

本資料のうち、枠囲みの内容は、営業秘密又は防護上の観点から公開できません

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-594 改0
提出年月日	平成30年6月20日

V-2-10-1-4 常設代替高圧電源装置の耐震性についての計算書

V-2-10-1-4-1-1 常設代替高圧電源装置内燃機関 (No. 1～No. 5)
の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 構造の説明	1
2.2 評価方針	5
3. 耐震評価箇所	8
4. 車両の加振試験	9
4.1 基本方針	9
4.2 試験構成	9
4.3 入力地震動	9
4.4 許容限界	9
4.5 加振試験結果	9
5. 車両の評価	11
5.1 応力評価	11
5.2 機能維持評価	22
6. 内燃機関の評価	23
6.1 応力評価	23
6.2 機能維持評価	31
7. 評価結果	32

1. 概要

本資料は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、常設代替高压電源装置内燃機関（No. 1～No. 5）が設計用地震力に対して十分な構造強度、動的機能及び電氣的機能を有していることを説明するものである。その耐震評価は応力評価及び機能維持評価により行う。

また、常設代替高压電源装置（No. 1～No. 5）のうち間接支持構造物である車両が設計用地震力に対して十分な支持機能を有していることを説明するものである。その耐震評価は応力評価及び機能維持評価により行う。

常設代替高压電源装置（No. 1～No. 5）は、重大事故等対処設備において常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、この分類に応じた耐震評価を示す。

2. 基本方針

2.1 構造の説明

常設代替高压電源装置（No. 1～No. 5）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 常設代替高压電源装置（No. 1～No. 5）の構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
常設代替高压電源 装置車両 (No. 1～No. 5)	コンテナ (発電装置本体、遮断機盤)	コンテナを車両フレームに 取付ボルトにて固定する。	図 2-1 図 2-2 図 2-3 図 2-4
	フレーム (トレーラ)	・ 車載設備の自重を支持する フレームをサスペンションを有する 車両に設置する。	
常設代替高压電源 装置内燃機関 (No. 1～No. 5)	4 サイクル空冷直接噴射式 16 気筒ディーゼル機関	車載式の内燃機関は、発電機との 共通台板に取付ボルトにて固定する。	図 2-5 図 2-6

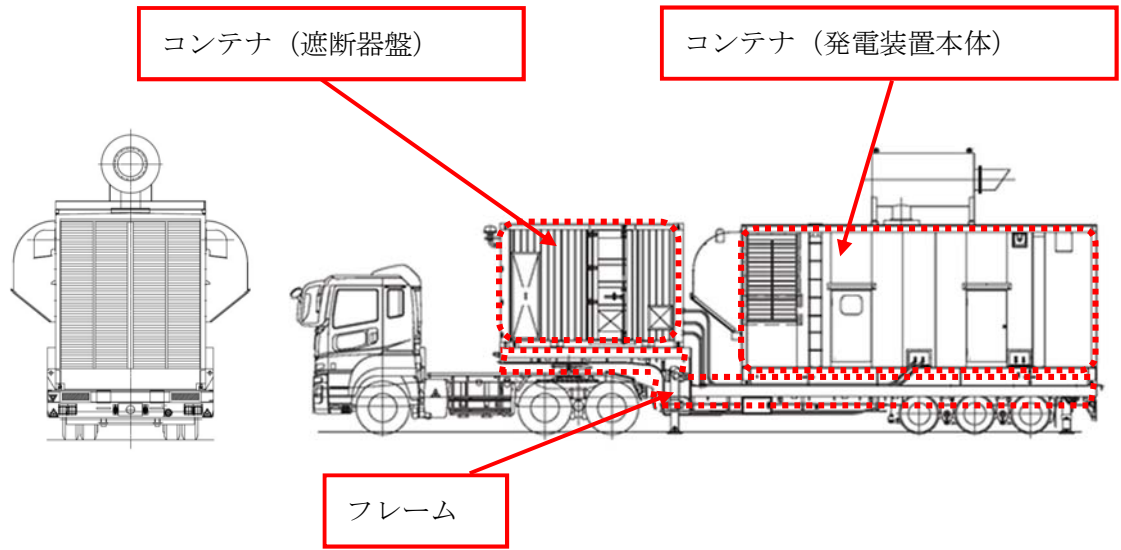


図 2-1 常設代替高圧電源装置車両 (No. 1～No. 5) の構造図

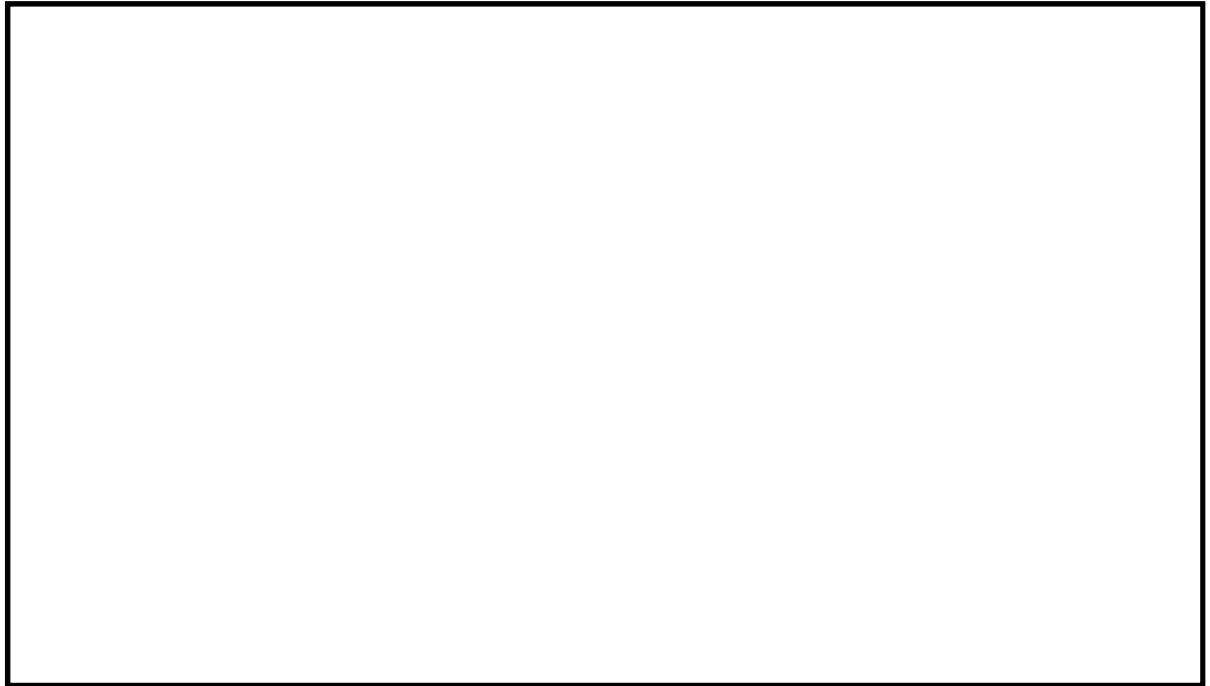


図 2-2 常設代替高圧電源装置車両 (No. 1～No. 5) のフレーム概略図

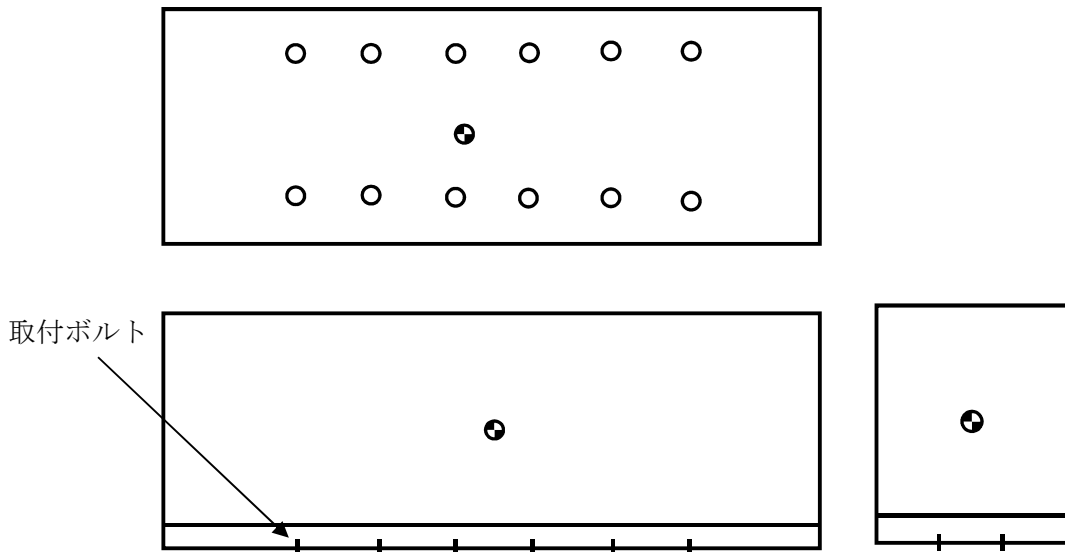


図 2-3 コンテナ（発電装置本体）取付ボルト配置図

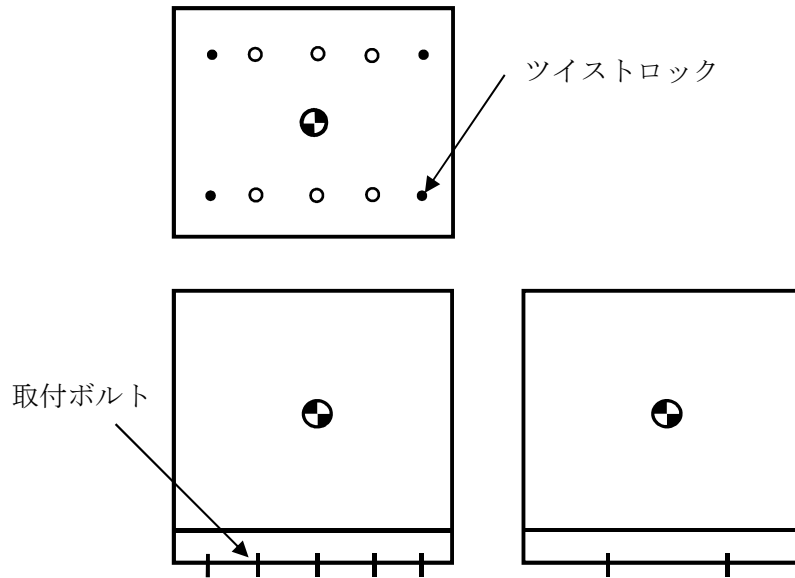


図 2-4 コンテナ（遮断器盤）取付ボルト配置図

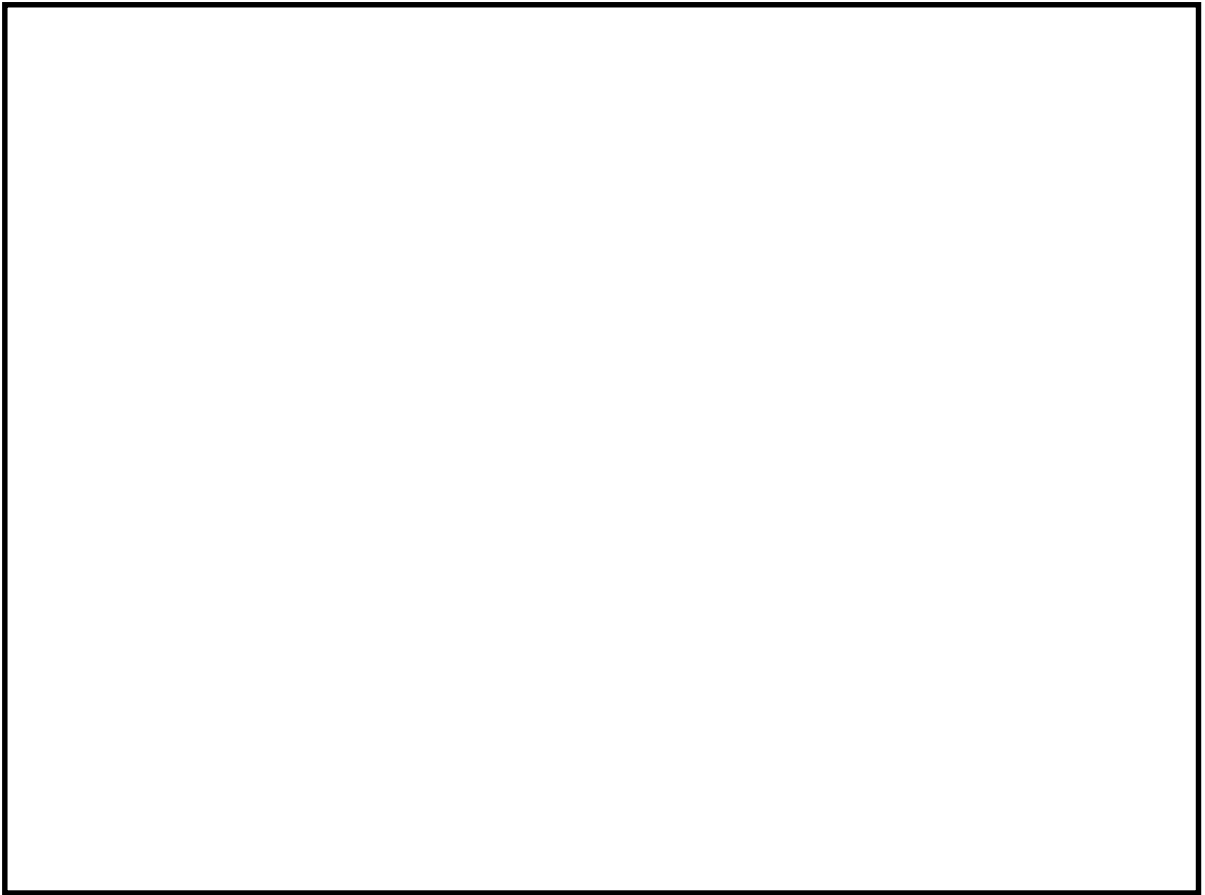


図 2-5 常設代替高圧電源装置内燃機関 (No. 1~No. 5) の配置図

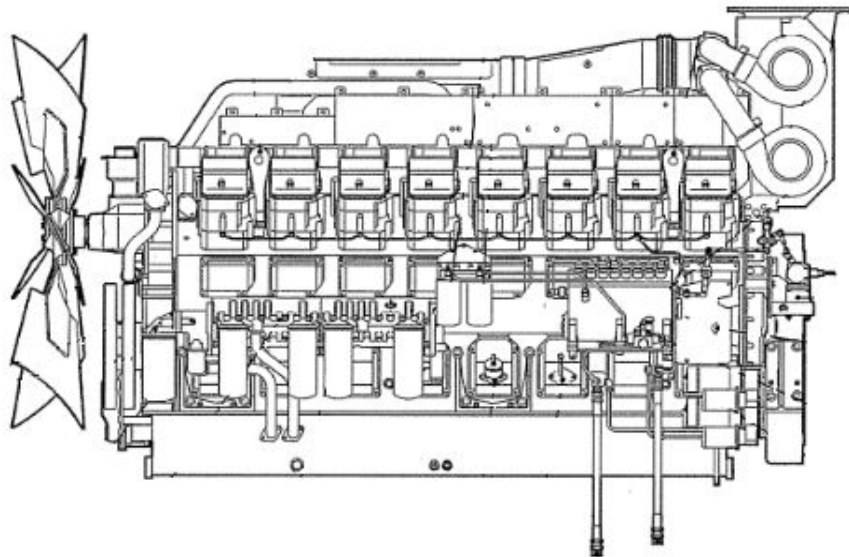


図 2-6 常設代替高圧電源装置内燃機関 (No. 1~No. 5) の構造図

2.2 評価方針

間接支持構造物である常設代替高圧電源装置車両 (No. 1～No. 5) の機能維持評価は、添付書類「V-1-2-9 機能維持の基本方針」にて設定した支持機能維持の方針及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造の説明」にて示す常設代替高圧電源装置車両 (No. 1～No. 5) の部位を踏まえ、「3. 耐震評価箇所」にて設定する箇所に発生する応力等が許容限界内に収まることを、「4. 車両の加振試験」で得られた最大応答加速度を用い、「5. 車両の評価」の「5.1 応力評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

また、常設代替高圧電源装置車両 (No. 1～No. 5) の機能維持評価は、間接支持構造物として十分な支持機能を有していることを、「5. 車両の評価」の「5.2 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

常設代替高圧電源装置車両 (No. 1～No. 5) の耐震評価フローを図 2-7 に示す。

常設代替高圧電源装置内燃機関 (No. 1～No. 5) の応力評価は、添付書類「V-1-2-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造の説明」にて示す内燃機関の部位を踏まえ「3. 耐震評価箇所」にて設定する箇所に作用する応力等が許容限界内に収まることを、「4. 車両の加振試験」で得られた最大応答加速度を用い、「6. 内燃機関の評価」の「6.1 応力評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

また、常設代替高圧電源装置内燃機関 (No. 1～No. 5) の機能維持評価は、添付書類「V-1-2-9 機能維持の基本方針」にて設定した動的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が機能確認済加速度以下であることを、「4. 車両の加振試験」で得られた最大応答加速度を用い、「6. 内燃機関の評価」の「6.2 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

