に作用する荷重の組み合わせを第4-2表に示す。

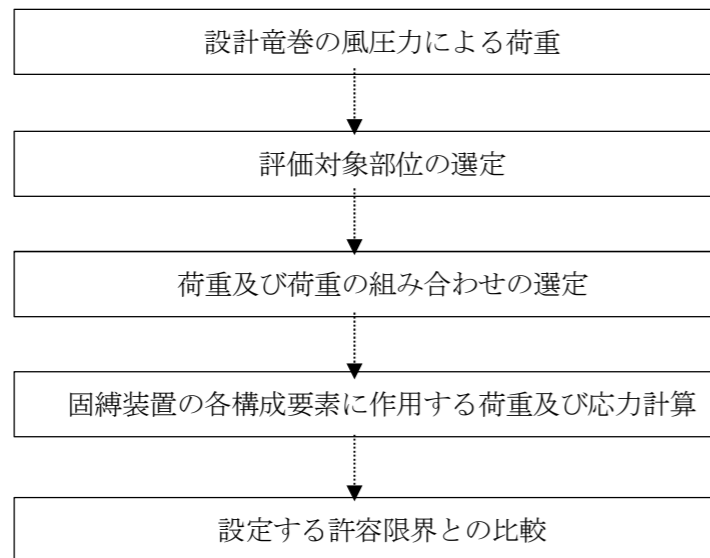
第4-2表 荷重の組み合わせ

荷重の組合せ
$F_d + P_V$
$F_d + P_H$
$F_d + P_i$

5. 評価方針

固縛装置の強度評価は、固縛装置を構成している要素を評価対象部位とし、設計荷重が固縛装置に作用することにより評価対象部位に生ずる荷重及び応力等が部材の許容限界に収まることを評価する。「6 評価結果」には最も裕度が小さい部材を示す。

固縛装置の強度評価フローを第5-1図に示す。



第5-1図 固縛装置の強度評価フロー

5. 評価方針

固縛装置の強度評価は、固縛装置を構成している要素を評価対象部位とし、設計荷重が固縛装置に作用することにより評価対象部位に生ずる荷重及び応力等が部材の許容限界に収まることを評価する。

評価結果は添付7-2-7「竜巻に対する電源車の固縛装置の影響評価」に、最も裕度が小さい部材を示す。

中略

変更前	変更後																												
<p>7. 適用規格</p> <ul style="list-style-type: none"> 日本産業規格 JIS 鋼構造設計規準 - 許容応力度設計法 (2005 改訂) 鋼構造塑性設計指針 (2017 改訂) 建築物荷重指針・同解説 (2015 改訂) 各種合成構造設計指針・同解説 (2010 改訂) 鉄筋コンクリート構造 計算規準・同解説 (2010 改訂) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格<第 I 編 軽水炉規格> (2012 年版) 発電用原子力設備規格 材料規格 (2012 年版) 原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類・許容応力編 JEAG 4601・補-1984 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1991 追補版 <p>6. 評価結果</p> <p>評価対象部材の中で最も裕度が小さいものを第 6-1 表に示す。作用荷重は許容限界以下であり、固縛状態の維持に必要な強度を有している。</p> <p style="text-align: center;">第 6-1 表 評価結果</p> <table border="1" data-bbox="290 1255 1299 1428"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th>応力 (MPa)</th> <th>許容限界 (MPa)</th> <th>裕度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">ボルト (スプリングブラケット部)</td> <td>引張</td> <td>σ 251</td> <td>f_t 495</td> <td>1.9</td> </tr> <tr> <td>せん断</td> <td>τ 252</td> <td>f_s 370</td> <td>1.4</td> </tr> </tbody> </table>			応力 (MPa)	許容限界 (MPa)	裕度	ボルト (スプリングブラケット部)	引張	σ 251	f_t 495	1.9	せん断	τ 252	f_s 370	1.4	<p>6. 適用規格</p> <ul style="list-style-type: none"> 日本産業規格 JIS 鋼構造設計規準 - 許容応力度設計法 (2005 改訂) 鋼構造塑性設計指針 (2017 改訂) 建築物荷重指針・同解説 (2015 改訂) 各種合成構造設計指針・同解説 (2010 改訂) 鉄筋コンクリート構造 計算規準・同解説 (2010 改訂) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格<第 I 編 軽水炉規格> (2012 年版) 発電用原子力設備規格 材料規格 (2012 年版) 原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類・許容応力編 JEAG 4601・補-1984 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1991 追補版 <p style="color: red;">添付 7-2-7 竜巻に対する電源車の固縛装置の影響評価</p> <p>1. 概要</p> <p style="color: red;">本資料は、「添付 7-2-6 竜巻に対する電源車の固縛装置の評価方針」に基づき算出した結果のうち、裕度が最も小さい結果となった評価部材について示す。</p> <p>2. 評価結果</p> <p style="color: red;">評価対象部材の中で最も裕度が小さいものを第 2-1 表に示す。 作用荷重は許容限界以下であり、固縛状態の維持に必要な強度を有している。</p> <p style="text-align: center;">第 2-1 表 評価結果</p> <table border="1" data-bbox="1549 1218 2558 1428"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th>応力 (MPa)</th> <th>許容限界 (MPa)</th> <th>裕度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">ボルト (サイドスプリング ブラケット部)</td> <td>引張</td> <td>251</td> <td>495</td> <td>1.9</td> </tr> <tr> <td>せん断</td> <td>252</td> <td>370</td> <td>1.4</td> </tr> </tbody> </table>			応力 (MPa)	許容限界 (MPa)	裕度	ボルト (サイドスプリング ブラケット部)	引張	251	495	1.9	せん断	252	370	1.4
		応力 (MPa)	許容限界 (MPa)	裕度																									
ボルト (スプリングブラケット部)	引張	σ 251	f_t 495	1.9																									
	せん断	τ 252	f_s 370	1.4																									
		応力 (MPa)	許容限界 (MPa)	裕度																									
ボルト (サイドスプリング ブラケット部)	引張	251	495	1.9																									
	せん断	252	370	1.4																									