常設代替高圧電源装置内燃機関 (No. 1～No. 5) の耐震評価フローを図 2-8 に示す。

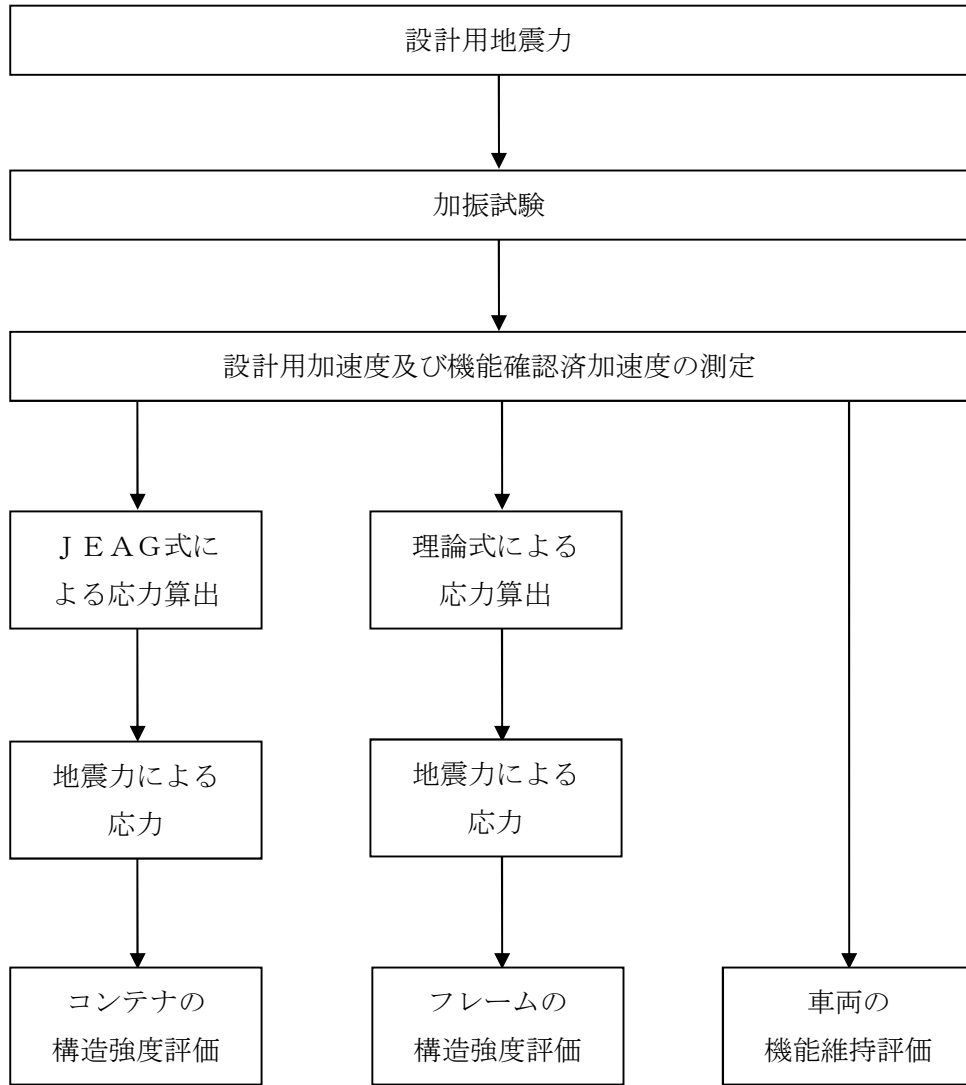


図 2-7 常設代替高圧電源装置車両 (No. 1~No. 5) の耐震評価フロー

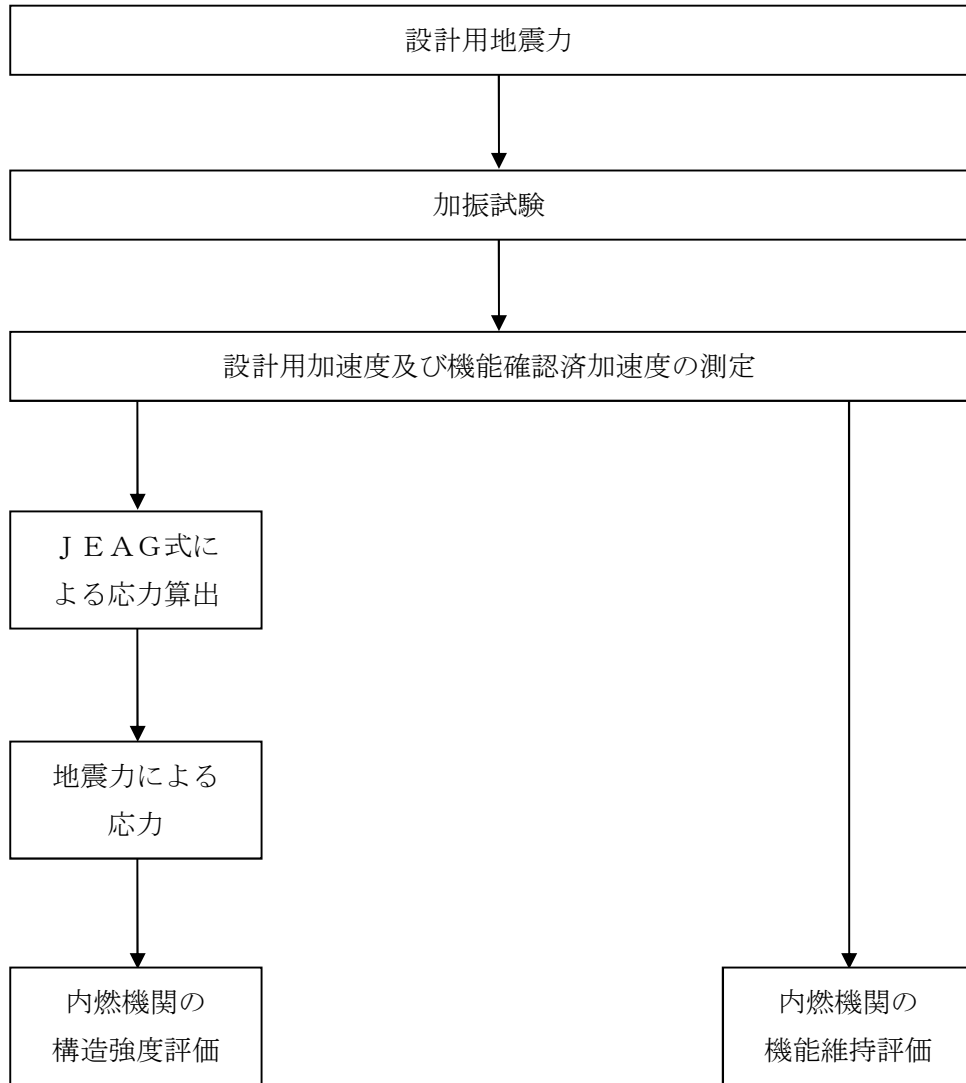


図 2-8 常設代替高圧電源装置内燃機関 (No. 1~No. 5) の耐震評価フロー

3. 耐震評価箇所

間接支持構造物である常設代替高圧電源装置車両（No. 1～No. 5）の耐震評価は，自重を支持している車両のフレーム，車両部（コンテナ台板，コンテナ取付ボルト）のうち断面積の最も小さく，応力評価上厳しくなるコンテナを固定するボルトであるコンテナ取付ボルトを評価対象部位とする。

常設代替高圧電源装置内燃機関（No. 1～No. 5）の耐震評価は，耐震評価上厳しくなる取付ボルトを選定して実施する。

4. 車両の加振試験

地震時に車両に発生する各機器頂部の応答加速度及び機能維持確認済加速度を求めるため、加振試験を実施する。

4.1 基本方針

重大事故等に対処するための機能を保持するために、車両全体として安定性を有し、転倒しないこと、主要な構造部材が必要な構造強度を有すること及び支持機能、動的及び電氣的機能が保持できることを加振試験の結果を踏まえて評価することから、以下の「4.3 入力地震動」に示す入力地震動を用いて、加振試験を実施する。なお、加振台の最大床加速度を機能確認済加速度とする。

4.2 試験構成

図 2-1 に示す常設代替高圧電源装置車両全体を固縛装置にて固定した状態で加振台に設置する。

4.3 入力地震動

入力地震動は、常設代替高圧電源装置置場における地盤条件を考慮し、常設代替高圧電源装置置場における基準地震動を包絡するスペクトル特性を有する時刻歴波とする。

4.4 許容限界

機能確認済加速度を求める際、車両全体として安定性を有し、転倒しないこと、また、車両に搭載している発電装置の発電機能並びにこの駆動源となる内燃機関等の動的及び電氣的機能が保持できることを許容限界として設定し、加振試験後にこれらを確認する。

4.5 加振試験結果

加振試験結果により得られた各機器頂部の最大応答加速度を表 4-1 から表 4-6 に、また機能維持確認済加速度を表 4-7 に示す。

表 4-1 コンテナ（発電装置本体）頂部の最大応答加速度

項目	最大応答加速度 (m/s ²)
水平	32.5
鉛直	27.2

表 4-2 コンテナ（遮断器盤）頂部の最大応答加速度

項目	最大応答加速度 (m/s ²)
水平	57.5
鉛直	43.2

表 4-3 内燃機関頂部の最大応答加速度

項目	最大応答加速度 (m/s ²)
水平	27.9
鉛直	36.9

表 4-4 燃料油サービスタンク頂部の最大応答加速度

項目	最大応答加速度 (m/s ²)
水平	34.5
鉛直	22.8

表 4-5 発電機頂部の最大応答加速度

項目	最大応答加速度 (m/s ²)
水平	34.0
鉛直	25.2

表 4-6 制御盤頂部の最大応答加速度

項目	最大応答加速度 (m/s ²)
水平	27.0
鉛直	27.2

表 4-7 機能維持確認済加速度

項目	最大応答加速度 (×9.8 m/s ²)
水平	1.37
鉛直	1.41

5. 車両の評価

常設代替高圧電源装置（No. 1～No. 5）のうち間接支持構造物である車両について、その支持機能が地震時に維持されることを確認する。

5.1 応力評価

5.1.1 基本方針

- (1) コンテナ取付ボルトの解析モデルは、1 質点系モデルとし、コンテナの重心位置に「4. 車両の加振試験」で得られた各コンテナ頂部の最大応答加速度の 1.2 倍が作用するものとする。
- (2) 車両のフレームの解析モデルは、2 点支持はりモデルとし、「4. 車両の加振試験」で得られたコンテナ（発電装置本体）頂部の最大応答加速度の 1.2 倍の加速度によりフレームに作用する分布荷重による応力を理論式により求める。
はりモデル化にあたっては、発生応力が保守側となるよう車両前方の片端支持部を考慮しないものとする。
- (3) 許容応力について J S M E S N C 1 - 2005/2007 の付録材料図表を用いて計算する際に、温度が付録材料図表記載値の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。
但し、比例法を用いる場合の端数処理は、小数第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。
- (4) 応力計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

5.1.2 設計用地震力

耐震計算に用いる設計用地震力には、添付書類「V-2-2-22 常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備の地震応答計算書」にて設定した床応答曲線を上回るように設定した入力地震動を用いて実施した「4. 車両の加振試験」で得られた、各コンテナ頂部における最大応答加速度の 1.2 倍を用いる。

5.1.3 荷重の組合せ及び許容応力

5.1.3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

常設代替高圧電源装置車両（No. 1～No. 5）の荷重の組合せ及び許容応力状態について、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

5.1.3.2 許容応力

常設代替高圧電源装置車両（No. 1～No. 5）の許容応力を表 5-2 に示す。

5.1.3.3 使用材料の許容応力評価条件

常設代替高圧電源装置車両（No. 1～No. 5）の使用材料の許容応力評価条件のうち重

大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器クラス	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源 設備	非常用発電 装置	常設代替高圧電源 装置車両 (No. 1~No. 5)	常設耐震/防止 常設/緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IV _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして IV _A Sの許容限界 を用いる。)

注記 *1: 「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2: その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

*3: 「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため, 評価結果の記載を省略する。

表 5-2 許容応力 (その他の支持構造物)

許容 応力 状態	許容限界*1, *2, *3 (ボルト以外)				許容限界*2 (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
IV _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記 *1: 「鋼構造設計規準 S I 単位版」 (2002 年日本建築学会) 等の幅厚比の制限を満足させる。

*2: 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

*3: 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-3 許容応力評価条件 (その他の支持構造物)

材 質	評価温度 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
SCM435 (取付ボルト)	40 (雰囲気温度)	785	930	651
SM490 (フレーム)	40 (雰囲気温度)	315	490	343

5.1.3 応力評価方法

5.1.3.1 コンテナ取付ボルトの応力評価方法

(1) 記号の説明

記号	定義	単位
A_{Cbt}	取付ボルト軸断面積	mm^2
a_H	水平地震加速度 (加振試験で得られたコンテナ頂部の最大応答加速度の 1.2 倍)	m/s^2
a_V	鉛直地震加速度 (加振試験で得られたコンテナ頂部の最大応答加速度の 1.2 倍)	m/s^2
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h_{CG}	取付面からコンテナ重心までの高さ	mm
L_C	支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離 (短辺方向)	mm
L_{C1}	支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離 (長辺方向)	mm
L_{C2}	支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離 (長辺方向)	mm
L_{C3}	支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離 (長辺方向)	mm
L_{CG}	支点となる取付ボルトから重心までの距離 (短辺方向)	mm
L_{CGX}	支点となる取付ボルトから重心までの距離 (長辺方向)	mm
m_C	コンテナの質量	kg
n_C	せん断応力評価用の取付ボルト本数	—
n_{C1}	引張応力評価用の取付ボルト本数 (短辺方向評価用)	—
n_{C2}	引張応力評価用の取付ボルト本数 (長辺方向評価用)	—
σ_{bt}	取付ボルト引張応力	MPa
τ_b	取付ボルトせん断応力	MPa

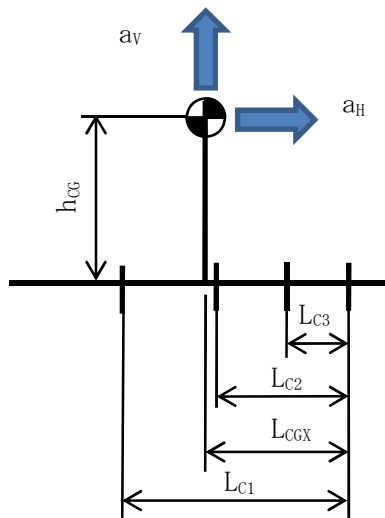
(2) 応力計算方法

コンテナ取付ボルトの応力評価を行う。応力評価にあたっては、「4. 車両の加振試験」で得られた最大応答加速度を用いて実施する。

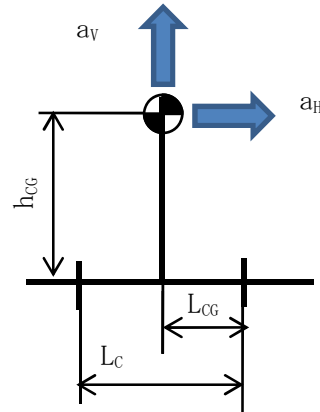
a. 引張応力の評価

引張応力は、取付ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の取付ボルトで受けるものとして計算する。

【長辺方向の計算モデル図】



【短辺方向の計算モデル図】



第 5-1 図 コンテナ取付ボルトの計算モデル図

コンテナ取付ボルトの計算モデル図である第 5-1 図に示すモーメントのつり合い式より以下の各計算式が得られる。

【長辺方向の引張応力計算式】

$$\sigma_{bt} = \frac{\left\{ \sqrt{(m_C \cdot a_H \cdot h_{CG})^2 + (m_C \cdot a_V \cdot L_{CGX})^2} - m_C \cdot g \cdot L_{CGX} \right\} \cdot L_{C1}}{n_{C2} \cdot (L_{C1}^2 + L_{C2}^2 + L_{C3}^2) \cdot A_{Cbt}}$$

【短辺方向の引張応力計算式】

$$\sigma_{bt} = \frac{\sqrt{(m_C \cdot a_H \cdot h_{CG})^2 + (m_C \cdot a_V \cdot L_{CG})^2} - m_C \cdot g \cdot L_{CG}}{n_{C1} \cdot A_{Cbt} \cdot L_C}$$

b. せん断応力の評価

せん断応力は、全ボルトで受けるものとして計算する。

$$\tau_b = \frac{m_C \cdot a_H}{n_C \cdot A_{Cbt}}$$

c. 組合せ応力の評価

引張応力とせん断応力の組合せ応力を J S M E S N C 1 - 2005/2007 S S B - 3 1 3 3 に基づき次式で評価する。

$$\sigma_{bt} \leq \min(1.4 \times 1.5f_t^* - 1.6\tau_b, 1.5f_t^*)$$

5.1.3.2 フレームの応力評価方法

(1) 記号の説明

記号	定義	単位
$A_H(x), A_V(x)$	それぞれ水平, 鉛直方向に対する支持位置 A から距離 x におけるフレームの断面積	mm^2
a_H	水平方向地震加速度 (加振試験で得られたコンテナ頂部の最大応答加速度の 1.2 倍)	m/s^2
a_V	鉛直方向地震加速度 (加振試験で得られたコンテナ頂部の最大応答加速度の 1.2 倍)	m/s^2
a_V'	水平方向地震による鉛直方向加速度 $= \frac{h_c}{\ell_1} a_H$	m/s^2
h_c	車両の重心高さ	mm
ℓ_1	フレームの支持位置間の距離	mm
$F_H(x), F_V(x), F_V'(x)$	それぞれ a_H, a_V, a_V' による支持位置 A から距離 x におけるせん断荷重	N
$M_H(x), M_V(x), M_V'(x)$	それぞれ a_H, a_V, a_V' による支持位置 A から距離 x における曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
x	支持位置 A からの距離	mm
$w(x)$	支持位置 A から距離 x における分布質量	kg/mm
$Z_H(x), Z_V(x)$	それぞれ水平, 鉛直方向に対する支持位置 A から距離 x におけるフレームの断面係数	mm^3
$\sigma_H(x), \sigma_V(x), \sigma_V'(x)$	それぞれ a_H, a_V, a_V' による支持位置 A から距離 x におけるフレームの組合せ応力	MPa
$\sigma_{bH}(x), \sigma_{bV}(x), \sigma_{bV}'(x)$	それぞれ a_H, a_V, a_V' による支持位置 A から距離 x におけるフレームの曲げ応力	MPa
$\tau_H(x), \tau_V(x), \tau_V'(x)$	それぞれ a_H, a_V, a_V' による支持位置 A から距離 x におけるフレームのせん断応力	MPa
σ	組合せ応力	MPa

(2) 曲げモーメント及びせん断荷重の算出

トレーラと車両の接合部（支持位置 A）とタイヤ中心（支持位置 B）を支持固定とした、各々の設備の分布荷重が作用するはりモデルとして、曲げモーメントとせん断荷重を算出する。

図 5-2 に計算モデルを示す。計算モデルは、「5.1.1 基本方針」に示す通り、片端支持部である支持位置 A から前方を考慮しないものとする。ただし、保守的に遮断器盤コンテナの重量は全て支持位置 A より後方に付加するものとする。

図 5-3 の計算モデルより、支持位置 A からの距離 x において、以下の各計算式が得られる。

a. 曲げモーメントの算出式

支持位置 A から距離 x における各加速度による曲げモーメントは、その間の単位加速度当りの質量分布を考慮し以下の通り計算する。

$$M_H(x) = a_H \cdot \int_0^x w(x) \cdot x dx$$

$$M_V(x) = a_V \cdot \int_0^x w(x) \cdot x dx$$

$$M_V'(x) = a_V' \cdot \int_0^x w(x) \cdot x dx$$

b. せん断荷重の算出式

支持位置 A から距離 x における各加速度によるせん断荷重は、その間の単位加速度当りの質量分布を考慮し以下の通り計算する。

$$F_H(x) = a_H \cdot \int_0^x w(x) dx$$

$$F_V(x) = a_V \cdot \int_0^x w(x) dx$$

$$F_V'(x) = a_V' \cdot \int_0^x w(x) dx$$

(3) 応力計算方法

前項にて算出した曲げモーメントとせん断荷重を用いて、曲げ応力及びせん断応力を算出し、組合せ（ミーゼス）応力にて評価する。

なお、水平、鉛直方向、それぞれの方向で組合せ応力を算出し、それらの発生応力を二乗和平方根法にて組み合わせて評価することとする。

a. 曲げ応力の算出式

フレームに発生する曲げ応力は、各加速度に対し以下の通り計算する。

$$\sigma_{bH}(x) = \frac{M_H(x)}{Z_H(x)}$$

$$\sigma_{bV}(x) = \frac{M_V(x)}{Z_V(x)}$$

$$\sigma_{bV}'(x) = \frac{M_V'(x)}{Z_V(x)}$$

b. せん断応力の算出式

フレームに発生するせん断応力は、各加速度に対し以下の通り計算する。

$$\tau_H(x) = \frac{F_H(x)}{A_H(x)}$$

$$\tau_V(x) = \frac{F_V(x)}{A_V(x)}$$

$$\tau_V'(x) = \frac{F_V'(x)}{A_V(x)}$$

c. 各方向の組合せ応力の算出式

曲げ応力とせん断応力の最大値から、各加速度に対し組合せ応力を次式に基づき算出する。

$$\sigma_H = \sqrt{\sigma_{bH}^2 + 3\tau_H^2}$$

$$\sigma_V = \sqrt{\sigma_{bV}^2 + 3\tau_V^2}$$

$$\sigma_V' = \sqrt{\sigma_{bV}'^2 + 3\tau_V'^2}$$

d. 組合せ応力の評価

各加速度に対する組合せ応力から車両フレームの組合せ応力を求め、下式を満足することを確認する。

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_H + \sigma_V')^2 + \sigma_V^2} \leq 1.5f_t^*$$

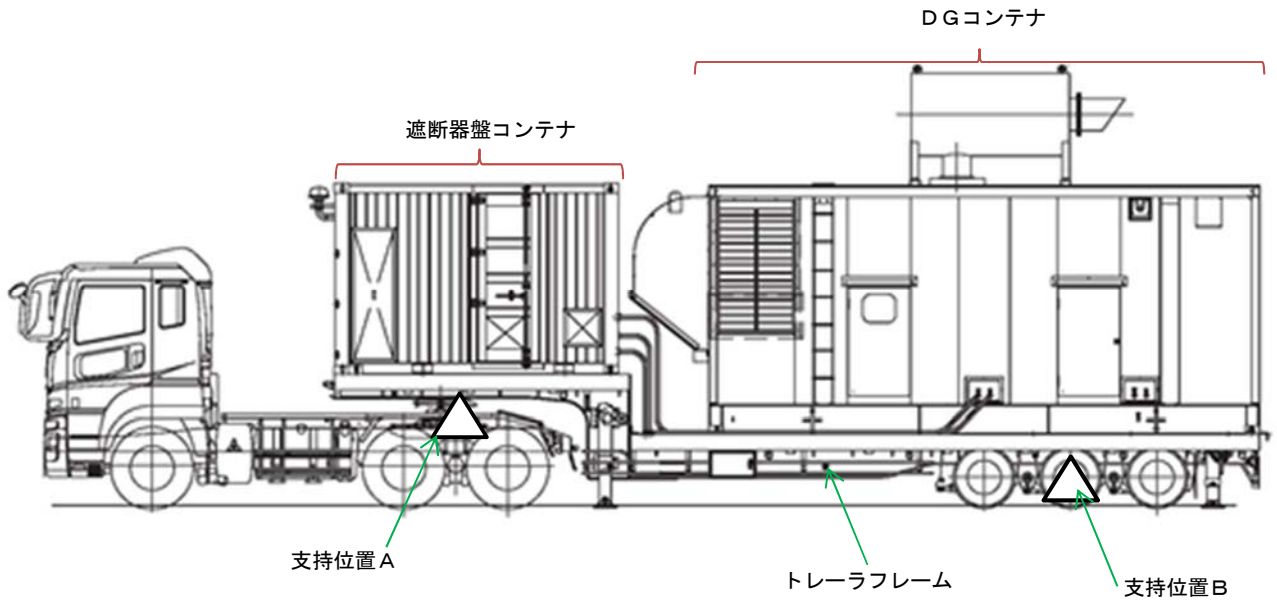


図 5-3 車両フレームの計算モデル図

5.2 機能維持評価

常設代替高圧電源装置（No. 1～No. 5）の間接支持構造物である車両について、その支持機能の維持のために地震時に車両が転倒しないことを確認する。

5.2.1 機能維持評価方法

車両の支持機能が維持されており、車両全体として安定性を有し、転倒しないことを確認した機能確認済加速度と設置場所の最大床加速度を比較することで実施する。

機能確認済加速度を表 5-4 に示す。

表 5-4 機能確認済加速度

項 目	機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
水 平	1.37
鉛 直	1.41

6. 内燃機関の評価

6.1 応力評価

6.1.1 基本方針

- (1) 内燃機関の解析モデルは、1 質点系モデルとし、内燃機関の重心位置に地震荷重、内燃機関の運転による加速度及び内燃機関の運転により働くモーメントが作用するものとする。
- (2) 内燃機関は、厚肉構造の低重心であるため、剛として取り扱うこととする。
- (3) 内燃機関は、「4. 車両の加振試験」で測定された内燃機関頂部における最大応答加速度の 1.2 倍を用いて発生応力を算出し、応力評価を行う。
- (4) 許容応力について J S M E S N C 1 - 2005/2007 の付録材料図表を用いて計算する際に、温度が付録材料図表記載値の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。
但し、比例法を用いる場合の端数処理は、小数第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

6.1.2 設計用地震力

耐震計算に用いる設計用地震力には、添付書類「V-2-2-22 常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備の地震応答計算書」にて設定した床応答曲線を上回るように設定した入力地震動を用いて実施した「4. 車両の加振試験」で得られた、内燃機関頂部における最大応答加速度の1.2倍を用いる。

6.1.3 荷重の組合せ及び許容応力

6.1.3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

常設代替高圧電源装置内燃機関 (No. 1～No. 5) の荷重の組合せ及び許容応力状態について、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 6-1 に示す。

6.1.3.2 許容応力

常設代替高圧電源装置内燃機関 (No. 1～No. 5) の許容応力を表 6-2 に示す。

6.1.3.3 使用材料の許容応力評価条件

常設代替高圧電源装置内燃機関 (No. 1～No. 5) の使用材料の許容応力評価条件を表 6-3 に示す。

表 6-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器クラス	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源 設備	非常用発電 装置	常設代替高圧電源 装置内燃機関 (No. 1~No. 5)	常設耐震/防止 常設/緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IV _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして IV _A Sの許容限界を 用いる。)

注記 *1: 「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2: その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

*3: 「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため, 評価結果の記載を省略する。

表 6-2 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
IV _A S	1.5・f _t * 1.5・f _s *	1.5・f _s *
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの 許容限界を用いる。)		

注記 *1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 6-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

強度区分	評価温度 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
10.9*	40	900	1000	700

注記 *：JIS B 1051 に規定される材料を使用。

6.1.4 応力評価方法

6.1.4.1 内燃機関の取付ボルト応力評価方法

(1) 記号の説明

記号	定義	単位
A_{bt}	取付ボルト軸断面積	mm^2
a_H	水平方向地震加速度（加振試験で得られた内燃機関頂部の最大応答加速度の1.2倍）	m/s^2
a_V	鉛直方向地震加速度（加振試験で得られた内燃機関頂部の最大応答加速度の1.2倍）	m/s^2
a_p	回転体振動による加速度	m/s^2
g	重力加速度（=9.80665）	m/s^2
h_G	取付面からディーゼル機関重心までの高さ	mm
L_1	支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離（軸直角方向）	mm
L_{1X}	支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離（軸方向）	mm
L_{2X}	支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離（軸方向）	mm
L_{3X}	支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離（軸方向）	mm
L_{4X}	支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離（軸方向）	mm
L_{5X}	支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離（軸方向）	mm
L_G	支点となる取付ボルトから重心までの距離（軸直角方向）	mm
L_{GX}	支点となる取付ボルトから重心までの距離（軸方向）	mm
m_{DG}	ディーゼル機関質量	kg
M_p	回転体回転により働くモーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
n	取付ボルト総本数	—
n_{t1}	軸方向に設けた取付ボルトの片側本数	—
n_{t2}	軸直角方向に設けた取付ボルトの片側本数	—
p	回転体の許容振幅	μm
P	原動機出力	kW
R	機関定格回転数	min^{-1}

記号	定義	単位
σ_{bt}	取付ボルト引張応力	MPa
τ_b	取付ボルトせん断応力	MPa

(2) 応力計算方法

内燃機関の取付ボルトの応力評価を行う。応力評価にあたっては、「4. 車両の加振試験」で得られた設計用加速度を用いて実施する。

a. 引張応力の評価

引張応力は、取付ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の取付ボルトで受けるものとして計算する。

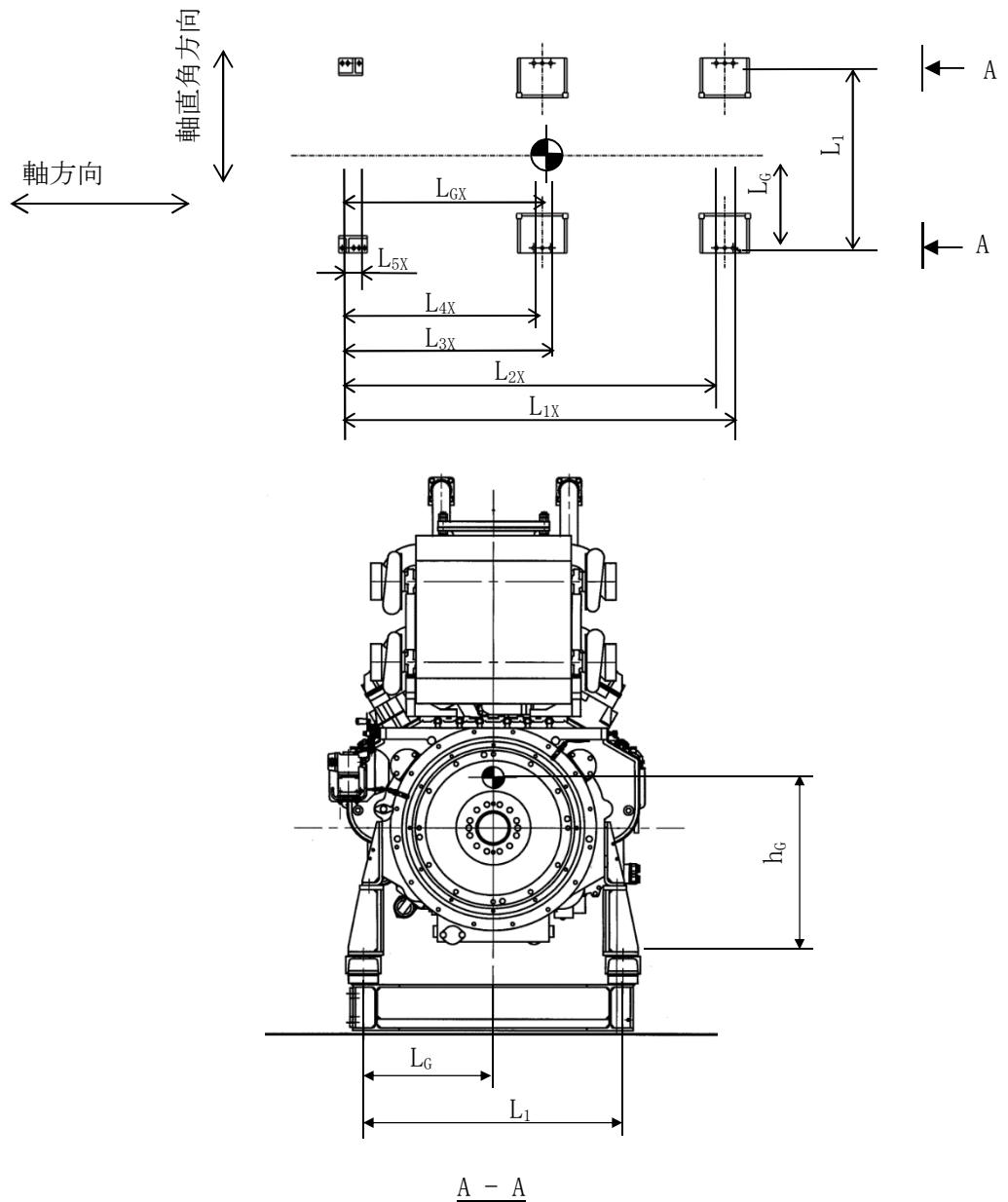


図 6-1 内燃機関 取付ボルトの計算モデル図

第 6-1 図に示すモーメントのつり合い式より以下の各計算式が得られる。

【軸直角方向の引張応力計算式】

$$\sigma_{bt} = \frac{m_{DG} \cdot (a_H + a_P) \cdot h_G + M_P - m_{DG} \cdot (g - a_V - a_P) \cdot L_G}{n_{t1} \cdot A_{bt} \cdot L_1}$$

【軸方向の引張応力計算式】

$$\sigma_{bt} = \frac{\{m_{DG} \cdot (a_H + a_P) \cdot h_G - m_{DG} \cdot (g - a_V - a_P) \cdot L_{GX}\} \cdot L_{1X}}{n_{t2} \cdot (L_{1X}^2 + L_{2X}^2 + L_{3X}^2 + L_{4X}^2 + L_{5X}^2) \cdot A_{bt}}$$

σ_{bt} は、上式で得られる大きい方の値とする。

【回転体回転によるモーメントの計算式】

$$M_P = \frac{60P}{2\pi \cdot R} \times 10^6$$

【回転体振動による加速度の計算式】

$$a_p = \left(2\pi \cdot \frac{R}{60}\right)^2 \cdot \frac{p \cdot 10^{-6}}{2}$$

b. せん断応力の評価

せん断応力は、全ボルトで受けるものとして計算する。

$$\tau_b = \frac{m_{DG} \cdot (a_H + a_P)}{n \cdot A_{bt}}$$

c. 組合せ応力の評価

引張応力とせん断応力の組合せ応力を J S M E S N C 1 - 2005/2007 S S B - 3 1 3 3 に基づき次式で評価する。

$$\sigma_{bt} \leq \min(1.4 \times 1.5f_t^* - 1.6\tau_b, 1.5f_t^*)$$

6.2 機能維持評価

常設代替高圧電源装置内燃機関（No. 1～No. 5）の地震後機能維持評価について、以下に示す。

6.2.1 機能維持評価方法

車両に搭載している内燃機関の動的機能維持を確認した機能確認済加速度と設置場所の最大床加速度を比較し、地震時の応答加速度が機能確認済加速度以下であることを確認することで実施する。

機能確認済加速度を表 6-4 に示す。

表 6-4 機能確認済加速度

項 目	機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
水 平	1.37
鉛 直	1.41

7. 評価結果

常設代替高圧電源装置車両 (No. 1～No. 5) について、耐震計算結果を次頁以降に示す。発生値は許容応力以下であり、耐震性を有することを確認した。また、常設代替高圧電源装置置場の加速度は機能維持確認済加速度以下であり、基準地震動 S_s に対して動的機能が維持されることを確認した。

常設代替高圧電源装置内燃機関 (No. 1～No. 5) について耐震計算結果を次頁以降に示す。発生値は許容応力以下であり、耐震性を有することを確認した。また、常設代替高圧電源装置置場の加速度は機能維持確認済加速度以下であり、基準地震動 S_s に対して動的機能が維持されることを確認した。

東海第二発電所 常設代替高圧電源装置内燃機関 (No. 1~No. 5) の耐震計算書

1. 設計条件

設備分類	設置場所及び床面高さ (m)	ボルト配置状態	評価温度 (°C)		
			取付ボルト	コンテナ	車 両
常設耐震/防止 常設/緩和	EL. 	矩形配置	40 (使用温度)	40 (雰囲気温度)	40 (雰囲気温度)

2. 設計用加速度及び評価用加速度

減衰定数 (%)	評価用加速度 (m/s ²) (機能維持評価) (内燃機関)		設計用加速度 (m/s ²) (応力評価) (内燃機関)		回転体振動による 加速度 (m/s ²)		回転によるモーメント (取付ボルトのみ) M _p (N・mm)
	水 平	鉛 直	水 平 (a _H)	鉛 直 (a _V)	水 平 (a _p)	鉛 直 (a _p)	
1.0	4.51	4.12	33.5	44.4	3.71	3.71	9230986.7

設計用加速度 (m/s ²) (応力評価) (コンテナ)		設計用加速度 (m/s ²) (応力評価) (フレーム)		
水 平 (a _H)	鉛 直 (a _V)	水 平 (a _H)	鉛 直 (a _V)	水平加速度によって作用する鉛直方向の加速度 (a _v ')
69.1	52.0	39.0	32.7	72.1

3. 機器要目

a. コンテナ*1

評価部位	m _c (kg)	h _{CG} (mm)	A _{Cbt} (mm ²)	n _c	n _{c1}	n _{c2}	L _c (mm)	L _{c1} (mm)	L _{c2} (mm)	L _{c3} (mm)	L _{CG} (mm)	L _{CGX} (mm)
取付ボルト	6125	1113.5	314.1	6	3	2	2910	2420	1610	800	1,455	1,705

注記 *1: 評価上, 最も厳しいコンテナ (遮断器盤) を示す。

b. フレーム

評価部位	ℓ ₁ (mm)	h _c (mm)	評価部位	A _H *2 (mm ²)	Z _H *2 (mm ³)	評価部位	A _V *2 (mm ²)	Z _V *2 (mm ³)
フレーム			フレーム (水平方向)			フレーム (鉛直方向)		

注記 *2: 応力が最大となる箇所の値を示す。

c. 内燃機関

評価部位	m _{DG} (kg)	h _G (mm)	A _{bt} (mm ²)	n	n _{t1}	n _{t2}	L ₁ (mm)	L _{1X} (mm)	L _{2X} (mm)	L _{3X} (mm)	L _{4X} (mm)	L _{5X} (mm)	L _G (mm)	L _{GX} (mm)	R (min ⁻¹)	p (μm)	P (kW)
取付ボルト				12	6	2	1070	2270.5	2172.5	1210.5	1112.5	98	535	1224	1500	300	1450

4. 結果

4.1 車両の応力評価結果

a. コンテナ取付ボルトの応力評価結果

評価部位	材 料	評価応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
取付ボルト	SCM435	引張	262	487
		せん断	225	375
		組合せ	262	321

発生応力は全て許容値以下である。

b. フレームの応力評価結果

評価部位	材 料	評価応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
フレーム	SM490	組合せ	310	342

発生応力は全て許容値以下である。

4.2 車両の機能維持評価結果

a. 車両の転倒評価結果

		評価用加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
車両	水平	0.46	1.37
	鉛直	0.42	1.41

評価用加速度 (1.0ZPA) は、すべて機能確認済加速度以下である。

4.3 内燃機関の応力評価結果

評価部位	強度区分	評価応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
取付ボルト	10.9	引張	150	525
		せん断	76	403
		組合せ	150	525

発生応力は全て許容値以下である。

4.4 内燃機関機能維持評価結果

		評価用加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
内燃機関	水平	0.46	1.37
	鉛直	0.42	1.41

評価用加速度 (1.0ZPA) は、すべて機能確認済加速度以下である。

V-2-10-1-4-1-2 常設代替高圧電源装置内燃機関 (No. 6)
の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 構造の説明	1
2.2 評価方針	5
3. 耐震評価箇所	8
4. 車両の加振試験	9
4.1 基本方針	9
4.2 試験構成	9
4.3 入力地震動	9
4.4 許容限界	9
4.5 加振試験結果	9
5. 車両の評価	11
5.1 応力評価	11
5.2 機能維持評価	23
6. 内燃機関の評価	24
6.1 応力評価	24
6.2 機能維持評価	32
7. 評価結果	33

1. 概要

本資料は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、常設代替高压電源装置内燃機関（No. 6）が設計用地震力に対して十分な構造強度、動的機能及び電氣的機能を有していることを説明するものである。その耐震評価は応力評価及び機能維持評価により行う。

また、常設代替高压電源装置（No. 6）のうち間接支持構造物である車両が設計用地震力に対して十分な支持機能を有していることを説明するものである。その耐震評価は応力評価及び機能維持評価により行う。

常設代替高压電源装置（No. 6）は、重大事故等対処設備において常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、この分類に応じた耐震評価を示す。

2. 基本方針

2.1 構造の説明

常設代替高压電源装置（No. 6）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 常設代替高压電源装置（No. 6）の構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
常設代替高压電源装置車両（No. 6）	コンテナ （発電装置本体、遮断機盤）	コンテナを車両フレームに取付ボルトにて固定する。	図 2-1 図 2-2 図 2-3 図 2-4
	フレーム （トレーラ）	・ 車載設備の自重を支持するフレームをサスペンションを有する車両に設置する。	
常設代替高压電源装置内燃機関（No. 6）	4 サイクル空冷直接噴射式 16 気筒ディーゼル機関	車載式の内燃機関は、発電機との共通台板に取付ボルトにて固定する。	図 2-5 図 2-6

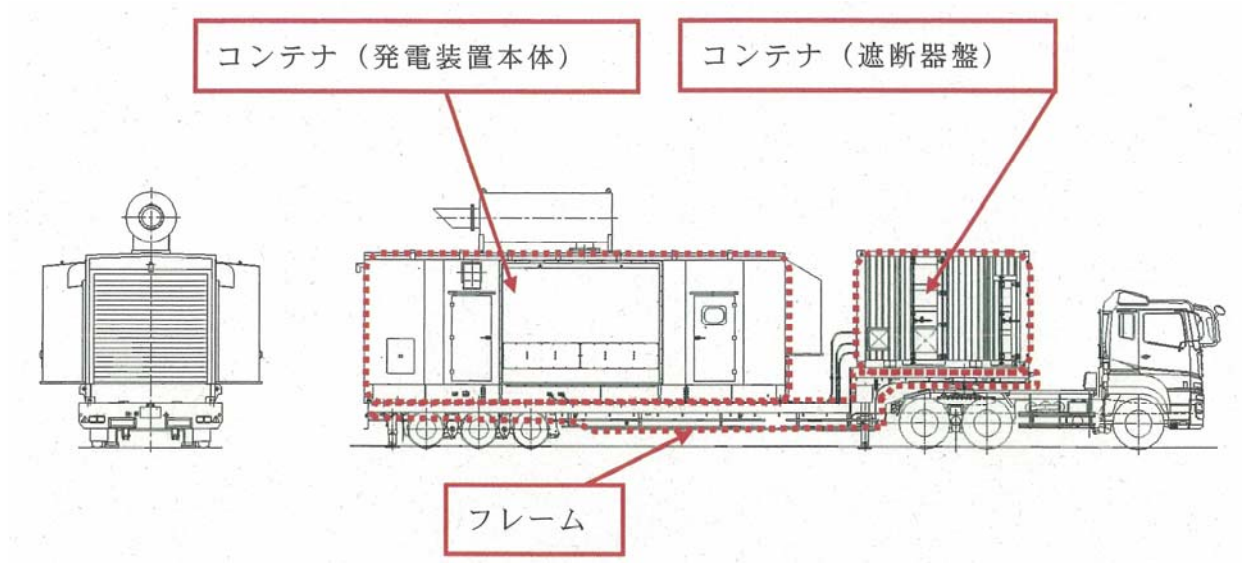


図 2-1 常設代替高圧電源装置車両 (No. 6) の構造図

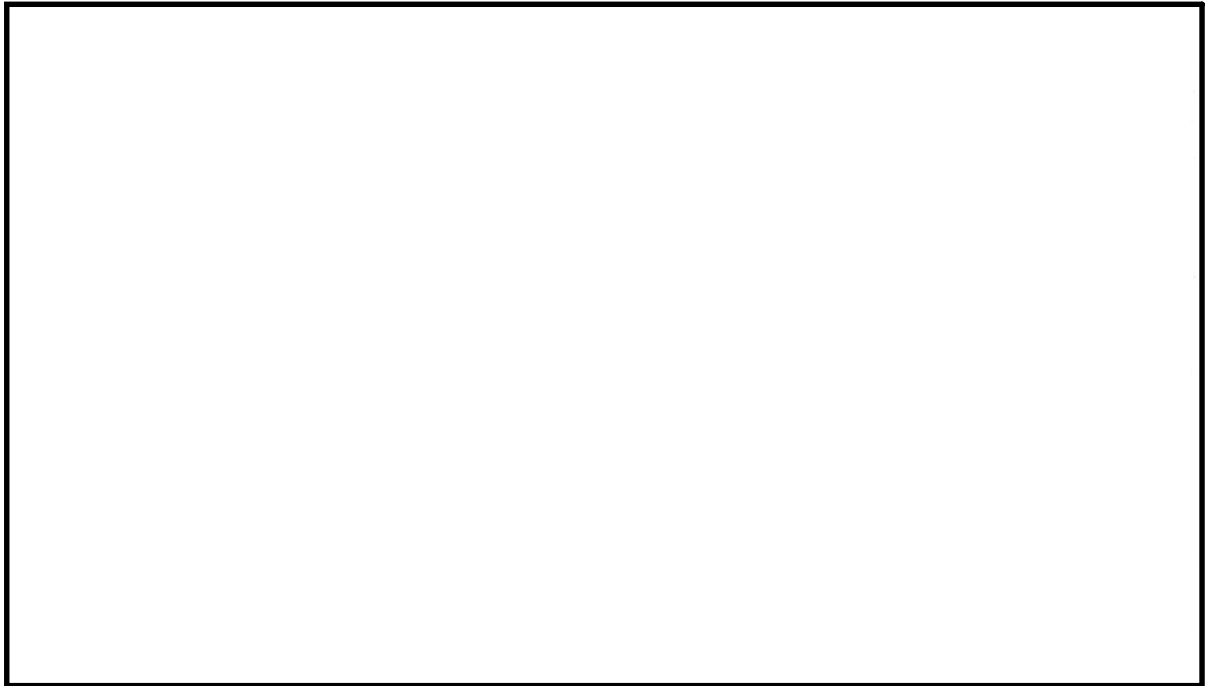


図 2-2 常設代替高圧電源装置車両 (No. 6) のフレーム概略図

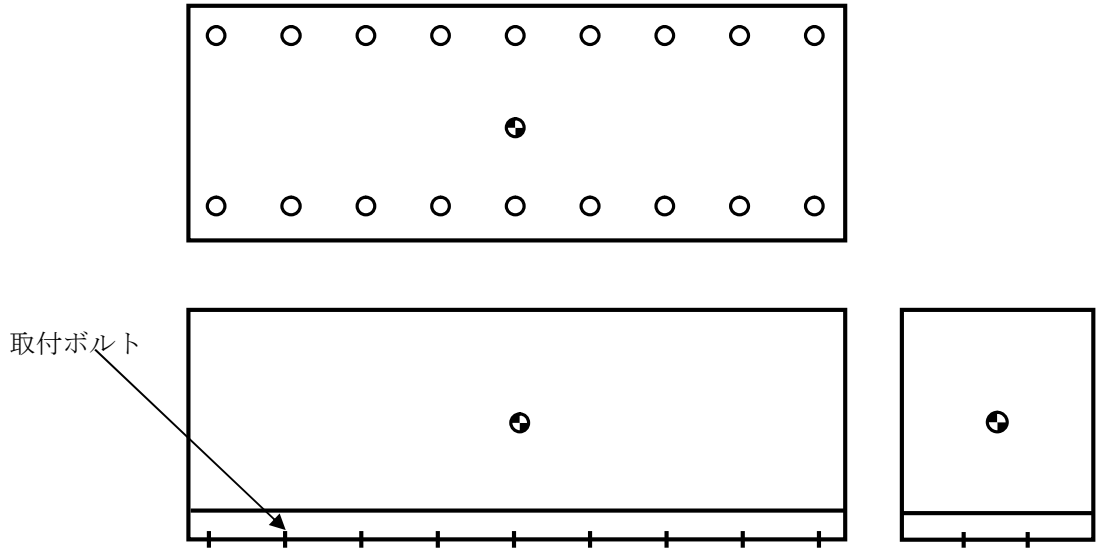


図 2-3 コンテナ（発電装置本体）取付ボルト配置図

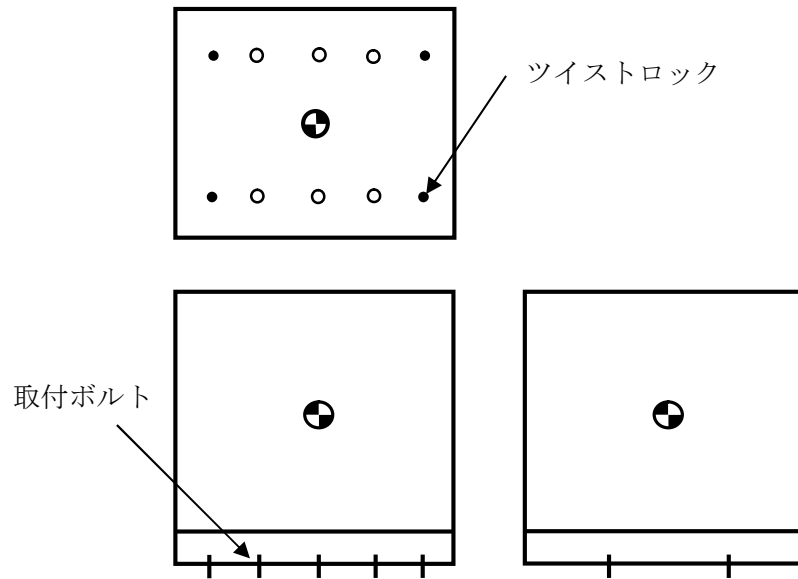


図 2-4 コンテナ（遮断器盤）取付ボルト配置図

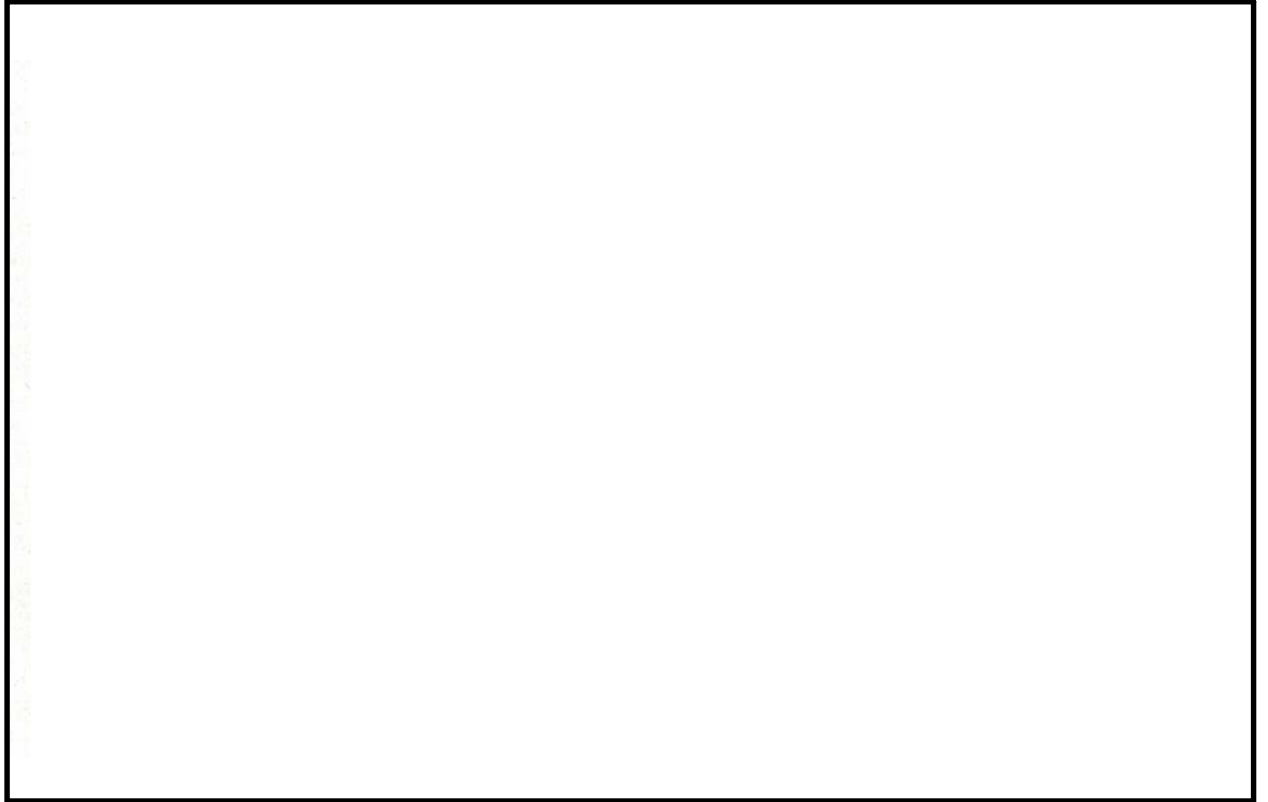


図 2-5 常設代替高圧電源装置内燃機関 (No. 6) の配置図

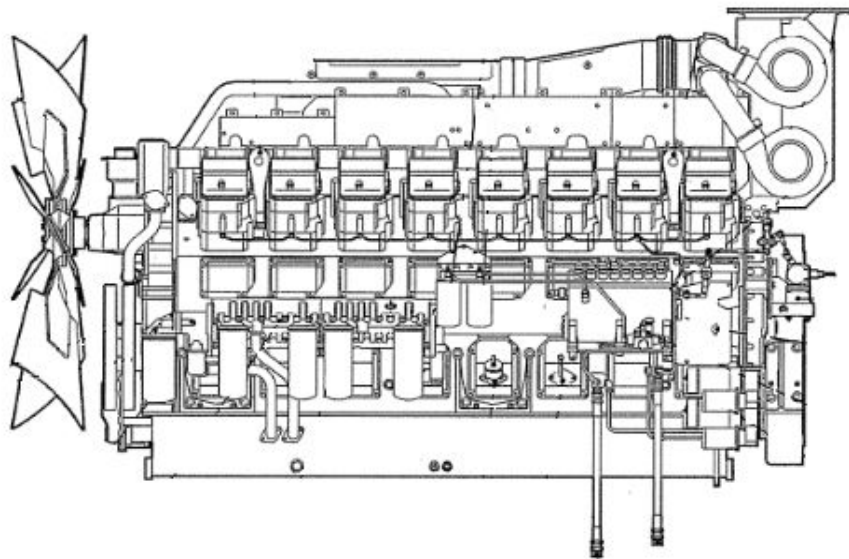


図 2-6 常設代替高圧電源装置内燃機関 (No. 6) の構造図

2.2 評価方針

間接支持構造物である常設代替高圧電源装置車両 (No. 6) の機能維持評価は、添付書類「V-1-2-9 機能維持の基本方針」にて設定した支持機能維持の方針及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造の説明」にて示す常設代替高圧電源装置車両 (No. 6) の部位を踏まえ、「3. 耐震評価箇所」にて設定する箇所に発生する応力等が許容限界内に収まることを、「4. 車両の加振試験」で得られた最大応答加速度を用い、「5. 車両の評価」の「5.1 応力評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

また、常設代替高圧電源装置車両 (No. 6) の機能維持評価は、間接支持構造物として十分な支持機能を有していることを、「5. 車両の評価」の「5.2 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

常設代替高圧電源装置車両 (No. 6) の耐震評価フローを図 2-7 に示す。

常設代替高圧電源装置内燃機関 (No. 6) の応力評価は、添付書類「V-1-2-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造の説明」にて示す内燃機関の部位を踏まえ「3. 耐震評価箇所」にて設定する箇所に作用する応力等が許容限界内に収まることを、「4. 車両の加振試験」で得られた最大応答加速度を用い、「6. 内燃機関の評価」の「6.1 応力評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

また、常設代替高圧電源装置内燃機関 (No. 6) の機能維持評価は、添付書類「V-1-2-9 機能維持の基本方針」にて設定した動的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が機能確認済加速度以下であることを、「4. 車両の加振試験」で得られた最大応答加速度を用い、「6. 内燃機関の評価」の「6.2 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

常設代替高圧電源装置内燃機関 (No. 6) の耐震評価フローを図 2-8 に示す。

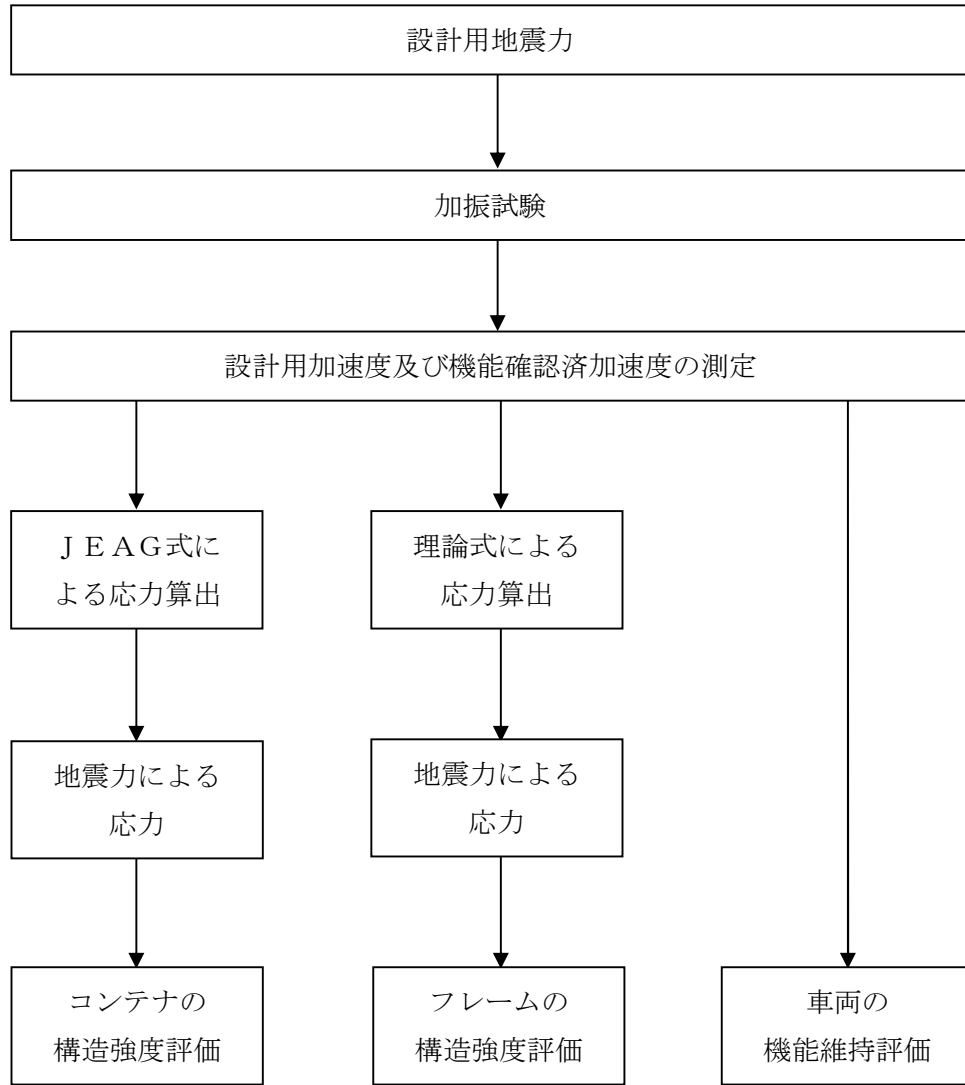


図 2-7 常設代替高圧電源装置車両 (No. 6) の耐震評価フロー

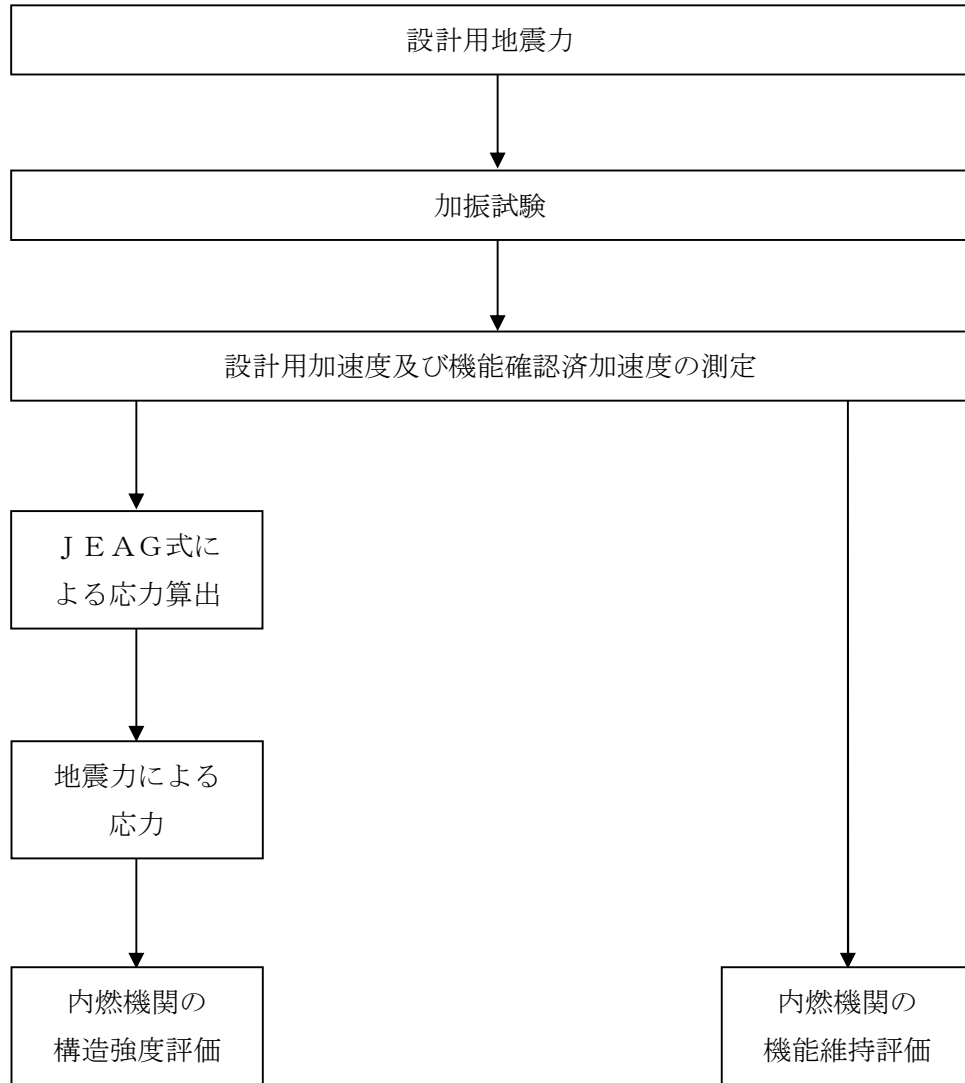


図 2-8 常設代替高圧電源装置内燃機関 (No. 6) の耐震評価フロー

3. 耐震評価箇所

間接支持構造物である常設代替高圧電源装置車両（No.6）の耐震評価は、自重を支持している車両のフレーム、車両部（コンテナ台板、コンテナ取付ボルト）のうち断面積の最も小さく、応力評価上厳しくなるコンテナを固定するボルトであるコンテナ取付ボルトを評価対象部位とする。

常設代替高圧電源装置内燃機関（No.6）の耐震評価は、耐震評価上厳しくなる取付ボルトを選定して実施する。

4. 車両の加振試験

地震時に車両に発生する車両重心位置，内燃機関，発電機頂部及び制御盤頂部の応答加速度及び機能維持確認済加速度を求めるため，加振試験を実施する。

4.1 基本方針

重大事故等に対処するための機能を保持するために，車両全体として安定性を有し，転倒しないこと，主要な構造部材が必要な構造強度を有すること及び支持機能，動的及び電氣的機能が保持できることを加振試験の結果を踏まえて評価することから，以下の「4.3 入力地震動」に示す入力地震動を用いて，加振試験を実施する。なお，加振台の最大床加速度を機能確認済加速度とする。

4.2 試験構成

図 2-1 に示す常設代替高圧電源装置車両全体を加振台に設置する。

4.3 入力地震動

入力地震動は，常設代替高圧電源装置置場における地盤条件を考慮し，常設代替高圧電源装置置場における基準地震動を包絡するスペクトル特性を有する時刻歴波とする。

4.4 許容限界

機能確認済加速度を求める際，車両全体として安定性を有し，転倒しないこと，また，車両に搭載している発電装置の発電機能並びにこの駆動源となる内燃機関等の動的及び電氣的機能が保持できることを許容限界として設定し，加振試験後にこれらを確認する。

4.5 加振試験結果

加振試験結果により得られた車両重心位置，内燃機関，発電機頂部及び制御盤頂部の最大応答加速度を表 4-1 から表 4-4 に，また機能維持確認済加速度を表 4-5 に示す。

表 4-1 車両重心位置の最大応答加速度

項目	最大応答加速度 (m/s ²)
水平	(追而)
鉛直	(追而)

表 4-2 内燃機関の最大応答加速度

項目	最大応答加速度 (m/s ²)
水平	(追而)
鉛直	(追而)

表 4-3 発電機頂部の最大応答加速度

項目	最大応答加速度 (m/s ²)
水平	(追而)
鉛直	(追而)

表 4-4 制御盤頂部の最大応答加速度

項目	最大応答加速度 (m/s ²)
水平	(追而)
鉛直	(追而)

表 4-5 機能維持確認済加速度

項目	最大応答加速度 (×9.8 m/s ²)
水平	2.04
鉛直	1.19

5. 車両の評価

常設代替高圧電源装置 (No. 6) のうち間接支持構造物である車両について、その支持機能が地震時に維持されることを確認する。

5.1 応力評価

5.1.1 基本方針

- (1) コンテナ取付ボルトの解析モデルは、1 質点系モデルとし、コンテナの重心位置に「4. 車両の加振試験」で得られた車両重心位置の最大応答加速度の 1.2 倍が作用するものとする。
- (2) 車両のフレームの解析モデルは、2 点支持はりモデルとし、「4. 車両の加振試験」で得られた車両重心位置の最大応答加速度の 1.2 倍の加速度によりフレームに作用する分布荷重による応力を理論式により求める。
はりモデル化にあたっては、発生応力が保守側となるよう車両前方の片端支持部を考慮しないものとする。
- (3) 回転中心相当である車軸を起点として、車両重心高さからコンテナの重心高さまでの比を用いて割増した設計用加速度により発生応力を算出し、応力評価を行う。
車両のフレームについては、車両重心高さよりもフレーム重心高さが低いため、高さ比による割増しは行わない。
- (4) 許容応力について J S M E S N C 1 - 2005/2007 の付録材料図表を用いて計算する際に、温度が付録材料図表記載値の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。
ただし、比例法を用いる場合の端数処理は、小数第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。
- (5) 応力計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

5.1.2 設計用地震力

耐震計算に用いる設計用地震力には、添付書類「V-2-2-22 常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備の地震応答計算書」にて設定した床応答曲線を上回るように設定した入力地震動を用いて実施した「4. 車両の加振試験」で得られた、車両重心位置における最大応答加速度の 1.2 倍を用いる。

5.1.3 荷重の組合せ及び許容応力

5.1.3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

常設代替高圧電源装置車両 (No. 6) の荷重の組合せ及び許容応力状態について、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

5.1.3.2 許容応力

常設代替高圧電源装置車両（No. 6）の許容応力を表 5-2 に示す。

5.1.3.3 使用材料の許容応力評価条件

常設代替高圧電源装置車両（No. 6）の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器クラス	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源 設備	非常用発電 装置	常設代替高圧電源 装置車両	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IV _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして IV _A Sの許容限界 を用いる。)

注記 *1: 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2: その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

*3: 「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため, 評価結果の記載を省略する。

表 5-2 許容応力（その他の支持構造物）

許容 応力 状態	許容限界*1, *2, *3 (ボルト以外)				許容限界*2 (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
IV _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記 *1：「鋼構造設計規準 S I 単位版」（2002 年日本建築学会）等の幅厚比の制限を満足させる。

*2：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*3：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-3 許容応力評価条件（その他の支持構造物）

材 質	評価温度 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
SCM435 (取付ボルト)	40 (雰囲気温度)	785	930	651
SM490 (フレーム)	40 (雰囲気温度)	315	490	343

5.1.3 応力評価方法

5.1.3.1 コンテナ取付ボルトの応力評価方法

(1) 記号の説明

記号	定義	単位
A_{cbt}	取付ボルト軸断面積	mm^2
a_H	コンテナの重心高さでの評価用加速度（水平）	m/s^2
a_H'	水平地震加速度 (加振試験で得られた車両重心位置での最大応答加速度の1.2倍)	m/s^2
a_V	コンテナの重心高さでの評価用加速度（鉛直）	m/s^2
a_V'	鉛直地震加速度 (加振試験で得られた車両重心位置での最大応答加速度の1.2倍)	m/s^2
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h_{CG}	取付面からコンテナ重心までの高さ	mm
h_G'	車両の回転中心相当位置（車軸高さ）から車両重心高さ	mm
h_G''	車両の回転中心相当位置（車軸高さ）からコンテナの重心高さ	mm
L_C	支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離 (短辺方向)	mm
L_{C1}	支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離 (長辺方向)	mm
L_{C2}	支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離 (長辺方向)	mm
L_{C3}	支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離 (長辺方向)	mm
L_{CG}	支点となる取付ボルトから重心までの距離（短辺方向）	mm
L_{CGX}	支点となる取付ボルトから重心までの距離（長辺方向）	mm
m_C	コンテナの質量	kg
n_C	せん断応力評価用の取付ボルト本数	—
n_{C1}	引張応力評価用の取付ボルト本数（短辺方向評価用）	—
n_{C2}	引張応力評価用の取付ボルト本数（長辺方向評価用）	—
α_H	車両の回転中心相当位置（車軸高さ）における床応答加速度（保守的に0とする）（水平）	—
α_V	車両の回転中心相当位置（車軸高さ）における床応答加速度（保守的に0とする）（鉛直）	—

記号	定 義	単 位
σ_{bt}	取付ボルト引張応力	MPa
τ_b	取付ボルトせん断応力	MPa

(2) 応力計算方法

コンテナ取付ボルトの応力評価を行う。応力評価にあたっては、回転中心相当である車軸を基点として、車両重心高さからコンテナの重心高さまでの比を用いて、設計用加速度の割増を行う。設計用加速度の割増し概要図を図 5-1 に示す。

<評価位置高さの応答加速度の計算式>

$$a_H(a_V) / a_H'(a_V') = h_G'' / h_G'$$

$$a_H(a_V) = (h_G'' / h_G') \times a_H'(a_V')$$

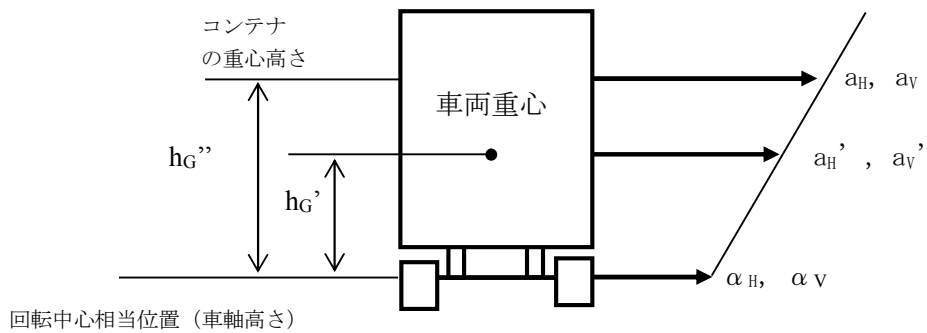
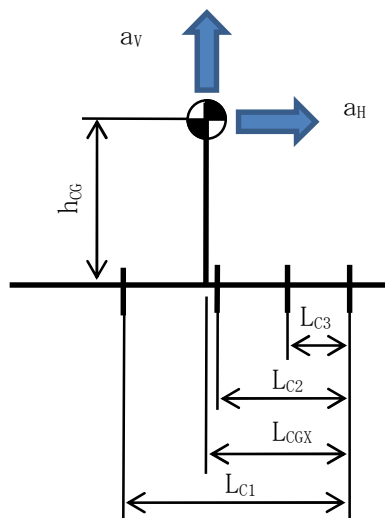


図 5-1 設計用加速度（応力評価）の割増し概要図

a. 引張応力の評価

引張応力は、取付ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の取付ボルトで受けるものとして計算する。

【長辺方向の計算モデル図】



【短辺方向の計算モデル図】

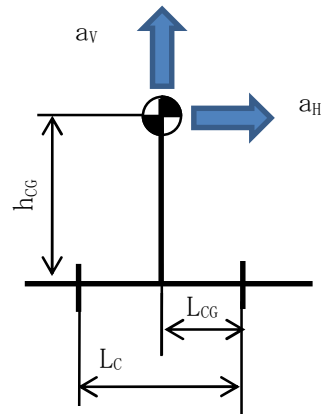


図 5-2 図 コンテナ取付ボルトの計算モデル図

コンテナ取付ボルトの計算モデル図である第 5-2 図に示すモーメントのつり合い式より以下の各計算式が得られる。

【長辺方向の引張応力計算式】

$$\sigma_{bt} = \frac{\left\{ \sqrt{(m_C \cdot a_H \cdot h_{CG})^2 + (m_C \cdot a_V \cdot L_{CGX})^2} - m_C \cdot g \cdot L_{CGX} \right\} \cdot L_{C1}}{n_{C2} \cdot (L_{C1}^2 + L_{C2}^2 + L_{C3}^2) \cdot A_{Cbt}}$$

【短辺方向の引張応力計算式】

$$\sigma_{bt} = \frac{\sqrt{(m_C \cdot a_H \cdot h_{CG})^2 + (m_C \cdot a_V \cdot L_{CG})^2} - m_C \cdot g \cdot L_{CG}}{n_{C1} \cdot A_{Cbt} \cdot L_C}$$

b. せん断応力の評価

せん断応力は、全ボルトで受けるものとして計算する。

$$\tau_b = \frac{m_C \cdot a_H}{n_C \cdot A_{Cbt}}$$

c. 組合せ応力の評価

引張応力とせん断応力の組合せ応力を J S M E S N C 1 - 2005/2007 S S B - 3 1 3 3 に基づき次式で評価する。

$$\sigma_{bt} \leq \min(1.4 \times 1.5f_t^* - 1.6\tau_b, 1.5f_t^*)$$

5.1.3.2 フレームの応力評価方法

(1) 記号の説明

記号	定義	単位
$A_H(x), A_V(x)$	それぞれ水平, 鉛直方向に対する支持位置 A から距離 x におけるフレームの断面積	mm^2
a_H	水平方向地震加速度 (加振試験で得られた車両重心位置での最大応答加速度の 1.2 倍)	m/s^2
a_V	鉛直方向地震加速度 (加振試験で得られた車両重心位置での最大応答加速度の 1.2 倍)	m/s^2
a_V'	水平方向地震による鉛直方向加速度 $= \frac{h_c}{\ell_1} a_H$	m/s^2
h_c	車両の重心高さ	mm
ℓ_1	フレームの支持位置間の距離	mm
$F_H(x), F_V(x), F_V'(x)$	それぞれ a_H, a_V, a_V' による支持位置 A から距離 x におけるせん断荷重	N
$M_H(x), M_V(x), M_V'(x)$	それぞれ a_H, a_V, a_V' による支持位置 A から距離 x における曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
x	支持位置 A からの距離	mm
$w(x)$	支持位置 A から距離 x における分布質量	kg/mm
$Z_H(x), Z_V(x)$	それぞれ水平, 鉛直方向に対する支持位置 A から距離 x におけるフレームの断面係数	mm^3
$\sigma_H(x), \sigma_V(x), \sigma_V'(x)$	それぞれ a_H, a_V, a_V' による支持位置 A から距離 x におけるフレームの組合せ応力	MPa
$\sigma_{bH}(x), \sigma_{bV}(x), \sigma_{bV}'(x)$	それぞれ a_H, a_V, a_V' による支持位置 A から距離 x におけるフレームの曲げ応力	MPa
$\tau_H(x), \tau_V(x), \tau_V'(x)$	それぞれ a_H, a_V, a_V' による支持位置 A から距離 x におけるフレームのせん断応力	MPa
σ	組合せ応力	MPa

(2) 曲げモーメント及びせん断荷重の算出

トレーラと車両の接合部（支持位置 A）とタイヤ中心（支持位置 B）を支持固定とした、各々の設備の分布荷重が作用するはりモデルとして、曲げモーメントとせん断荷重を算出する。

図 5-3 に計算モデルを示す。計算モデルは、「5.1.1 基本方針」に示す通り、片端支持部である支持位置 A から前方を考慮しないものとする。ただし、保守的に遮断器盤コンテナの重量は全て支持位置 A より後方に付加するものとする。

図 5-3 の計算モデルより、支持位置 A からの距離 x において、以下の各計算式が得られる。

a. 曲げモーメントの算出式

支持位置 A から距離 x における各加速度による曲げモーメントは、その間の単位加速度当りの質量分布を考慮し以下の通り計算する。

$$M_H(x) = a_H \cdot \int_0^x w(x) \cdot x dx$$

$$M_V(x) = a_V \cdot \int_0^x w(x) \cdot x dx$$

$$M_V'(x) = a_V' \cdot \int_0^x w(x) \cdot x dx$$

b. せん断荷重の算出式

支持位置 A から距離 x における各加速度によるせん断荷重は、その間の単位加速度当りの質量分布を考慮し以下の通り計算する。

$$F_H(x) = a_H \cdot \int_0^x w(x) dx$$

$$F_V(x) = a_V \cdot \int_0^x w(x) dx$$

$$F_V'(x) = a_V' \cdot \int_0^x w(x) dx$$

(3) 応力計算方法

前項にて算出した曲げモーメントとせん断荷重を用いて、曲げ応力及びせん断応力を算出し、組合せ（ミーゼス）応力にて評価する。

なお、水平、鉛直方向、それぞれの方向で組合せ応力を算出し、それらの発生応力を二乗和平方根法にて組み合わせて評価することとする。

a. 曲げ応力の算出式

フレームに発生する曲げ応力は、各加速度に対し以下の通り計算する。

$$\sigma_{bH}(x) = \frac{M_H(x)}{Z_H(x)}$$

$$\sigma_{bV}(x) = \frac{M_V(x)}{Z_V(x)}$$

$$\sigma_{bV}'(x) = \frac{M_V'(x)}{Z_V(x)}$$

b. せん断応力の算出式

フレームに発生するせん断応力は、各加速度に対し以下の通り計算する。

$$\tau_H(x) = \frac{F_H(x)}{A_H(x)}$$

$$\tau_V(x) = \frac{F_V(x)}{A_V(x)}$$

$$\tau_V'(x) = \frac{F_V'(x)}{A_V(x)}$$

c. 各方向の組合せ応力の算出式

曲げ応力とせん断応力の最大値から、各加速度に対し組合せ応力を次式に基づき算出する。

$$\sigma_H = \sqrt{\sigma_{bH}^2 + 3\tau_H^2}$$

$$\sigma_V = \sqrt{\sigma_{bV}^2 + 3\tau_V^2}$$

$$\sigma_V' = \sqrt{\sigma_{bV}'^2 + 3\tau_V'^2}$$

d. 組合せ応力の評価

各加速度に対する組合せ応力から車両フレームの組合せ応力を求め、下式を満足することを確認する。

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_H + \sigma_V')^2 + \sigma_V^2} \leq 1.5f_t^*$$

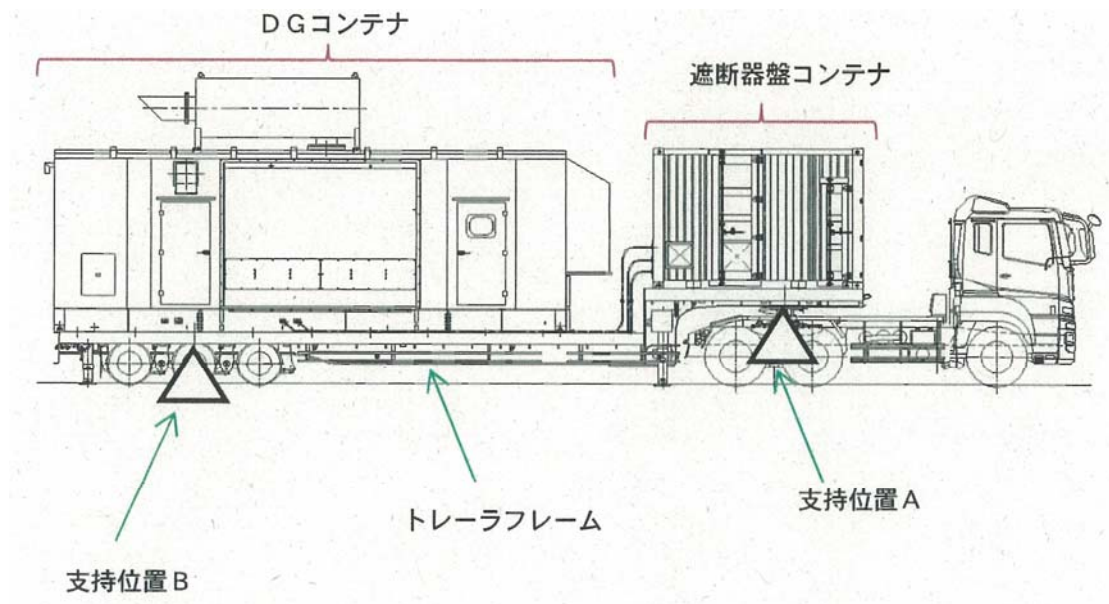


図 5-3 車両フレームの計算モデル図

5.2 機能維持評価

常設代替高圧電源装置（No. 6）の間接支持構造物である車両について，その支持機能の維持のために地震時に車両が転倒しないことを確認する。

5.2.1 機能維持評価方法

車両の支持機能が維持されており，車両全体として安定性を有し，転倒しないことを確認した機能確認済加速度と設置場所の最大床加速度を比較することで実施する。

機能確認済加速度を表 5-4 に示す。

表 5-4 機能確認済加速度

項目	機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
水平	2.04
鉛直	1.19

6. 内燃機関の評価

6.1 応力評価

6.1.1 基本方針

- (1) 内燃機関の解析モデルは、1 質点系モデルとし、内燃機関の重心位置に地震荷重、内燃機関の運転による加速度及び内燃機関の運転により働くモーメントが作用するものとする。
- (2) 内燃機関は、厚肉構造の低重心であるため、剛として取り扱うこととする。
- (3) 内燃機関は、「4. 車両の加振試験」で測定された内燃機関における最大応答加速度の 1.2 倍を用いて、内燃機関の重心までの比により割増した評価用加速度により発生応力を算出し、応力評価を行う。
- (4) 許容応力について J S M E S N C 1 - 2005/2007 の付録材料図表を用いて計算する際に、温度が付録材料図表記載値の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。
但し、比例法を用いる場合の端数処理は、小数第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

6.1.2 設計用地震力

耐震計算に用いる設計用地震力には、添付書類「V-2-2-22 常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備の地震応答計算書」にて設定した床応答曲線を上回るように設定した入力地震動を用いて実施した「4. 車両の加振試験」で得られた、内燃機関における最大応答加速度の1.2倍を用いる。

6.1.3 荷重の組合せ及び許容応力

6.1.3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

常設代替高圧電源装置内燃機関 (No. 6) の荷重の組合せ及び許容応力状態について、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 6-1 に示す。

6.1.3.2 許容応力

常設代替高圧電源装置内燃機関 (No. 6) の許容応力を表 6-2 に示す。

6.1.3.3 使用材料の許容応力評価条件

常設代替高圧電源装置内燃機関 (No. 6) の使用材料の許容応力評価条件を表 6-3 に示す。

表 6-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器クラス	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源 設備	非常用発電 装置	常設代替高圧電源 装置内燃機関 (No. 6)	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IV _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして IV _A Sの許容限界を 用いる。)

注記 *1: 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2: その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

*3: 「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため, 評価結果の記載を省略する。

表 6-2 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
IV _A S	1.5・f _t *	1.5・f _s *
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの 許容限界を用いる。)		

注記 *1: 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*2: 当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 6-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

強度区分	評価温度 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
10.9*	40	900	1000	700

注記 *: JIS B 1051 に規定される材料を使用。

6.1.4 応力評価方法

6.1.4.1 内燃機関の取付ボルト応力評価方法

(1) 記号の説明

記号	定義	単位
A_{bt}	取付ボルト軸断面積	mm^2
a_H	内燃機関の重心高さでの評価用加速度（水平）	m/s^2
a_H'	水平地震加速度 (加振試験で得られた内燃機関の最大応答加速度の1.2倍)	m/s^2
a_V	内燃機関の重心高さでの評価用加速度（鉛直）	m/s^2
a_V'	鉛直地震加速度 (加振試験で得られた内燃機関の最大応答加速度の1.2倍)	m/s^2
a_p	回転体振動による加速度	m/s^2
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h_G	取付面からディーゼル機関重心までの高さ	mm
h_G'	車両の回転中心相当位置（車軸高さ）から内燃機関測定点高さ	mm
h_G''	車両の回転中心相当位置（車軸高さ）から内燃機関の重心高さ	mm
L_1	支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離（軸直角方向）	mm
L_{1X}	支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離（軸方向）	mm
L_{2X}	支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離（軸方向）	mm
L_{3X}	支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離（軸方向）	mm
L_{4X}	支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離（軸方向）	mm
L_{5X}	支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離（軸方向）	mm
L_G	支点となる取付ボルトから重心までの距離（軸直角方向）	mm
L_{GX}	支点となる取付ボルトから重心までの距離（軸方向）	mm
m_{DG}	ディーゼル機関質量	kg
M_p	回転体回転により働くモーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
n	取付ボルト総本数	—
n_{t1}	軸方向に設けた取付ボルトの片側本数	—

記号	定義	単位
n_{t2}	軸直角方向に設けた取付ボルトの片側本数	—
p	回転体の許容振幅	μm
P	原動機出力	kW
R	機関定格回転数	min^{-1}
α_H	車両の回転中心相当位置（車軸高さ）における床応答加速度 （保守的に0とする）（水平）	—
α_V	車両の回転中心相当位置（車軸高さ）における床応答加速度 （保守的に0とする）（鉛直）	—
σ_{bt}	取付ボルト引張応力	MPa
τ_b	取付ボルトせん断応力	MPa

(2) 応力計算方法

内燃機関取付ボルトの応力評価を行う。応力評価にあたっては、内燃機関測定点高さ
と内燃機関重心高さまでの比を用いて、設計用加速度の割増を行う。設計用加速度
の割り増し概要図を図 6-1 に示す。

<評価位置高さの応答加速度の計算式>

$$a_H (a_V) / a_H' (a_V') = h_G'' / h_G'$$

$$a_H (a_V) = (h_G'' / h_G') \times a_H' (a_V')$$

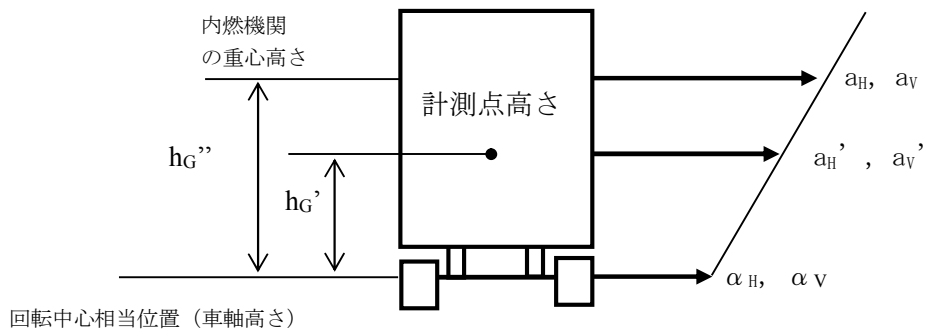


図 6-1 設計用加速度（応力評価）の割り増し概要図

a. 引張応力の評価

引張応力は、取付ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の取付ボルトで受けるものとして計算する。

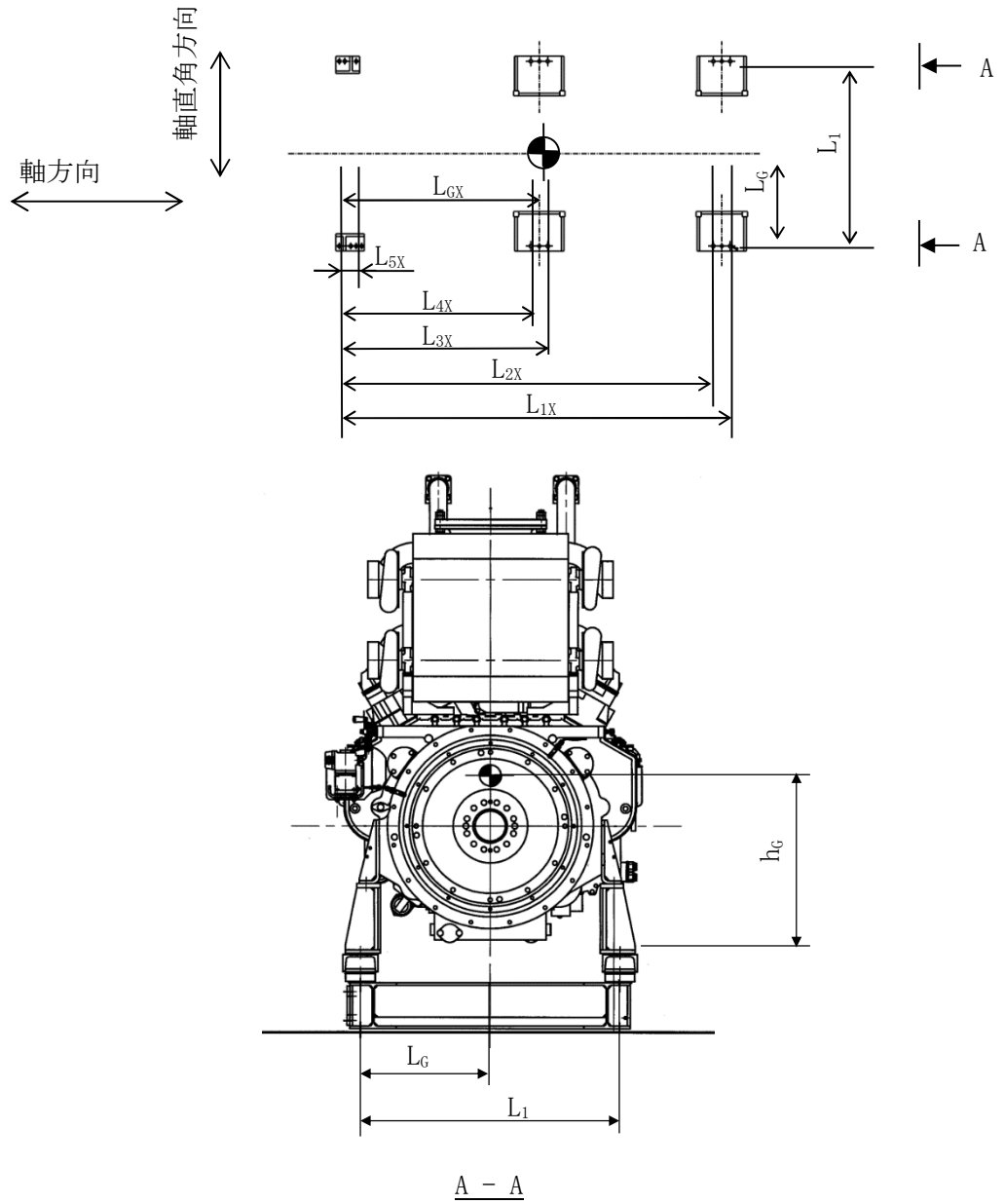


図 6-2 内燃機関 取付ボルトの計算モデル図

図 6-2 に示すモーメントのつり合い式より以下の各計算式が得られる。

【軸直角方向の引張応力計算式】

$$\sigma_{bt} = \frac{m_{DG} \cdot (a_H + a_P) \cdot h_G + M_P - m_{DG} \cdot (g - a_V - a_P) \cdot L_G}{n_{t1} \cdot A_{bt} \cdot L_1}$$

【軸方向の引張応力計算式】

$$\sigma_{bt} = \frac{\{m_{DG} \cdot (a_H + a_P) \cdot h_G - m_{DG} \cdot (g - a_V - a_P) \cdot L_{GX}\} \cdot L_{1X}}{n_{t2} \cdot (L_{1X}^2 + L_{2X}^2 + L_{3X}^2 + L_{4X}^2 + L_{5X}^2) \cdot A_{bt}}$$

σ_{bt} は、上式で得られる大きい方の値とする。

【回転体回転によるモーメントの計算式】

$$M_P = \frac{60P}{2\pi \cdot R} \times 10^6$$

【回転体振動による加速度の計算式】

$$a_p = \left(2\pi \cdot \frac{R}{60}\right)^2 \cdot \frac{p \cdot 10^{-6}}{2}$$

b. せん断応力の評価

せん断応力は、全ボルトで受けるものとして計算する。

$$\tau_b = \frac{m_{DG} \cdot (a_H + a_P)}{n \cdot A_{bt}}$$

c. 組合せ応力の評価

引張応力とせん断応力の組合せ応力を J S M E S N C 1 - 2005/2007 S S B - 3 1 3 3 に基づき次式で評価する。

$$\sigma_{bt} \leq \min(1.4 \times 1.5f_t^* - 1.6\tau_b, 1.5f_t^*)$$

6.2 機能維持評価

常設代替高圧電源装置内燃機関（No. 6）の地震後機能維持評価について、以下に示す。

6.2.1 機能維持評価方法

車両に搭載している内燃機関の動的機能維持を確認した機能確認済加速度と設置場所の最大床加速度を比較し、地震時の応答加速度が機能確認済加速度以下であることを確認することで実施する。

機能確認済加速度を表 6-4 に示す。

表 6-4 機能確認済加速度

項目	機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
水平	2.04
鉛直	1.19

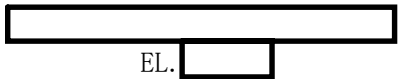
7. 評価結果

常設代替高圧電源装置車両 (No. 6) について、耐震計算結果を次頁以降に示す。発生値は許容応力以下であり、耐震性を有することを確認した。また、常設代替高圧電源装置置場の加速度は機能維持確認済加速度以下であり、基準地震動 S_s に対して動的機能が維持されることを確認した。

常設代替高圧電源装置内燃機関 (No. 6) について耐震計算結果を次頁以降に示す。発生値は許容応力以下であり、耐震性を有することを確認した。また、常設代替高圧電源装置置場の加速度は機能維持確認済加速度以下であり、基準地震動 S_s に対して動的機能が維持されることを確認した。

東海第二発電所 常設代替高圧電源装置内燃機関 (No. 6) の耐震計算書

1. 設計条件

設備分類	設置場所及び床面高さ (m)	ボルト配置状態	評価温度 (°C)		
			取付ボルト	コンテナ	車 両
常設耐震/防止 常設/緩和	EL. 	矩形配置	40 (使用温度)	40 (雰囲気温度)	40 (雰囲気温度)

2. 設計用加速度及び評価用加速度

減衰定数 (%)	評価用加速度 (m/s ²) (機能維持評価) (内燃機関)		設計用加速度 (m/s ²) (応力評価) (内燃機関)		回転体振動による 加速度 (m/s ²)		回転によるモーメント (取付ボルトのみ) M _p (N・mm)
	水 平	鉛 直	水 平 (a _H)	鉛 直 (a _V)	水 平 (a _p)	鉛 直 (a _p)	
1.0	4.51	4.12	(追而)	(追而)	3.71	3.71	9230986.7

設計用加速度 (m/s ²) (応力評価) (コンテナ)		設計用加速度 (m/s ²) (応力評価) (フレーム)		
水 平 (a _H)	鉛 直 (a _V)	水 平 (a _H)	鉛 直 (a _V)	水平加速度によって作用する鉛直方向の加速度 (a _{v'})
(追而)	(追而)	(追而)	(追而)	(追而)

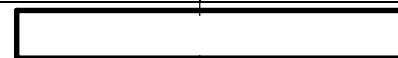





3. 機器要目

a. コンテナ*1

評価部位	m _c (kg)	h _{CG} (mm)	A _{Cbt} (mm ²)	n _c	n _{c1}	n _{c2}	L _c (mm)	L _{c1} (mm)	L _{c2} (mm)	L _{c3} (mm)	L _{CG} (mm)	L _{CGX} (mm)
取付ボルト	5,900	1190	314.1	6	3	2	2910	2418.5	1608.5	798.5	1455	1614.5

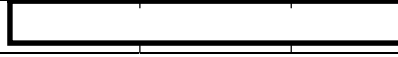
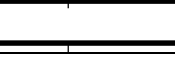
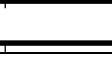
注記 *1: 評価上, 最も厳しいコンテナ (遮断器盤) を示す。

b. フレーム*2

評価部位	ℓ ₁ (mm)	h _c (mm)	評価部位	A _H (mm ²)	Z _H (mm ³)	評価部位	A _V (mm ²)	Z _V (mm ³)
フレーム			フレーム (水平方向)			フレーム (鉛直方向)		

注記 *2: 応力が最大となる箇所の値を示す。

c. 内燃機関

評価部位	m _{DG} (kg)	h _G (mm)	A _{bt} (mm ²)	n	n _{t1}	n _{t2}	L ₁ (mm)	L _{1X} (mm)	L _{2X} (mm)	L _{3X} (mm)	L _{4X} (mm)	L _{5X} (mm)	L _G (mm)	L _{GX} (mm)	R (min ⁻¹)	p (μm)	P (kW)
取付ボルト				12	6	2	1070	2270.5	2172.5	1158	1060	98	535	1135.2	1500	300	1450

4. 結果

4.1 車両の応力評価結果

a. コンテナ取付ボルトの応力評価結果

評価部位	材 料	評価応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
取付ボルト	SCM435	引張	(追而)	487
		せん断	(追而)	375
		組合せ	(追而)	321

発生応力は全て許容値以下である。

b. フレームの応力評価結果

評価部位	材 料	評価応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
フレーム	SM490	組合せ	(追而)	(追而)

発生応力は全て許容値以下である。

4.2 車両の機能維持評価結果

a. 車両の転倒評価結果

		評価用加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
車両	水平	0.46	2.04
	鉛直	0.42	1.19

評価用加速度 (1.0ZPA) は、すべて機能確認済加速度以下である。

4.3 内燃機関の応力評価結果

a. 内燃機関

評価部位	強度区分	評価応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
取付ボルト	10.9	引張	(追而)	525
		せん断	(追而)	403
		組合せ	(追而)	525

発生応力は全て許容値以下である。

4.4 内燃機関機能維持評価結果

		評価用加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
ディーゼル機関	水平	0.46	2.04
	鉛直	0.42	1.19

評価用加速度 (1.0ZPA) は、すべて機能確認済加速度以下である。

V-2-10-1-4-2-1 常設代替高圧電源装置燃料油サービスタンク
(No. 1～No. 5)
の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 構造の説明	1
2.2 評価方針	3
3. 耐震評価箇所	4
4. 応力評価	4
4.1 基本方針	4
4.2 設計用地震力	5
4.3 荷重の組合せ及び許容応力	5
4.4 応力評価方法	9
4.5 応力評価条件	15
5. 評価結果	16

1. 概要

本資料は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、常設代替高圧電源装置燃料油サービスタンク（No.1～No.5）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。その耐震評価は、応力評価により行う。

また、間接支持構造物である車両が設計用地震力に対して十分な支持機能を有していることは、添付書類「V-2-10-1-4-1-1 常設代替高圧電源装置内燃機関（No.1～No.5）の耐震性についての計算書」で説明している。

常設代替高圧電源装置燃料油サービスタンク（No.1～No.5）は、重大事故等対処設備において常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、この分類に応じた耐震評価を示す。

2. 基本方針

2.1 構造の説明

常設代替高圧電源装置燃料油サービスタンク（No.1～No.5）の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 常設代替高圧電源装置燃料油サービスタンク（No.1～No.5）の構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
常設代替高圧電源装置 燃料油サービスタンク (No.1～No.5)	角型平底大気開放容器	車載式のディーゼル発電装置で、燃料油サービスタンクは、フレーム上に取付ボルトにて固定する。	図 2-1 図 2-2

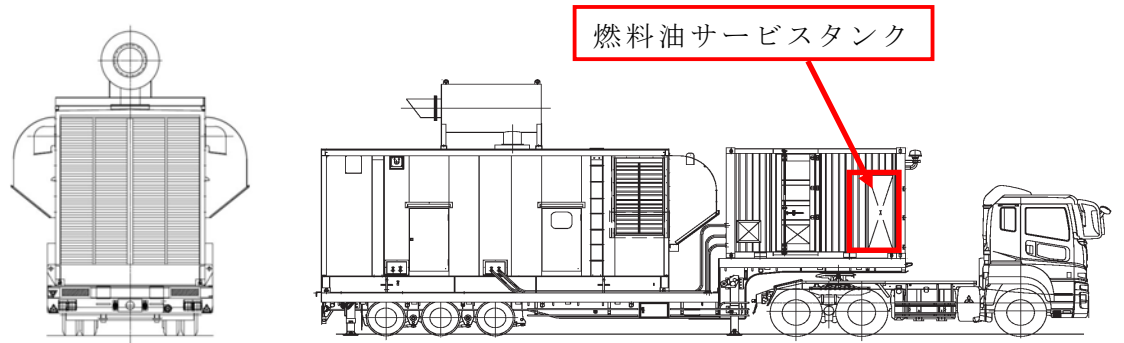


図 2-1 常設代替高圧電源装置燃料油サービスタンク (No. 1～No. 5) の配置図



図 2-2 常設代替高圧電源装置燃料油サービスタンク (No. 1～No. 5) の構造図

2.2 評価方針

常設代替高圧電源装置燃料油サービスタンク（No.1～No.5）の応力評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造の説明」にて示す常設代替高圧電源装置燃料油サービスタンク（No.1～No.5）の部位を踏まえ「3. 耐震評価箇所」にて設定する箇所に発生する応力等が許容限界内に収まることを、添付書類「V-2-10-1-4-1-1 常設代替高圧電源装置内燃機関（No.1～No.5）の耐震性についての計算書」の「4. 車両の加振試験」で得られた燃料油サービスタンク頂部における最大応答加速度を用い、「4. 応力評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

常設代替高圧電源装置燃料油サービスタンク（No.1～No.5）の耐震評価フローを図 2-3 に示す。

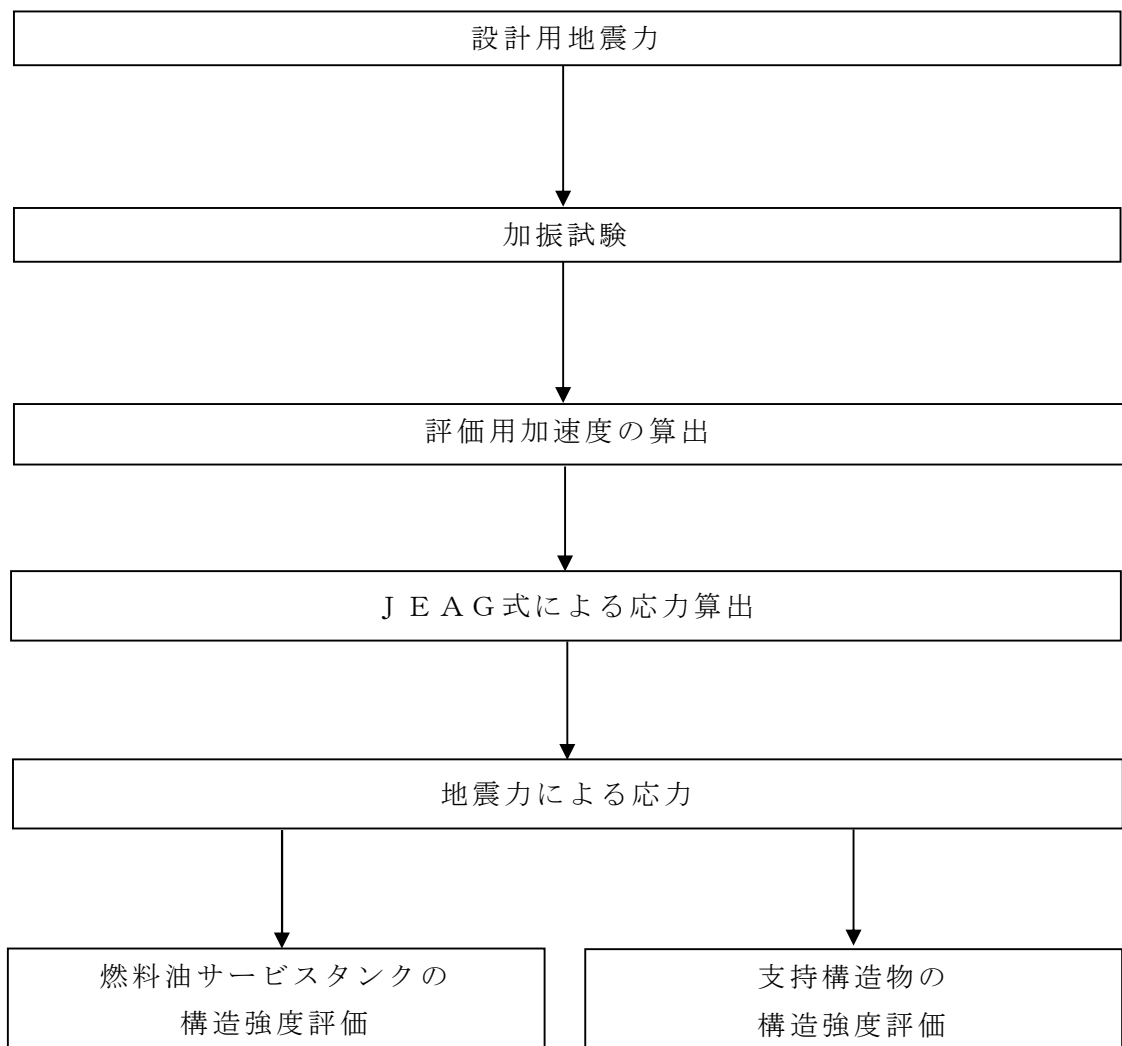


図 2-3 常設代替高圧電源装置燃料油サービスタンク（No.1～No.5）の耐震評価フロー

3. 耐震評価箇所

常設代替高圧電源装置燃料油サービスタンク（No.1～No.5）の耐震評価は，耐震評価上厳しくなる胴板及びスカート並びに取付ボルトを選定して実施する。

4. 応力評価

4.1 基本方針

- (1) 燃料油サービスタンクの応力計算モデルは1質点系モデルとする。
- (2) 加振試験により測定された燃料油サービスタンク頂部における最大応答加速度の1.2倍を用いて発生応力を算出し，応力評価を行う。
- (3) 許容応力について J S M E S N C 1 - 2005/2007 の付録材料図表を用いて計算する際に，温度が付録材料図表記載値の中間の値の場合は，比例法を用いて計算する。

ただし，比例法を用いる場合の端数処理は，小数第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。

- (4) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

4.2 設計用地震力

耐震計算に用いる設計用地震力には、添付書類「V-2-2-22 常設代替高压電源装置置場及び西側淡水貯水設備の地震応答計算書」にて設定した床応答曲線を上回るように設定した入力地震動を用いて実施した、添付書類「V-2-10-1-4-1-1 常設代替高压電源装置内燃機関 (No.1～No.5) の耐震性についての計算書」の「4. 車両の加振試験」で得られた燃料油サービスタンク頂部における最大応答加速度の1.2倍を用いる。

4.3 荷重の組合せ及び許容応力

4.3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

常設代替高压電源装置燃料油サービスタンク (No.1～No.5) の荷重の組合せ及び許容応力状態について、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-1に示す。

4.3.2 許容応力

常設代替高压電源装置燃料油サービスタンク (No.1～No.5) の許容応力を表4-2～表4-3に示す。

4.3.3 使用材料の許容応力評価条件

常設代替高压電源装置燃料油サービスタンク (No.1～No.5) の使用材料の許容応力評価条件について、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-4に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器クラス	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用 電源設備	非常用 発電装置	常設代替高圧電源装置 燃料油サービスタンク (No. 1~No. 5)	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D+P_D+M_D+S_s$ *3	$IV_A S$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ の 許容限界を用いる。)

注記 *1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

*3：「 $D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-2 許容応力 (容器)

許容応力 状態	許容限界			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
IV _A S	0.6Su	左欄の1.5倍の値	* S _s 地震動のみによる疲労解析を行い、 疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次 応力の変動値が2Sy以下であれば、疲 労解析は行わない。	
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの 許容限界を用いる。)				

注記 * : 2Sy を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、J S M E S N C 1 P V B - 3 3 0 0 (同 P V B - 3 3 1 3 を除く。また、S_m は 2/3Sy に読み替える。) の簡易弾塑性解析を用いる。

表 4-3 許容応力 (その他の支持構造物)

許容 応力 状態	許容限界*1, 2 (ボルト以外)				許容限界*2 (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
IV _A S	1.5・f _t *	1.5・f _s *	1.5・f _c *	1.5・f _b *	1.5・f _t *	1.5・f _s *
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの 許容限界を用いる。)						

注記 *1 : 「鋼構造設計規準 S I 単位版」 (2002 年日本建築学会) 等の幅厚比の制限を満足させる。

*2 : 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

部位	材質	温度条件 (°C)	圧力条件 (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)	摘要
胴板 (タンク)	SS400	50 (使用温度)	0 (大気開放)	241	394	—	—
スカート	SS400	50 (使用温度)	0 (大気開放)	241	394	275	—
取付ボルト	SS400	50 (使用温度)	—	241	394	275	呼径 M16

4.4 応力評価方法

4.4.1 記号の説明

記号	定義	単位
A	容器胴の断面積	mm ²
A _{sk}	容器スカートの断面積	mm ²
A _b	ボルトの呼び径断面積	mm ²
A _s	容器胴のせん断断面積	mm ²
A _{ssk}	容器スカートのせん断断面積	mm ²
a、b	応力係数 β 算定に用いる長方形の辺の長さ (タンク内径)	mm
a _H	水平地震加速度 (加振試験で得られた燃料油サービスタンク頂部の最大応答加速度の 1.2 倍)	m/s ²
a _V	鉛直地震加速度 (加振試験で得られた燃料油サービスタンク頂部の最大応答加速度の 1.2 倍)	m/s ²
E	胴板の縦弾性係数	MPa
E _{sk}	スカートの縦弾性係数	MPa
F _{sb}	取付ボルトへ作用するせん断荷重	N
F _{tb1}	取付ボルトへ作用する引張荷重 (短辺方向)	N
F _{tb2}	取付ボルトへ作用する引張荷重 (長辺方向)	N
G	胴板のせん断弾性係数	MPa
G _{sk}	スカートのせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (9.80665)	m/s ²
H	水頭高さ	mm
I	胴の断面 2 次モーメント	mm ⁴
I _{sk}	スカートの断面 2 次モーメント	mm ⁴
L ₁	支点から片側のボルト位置までの距離 (短辺方向)	mm
L ₂	支点から片側のボルト位置までの距離 (長辺方向)	mm
l ₁	容器重心からボルト位置までの距離 (短辺方向)	mm
l ₂	容器重心からボルト位置までの距離 (長辺方向)	mm
l _g	スカート上面から容器重心までの距離	mm
l _{gsk}	基礎からスカート重心までの距離	mm
m ₀	満水質量	kg
m _e	空質量	kg

記号	定義	単位
n_b	ボルトの全本数	—
n_{fb1}	引張が作用するボルトの本数（短辺方向）	—
n_{fb2}	引張が作用するボルトの本数（長辺方向）	—
p	容器底部の最大圧力	MPa
t	側板板厚	mm
Z	容器胴の断面係数	mm ³
Z_{sk}	容器スカートの断面係数	mm ³
β_1	応力係数	—
ρ	内容物（油）の密度	kg/mm ³
σ_1	容器胴に作用する組合せ応力	MPa
σ_{s1}	スカートに作用する圧縮応力（短辺方向）	MPa
σ_{s2}	スカートに作用する圧縮応力（長辺方向）	MPa
σ_{s3}	スカートに作用する軸方向応力	MPa
σ_{b1}	取付ボルトに作用する引張応力（短辺方向）	MPa
σ_{b2}	取付ボルトに作用する引張応力（長辺方向）	MPa
σ_x	容器胴に作用する軸方向応力	MPa
σ_{x2}	容器胴に作用する空質量による応力	MPa
σ_{x3}	水平方向地震により容器胴板に作用する応力	MPa
$\sigma_{x\phi 1}$	容器胴に作用する静水頭による応力	MPa
σ_ϕ	容器胴の周方向応力	MPa
σ_{sb}	スカートに作用する曲げモーメントによる軸圧縮応力	MPa
σ_{sc}	スカートに作用する軸圧縮荷重による軸圧縮応力	MPa
τ	水平方向地震により容器胴板に作用するせん断応力	MPa
τ_s	水平方向地震により容器スカートに作用するせん断応力	MPa
τ_{sb}	取付ボルトに作用するせん断応力	MPa

4.4.2 胴板（タンク）の応力計算

応力評価は、J E A G 4 6 0 1-1987 に記載の平底たて置円筒形容器の評価式をベースに矩形タンクの要素を考慮した評価式にて評価を行う。

(1) 静水頭による応力 $\sigma_{x\phi 1}$

$$\sigma_{x\phi 1} = \beta_1 \frac{p \cdot a^2}{t^2}$$

ここで、

β_1 : 図 4-1 に基づく b/a に対する応力係数

ここでは、 $b/a=1.65$ より、安全側に $\beta_1=0.6$ とする。

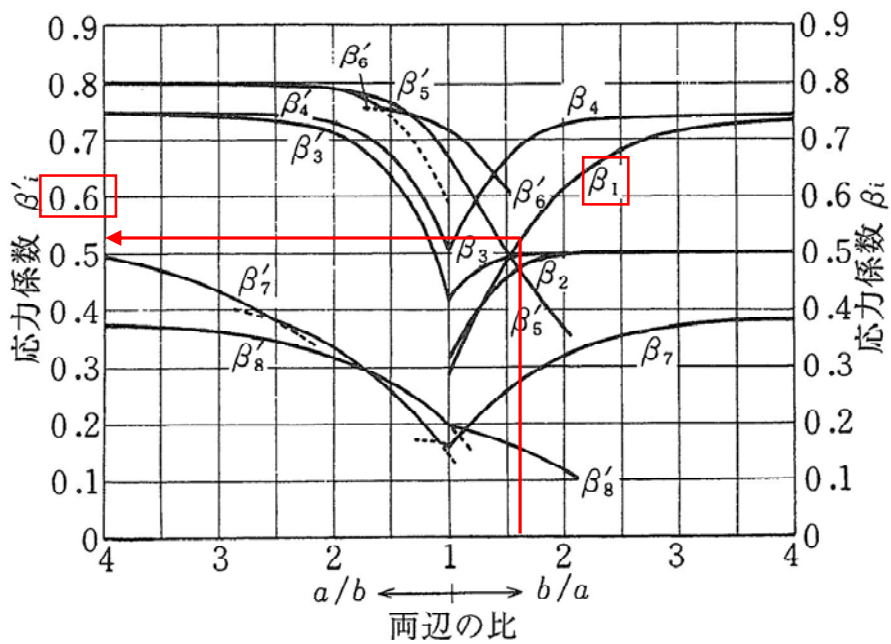


図 5・16 長方形板 No. 1～No. 8 の応力の係数 β_i, β'_i

(機械工学便覧「材料力学」抜粋)

図 4-1 応力係数算出グラフ

- (2) 空質量による応力
- σ_{x2}

$$\sigma_{x2} = \frac{m_e(g + a_v)}{A}$$

- (3) 水平方向地震による応力
- σ_{x3}
- ,
- τ

$$\sigma_{x3} = \frac{m_0 \cdot a_H \cdot \ell_g}{Z}$$

$$\tau = \frac{m_0 \cdot a_H}{A_s}$$

- (4) 組合せ応力

上記(1)～(3)項によって求めた胴の応力を以下のように組み合わせる。

- a. 一次一般膜応力

- ・周方向応力
- σ_ϕ

$$\sigma_\phi = \sigma_{x\phi1}$$

- ・軸方向応力
- σ_x

$$\sigma_x = \sigma_{x\phi1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3}$$

- ・組合せ応力
- σ_1

組合せ応力は、周方向応力 σ_ϕ 、軸方向応力 σ_x 及びせん断応力 τ を組合せて算出する。

$$\sigma_1 = \frac{1}{2} \left\{ (\sigma_\phi + \sigma_x) + \sqrt{(\sigma_\phi - \sigma_x)^2 + 4 \times \tau^2} \right\}$$

- b. 一次応力

一次応力は、一次一般膜応力に示す式により組合せ応力として算出した値と同じである。

4.4.3 スカートの応力計算

- (1) 満水質量による引張応力
- σ_{s1}
- ,
- σ_{s2}

$$\sigma_{s1} = \frac{m_0 \cdot g}{A_{sk}}$$

$$\sigma_{s2} = \frac{m_0 \cdot a_v}{A_{sk}}$$

- (2) 水平方向地震による応力 σ_{s3} , τ_s

$$\sigma_{s3} = \frac{m_0 \cdot a_H \cdot (\ell_g + \ell_{gsk})}{Z_{sk}}$$

$$\tau_s = \frac{m_0 \cdot a_H}{A_{ssk}}$$

- (3) 組合せ応力

組合せ応力は、周方向応力 σ_ϕ 、軸方向応力 σ_x 及びせん断応力 τ を組合せて算出する。

$$\sigma_s = (\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3})^2 + 3 \times \tau_s^2$$

- (4) 座屈応力

座屈応力は、軸圧縮荷重による軸圧縮応力 σ_{sc} と曲げモーメントによる軸圧縮応力 σ_{sb} を組合せて評価する。

$$\sigma_{sc} = \sigma_{s1} + \sigma_{s2}$$

$$\sigma_{sb} = \sigma_{s3}$$

$$\frac{\sigma_{sc}}{1.5 \cdot f_c^*} + \frac{\sigma_{sb}}{1.5 \cdot f_b^*}$$

4.4.4 取付けボルトの応力計算

(1) 引張応力 σ_{b1} , σ_{b2}

$$F_{tb1} = \frac{1}{L_1} \{ m_0 \cdot a_H \cdot (\ell_g + \ell_{gsk}) - m_0 \cdot (g - a_v) \cdot \ell_1 \}$$

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{tb1}}{n_{fb1} \cdot A_b}$$

$$F_{tb2} = \frac{1}{L_2} \{ m_0 \cdot a_H \cdot (\ell_g + \ell_{gsk}) - m_0 \cdot (g - a_v) \cdot \ell_2 \}$$

$$\sigma_{b2} = \frac{F_{tb2}}{n_{fb2} \cdot A_b}$$

(2) せん断応力 τ_{sb}

$$F_{sb} = m_0 \cdot a_H$$

$$\tau_{sb} = \frac{F_{sb}}{n_b \cdot A_b}$$

(3) 組合せ応力

J S M E S N C 1 - 2005 / 2007 S S B - 3 1 3 3 に基づき次式で評価する。

$$\sigma_b \leq \min(1.4 \times 1.5 \cdot f_t^* - 1.6 \cdot \tau_b, 1.5 \cdot f_t^*)$$

4.5 応力評価条件

4.5.1 取付ボルト（燃料油サービスタンク）の応力評価条件

(1) 機器要目

記号の説明については、「4.4.1 記号の説明」に示す。

m_o (kg)	m_e (kg)	t (mm)	l_g (mm)	l_{gsk} (mm)	a (mm)	b (mm)	ρ (kg/mm ³)
1500	645	6.0	329.0	654.0	640.0	1050.0	0.86×10^{-6}

H (mm)	I (mm ⁴)	I_{sk} (mm ⁴)	A (mm ²)	A_{sk} (mm ²)	Z (mm ³)	Z_{sk} (mm ³)
593.0	6.15×10^9	3.95×10^9	3.05×10^4	2.02×10^4	1.16×10^7	5.56×10^6

A_s (mm ²)	A_{ssk} (mm ²)	E (MPa)	E_{sk} (MPa)	G (MPa)	G_{sk} (MPa)	l_1 (mm)	l_2 (mm)
1.26×10^4	6.90×10^3	2.01×10^5	2.01×10^5	7.73×10^4	7.73×10^4	560.0	775.0

L_1 (mm)	L_2 (mm)	n_{fb1} (-)	n_{fb2} (-)	n_b (-)	A_b (mm ²)
1120.0	1550.0	4	3	10	201.1 (M16)

(2) 設計用加速度

減衰定数 (%)	固有周期 T (s)	設計用加速度 (m/s ²)	
		水平	鉛直
1.0	0.011	41.48	27.46

5. 評価結果

常設代替高圧電源装置燃料油サービスタンク (No. 1~No. 5) の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生応力は許容応力以下であり、耐震性を有することを確認した。

加振試験にて測定されたタンク頂部の応答加速度に対する構造強度評価結果を表 5-1 に示す。

表 5-1 加振試験にて測定されたタンク頂部の応答加速度による評価結果

評価部材	材料	応力		発生応力	許容応力
胴板	SS400	一次一般膜	周方向	130	236
			軸方向	133	
		組合せ一次		137	
スカート	SS400	組合せ		21	274
		座屈		0.06	1
取付ボルト	SS400	引張		88	205
		せん断		31	157
		組合せ		88	205

(応力の単位 : MPa)

V-2-10-1-4-2-2 常設代替高圧電源装置燃料油サービスタンク
(No. 6)
の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 構造の説明	1
2.2 評価方針	3
3. 耐震評価箇所	4
4. 応力評価	4
4.1 基本方針	4
4.2 設計用地震力	5
4.3 荷重の組合せ及び許容応力	5
4.4 応力評価方法	9
4.5 応力評価条件	17
5. 評価結果	18

1. 概要

本資料は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、常設代替高圧電源装置燃料油サービスタンク（No.6）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。その耐震評価は、応力評価により行う。

また、間接支持構造物である車両が設計用地震力に対して十分な支持機能を有していることは、添付書類「V-2-10-1-4-1-2 常設代替高圧電源装置内燃機関（No.6）の耐震性についての計算書」で説明している。

常設代替高圧電源装置燃料油サービスタンク（No.6）は、重大事故等対処設備において常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、この分類に応じた耐震評価を示す。

2. 基本方針

2.1 構造の説明

常設代替高圧電源装置燃料油サービスタンク（No.6）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 常設代替高圧電源装置燃料油サービスタンク（No.6）の構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
常設代替高圧電源装置 燃料油サービスタンク (No.6)	角型平底大気開放容器	車載式のディーゼル発電装置で、燃料油サービスタンクは、フレーム上に取付ボルトにて固定する。	図 2-1 図 2-2

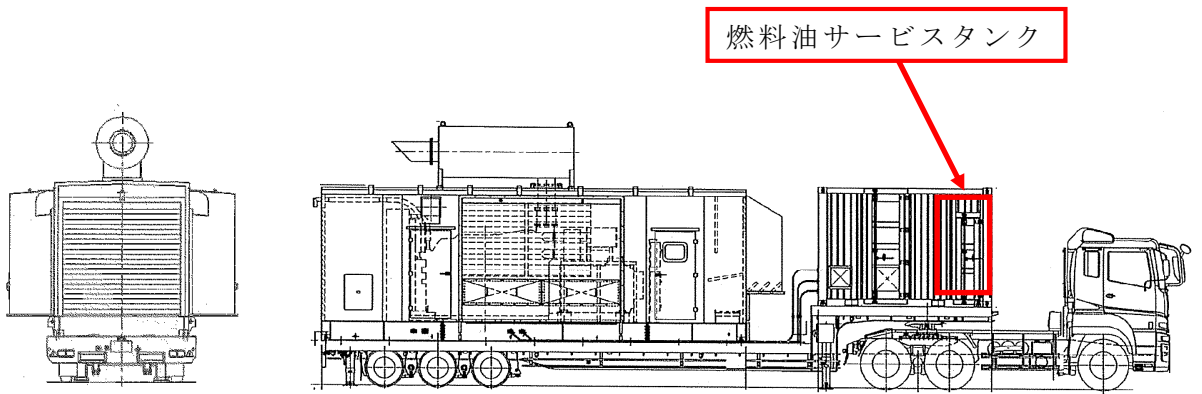


図 2-1 常設代替高圧電源装置の燃料油サービスタンク (No.6) の配置図



図 2-2 常設代替高圧電源装置燃料油サービスタンク (No.6) の構造図

2.2 評価方針

常設代替高圧電源装置燃料油サービスタンク（No.6）の応力評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造の説明」にて示す常設代替高圧電源装置燃料油サービスタンク（No.6）の部位を踏まえ「3. 耐震評価箇所」にて設定する箇所に発生する応力等が許容限界内に収まることを、添付書類「V-2-10-1-4-1-2 常設代替高圧電源装置内燃機関（No.6）の「4. 車両の加振試験」で得られた車両重心位置における最大応答加速度を用い、「4. 応力評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

常設代替高圧電源装置燃料油サービスタンク（No.6）の耐震評価フローを図2-3に示す。

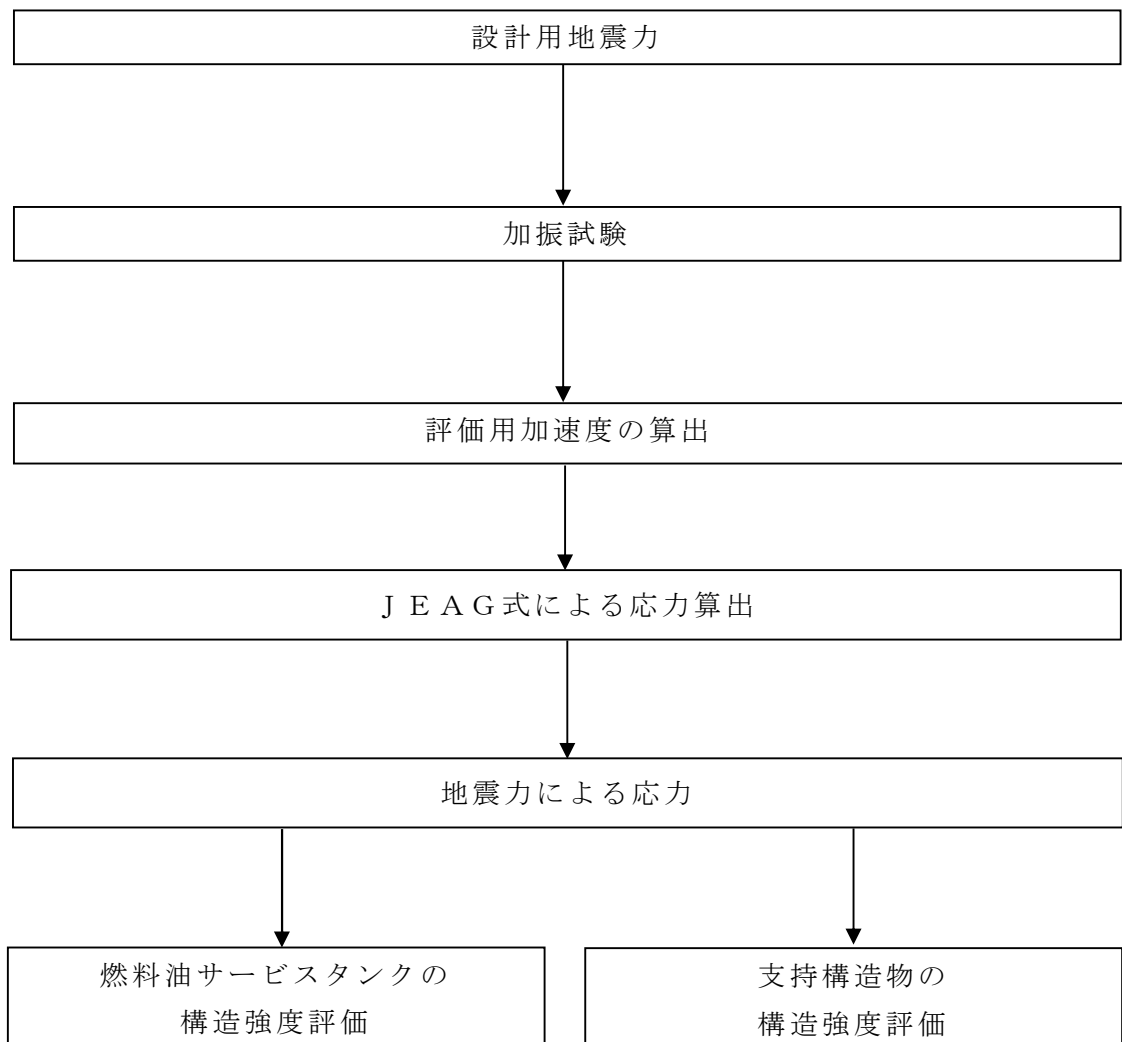


図 2-3 常設代替高圧電源装置燃料油サービスタンク（No.6）の耐震評価フロー

3. 耐震評価箇所

常設代替高圧電源装置燃料油サービスタンク（No.6）の耐震評価は、耐震評価上厳しくなる胴板及びスカート並びに取付ボルトを選定して実施する。

4. 応力評価

4.1 基本方針

- (1) 燃料油サービスタンクの応力計算モデルは1質点系モデルとし、燃料油サービスタンクの重心位置に添付書類「V-2-10-1-4-1-2 常設代替高圧電源装置（No.6）の耐震性についての計算書，4. 車両の加振試験」で得られた車両重心位置の最大応答加速度の1.2倍が作用するものとする。
- (2) 回転中心相当である車軸を基点として、車両重心高さから燃料油サービスタンクの重心高さまでの比を用いて割増した評価用加速度により発生応力を算出し、応力評価を行う。
- (3) 許容応力について J S M E S N C 1 - 2005/2007 の付録材料図表を用いて計算する際に、温度が付録材料図表記載値の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。
ただし、比例法を用いる場合の端数処理は、小数第1位以下を切り捨てた値を用いるものとする。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 設計用地震力

耐震計算に用いる設計用地震力には、添付書類「V-2-2-22 常設代替高压電源装置置場及び西側淡水貯水設備の地震応答計算書」にて設定した床応答曲線を上回るように設定した入力地震動を用いて実施した、添付書類「V-2-10-1-4-1-1 常設代替高压電源装置内燃機関 (No.6) の耐震性についての計算書」の「4. 車両の加振試験」で得られた車両重心位置における最大床応答加速度を用いる。

4.3 荷重の組合せ及び許容応力

4.3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

常設代替高压電源装置燃料油サービスタンク (No.6) の荷重の組合せ及び許容応力状態について、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.3.2 許容応力

常設代替高压電源装置燃料油サービスタンク (No.6) の許容応力を表 4-2～表 4-3 に示す。

4.3.3 使用材料の許容応力評価条件

常設代替高压電源装置燃料油サービスタンク (No.6) の使用材料の許容応力評価条件について、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-4 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器クラス	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用 電源設備	非常用 発電装置	常設代替高圧電源装置 燃料油サービスタンク	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D+P_D+M_D+S_s$ *3	$IV_A S$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ の 許容限界を用いる。)

注記 *1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-2 許容応力 (容器)

許容応力 状態	許容限界			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
IV _A S	0.6Su	左欄の1.5倍の値	* S _s 地震動のみによる疲労解析を行い、 疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次 応力の変動値が2S _y 以下であれば、疲 労解析は行わない。	
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの 許容限界を用いる。)				

注記 * : 2S_y を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、J S M E S N C 1 P V B - 3 3 0 0 (同 P V B - 3 3 1 3 を除く。また、S_m は 2/3S_y に読み替える。) の簡易弾塑性解析を用いる。

表 4-3 使用材料の許容応力評価条件 (その他の支持構造物)

許容 応力 状態	許容限界*1, 2 (ボルト以外)				許容限界*2 (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
IV _A S	1.5・f _t *	1.5・f _s *	1.5・f _c *	1.5・f _b *	1.5・f _t *	1.5・f _s *
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの 許容限界を用いる。)						

注記 *1 : 「鋼構造設計規準 S I 単位版」 (2002 年日本建築学会) 等の幅厚比の制限を満足させる。

*2 : 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

部位	材質	温度条件 (°C)	圧力条件 (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)	摘要
胴板 (タンク)	SS400	50 (使用温度)	0 (大気開放)	241	394	—	—
スカート	SS400	50 (使用温度)	0 (大気開放)	241	394	275	—
取付ボルト	SS400	50 (使用温度)	—	241	394	275	呼径 M16

4.4 応力評価方法

4.4.1 記号の説明

記号	定義	単位
A	容器胴の断面積	mm ²
A _{sk}	容器スカートの断面積	mm ²
A _b	ボルトの呼び径断面積	mm ²
A _s	容器胴のせん断断面積	mm ²
A _{ssk}	容器スカートのせん断断面積	mm ²
a、b	応力係数 β 算定に用いる長方形の辺の長さ (タンク内径)	mm
a _H	燃料油サービスタンクの重心高さでの設計用加速度 (水平)	m/s ²
a _H '	設計用水平加速度 (加振試験で得られた車両重心位置での最大応答加速度の 1.2 倍)	m/s ²
a _V	燃料油サービスタンクの重心高さでの設計用加速度 (鉛直)	m/s ²
a _V '	設計用鉛直加速度 (加振試験で得られた車両重心位置での最大応答加速度の 1.2 倍)	m/s ²
E	胴板の縦弾性係数	MPa
E _{sk}	スカートの縦弾性係数	MPa
F _{sb}	取付ボルトへ作用するせん断荷重	N
F _{tb1}	取付ボルトへ作用する引張荷重 (短辺方向)	N
F _{tb2}	取付ボルトへ作用する引張荷重 (長辺方向)	N
G	胴板のせん断弾性係数	MPa
G _{sk}	スカートのせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (9.80665)	m/s ²
H	水頭高さ	mm
h _G	車両の回転中心相当位置 (車軸高さ) から車両重心高さ	m/s ²
h _G '	車両の回転中心相当位置 (車軸高さ) から燃料油サービスタンクの重心高さ	m/s ²
I	胴の断面 2 次モーメント	mm ⁴
I _{sk}	スカートの断面 2 次モーメント	mm ⁴
L ₁	支点から片側のボルト位置までの距離 (短辺方向)	mm
L ₂	支点から片側のボルト位置までの距離 (長辺方向)	mm
ℓ ₁	容器重心からボルト位置までの距離 (短辺方向)	mm

記号	定義	単位
l_2	容器重心からボルト位置までの距離（長辺方向）	mm
l_g	スカート上面から容器重心までの距離	mm
l_{gsk}	基礎からスカート重心までの距離	mm
m_0	満水質量	kg
m_e	空質量	kg
n_b	ボルトの全本数	—
n_{fb1}	引張が作用するボルトの本数（短辺方向）	—
n_{fb2}	引張が作用するボルトの本数（長辺方向）	—
p	容器底部の最大圧力	MPa
t	側板板厚	mm
Z	容器胴の断面係数	mm ³
Z_{sk}	容器スカートの断面係数	mm ³
α_H	車両の回転中心相当位置（車軸高さ）における床応答加速度（保守的に0とする）（水平）	—
α_V	車両の回転中心相当位置（車軸高さ）における床応答加速度（保守的に0とする）（鉛直）	—
β_1	応力係数	—
ρ	内容物（油）の密度	kg/mm ³
σ_1	容器胴に作用する組合せ応力	MPa
σ_{s1}	スカートに作用する圧縮応力（短辺方向）	MPa
σ_{s2}	スカートに作用する圧縮応力（長辺方向）	MPa
σ_{s3}	スカートに作用する軸方向応力	MPa
σ_{b1}	取付ボルトに作用する引張応力（短辺方向）	MPa
σ_{b2}	取付ボルトに作用する引張応力（長辺方向）	MPa
σ_x	容器胴に作用する軸方向応力	MPa
σ_{x2}	容器胴に作用する空質量による応力	MPa
σ_{x3}	水平方向地震により容器胴板に作用する応力	MPa
$\sigma_{x\phi 1}$	容器胴に作用する静水頭による応力	MPa
σ_ϕ	容器胴の周方向応力	MPa
σ_{sb}	スカートに作用する曲げモーメントによる軸圧縮応力	MPa
σ_{sc}	スカートに作用する軸圧縮荷重による軸圧縮応力	MPa
τ	水平方向地震により容器胴板に作用するせん断応力	MPa

記 号	定 義	単 位
τ_s	水平方向地震により容器スカートに作用するせん断応力	MPa
τ_{sb}	取付ボルトに作用するせん断応力	MPa

4.4.2 胴板（タンク）の応力計算

応力評価は、J E A G 4 6 0 1-1987 に記載の平底たて置円筒形容器の評価式をベースに矩形タンクの要素を考慮した評価式にて評価を行う。応力評価にあたっては、回転中心相当である車軸を基点とした車両重心高さから燃料油サービスタンクの重心高さまでの比を用いて、設計用加速度の割り増しを行う。設計用加速度の割り増し概要図を図 5-1 に示す。

<評価位置高さにおける最大応答加速度の計算式>

$$a_H (a_V) / a_H' (a_V') = h_G' / h_G$$

$$a_H (a_V) = (h_G' / h_G) \times a_H' (a_V')$$

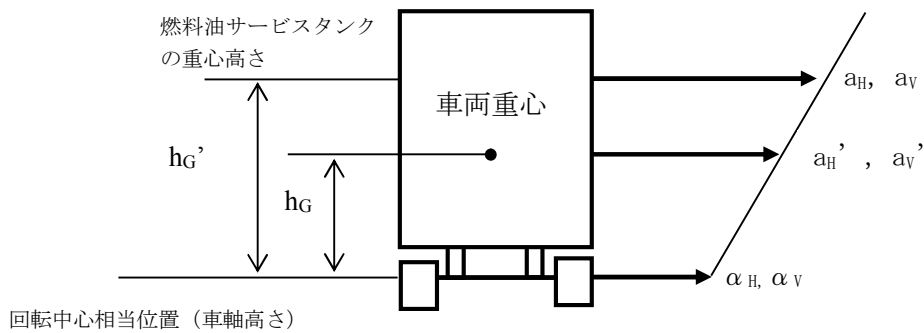


図 5-1 設計用加速度（応力評価）の割り増し概要図

(1) 静水頭による応力 $\sigma_{x\phi 1}$

$$\sigma_{x\phi 1} = \beta_1 \frac{p \cdot a^2}{t^2}$$

ここで、

β_1 : 図 4-1 に基づく b/a に対する応力係数

ここでは、 $b/a=1.65$ より、安全側に $\beta_1=0.6$ とする。

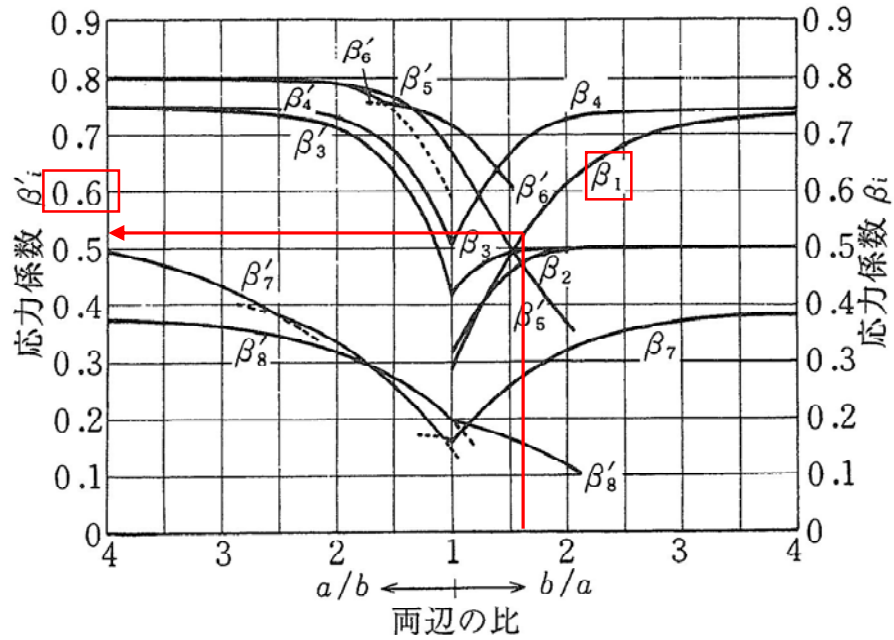


図 5・16 長方形板 No. 1～No. 8 の応力の係数 β_i, β'_i

(機械工学便覧「材料力学」抜粋)

図 4-1 応力係数算出グラフ

- (2) 空質量による応力
- σ_{x2}

$$\sigma_{x2} = \frac{m_e (g + a_v)}{A}$$

- (3) 水平方向地震による応力
- σ_{x3}
- ,
- τ

$$\sigma_{x3} = \frac{m_0 \cdot a_H \cdot \ell_g}{Z}$$

$$\tau = \frac{m_0 \cdot a_H}{A_s}$$

- (4) 組合せ応力

上記(1)～(3)項によって求めた胴の応力を以下のように組み合わせる。

- a. 一次一般膜応力

- ・周方向応力 σ_ϕ

$$\sigma_\phi = \sigma_{x\phi1}$$

- ・軸方向応力 σ_x

$$\sigma_x = \sigma_{x\phi1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3}$$

- ・組合せ応力 σ_1

組合せ応力は、周方向応力 σ_ϕ 、軸方向応力 σ_x 及びせん断応力 τ を組合せて算出する。

$$\sigma_1 = \frac{1}{2} \left\{ (\sigma_\phi + \sigma_x) + \sqrt{(\sigma_\phi - \sigma_x)^2 + 4 \times \tau^2} \right\}$$

- b. 一次応力

一次応力は、一次一般膜応力に示す式により組合せ応力として算出した値と同じである。

4.4.3 スカートの応力計算

- (1) 満水質量による引張応力
- σ_{s1}
- ,
- σ_{s2}

$$\sigma_{s1} = \frac{m_0 \cdot g}{A_{sk}}$$

$$\sigma_{s2} = \frac{m_0 \cdot a_v}{A_{sk}}$$

(2) 水平方向地震による応力 σ_{s3} , τ_s

$$\sigma_{s3} = \frac{m_0 \cdot a_H \cdot (\ell_g + \ell_{gsk})}{Z_{sk}}$$

$$\tau_s = \frac{m_0 \cdot a_H}{A_{ssk}}$$

(3) 組合せ応力

組合せ応力は、周方向応力 σ_ϕ 、軸方向応力 σ_x 及びせん断応力 τ を組合せて算出する。

$$\sigma_s = (\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3})^2 + 3 \times \tau_s^2$$

(4) 座屈応力

座屈応力は、軸圧縮荷重による軸圧縮応力 σ_{sc} と曲げモーメントによる軸圧縮応力 σ_{sb} を組合せて評価する。

$$\sigma_{sc} = \sigma_{s1} + \sigma_{s2}$$

$$\sigma_{sb} = \sigma_{s3}$$

$$\frac{\sigma_{sc}}{1.5 \cdot f_c^*} + \frac{\sigma_{sb}}{1.5 \cdot f_b^*}$$

4.4.4 取付けボルトの応力計算

(1) 引張応力 σ_{b1} , σ_{b2}

$$F_{tb1} = \frac{1}{L_1} \{m_0 \cdot a_H \cdot (\ell_g + \ell_{gsk}) - m_0 \cdot (g - a_v) \cdot \ell_1\}$$

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{tb1}}{n_{fb1} \cdot A_b}$$

$$F_{tb2} = \frac{1}{L_2} \{m_0 \cdot a_H \cdot (\ell_g + \ell_{gsk}) - m_0 \cdot (g - a_v) \cdot \ell_2\}$$

$$\sigma_{b2} = \frac{F_{tb2}}{n_{fb2} \cdot A_b}$$

(2) せん断応力 τ_{sb}

$$F_{sb} = m_0 \cdot a_H$$

$$\tau_{sb} = \frac{F_{sb}}{n_b \cdot A_b}$$

(3) 組合せ応力

J S M E S N C 1 - 2005 / 2007 S S B - 3 1 3 3 に基づき次式で評価する。

$$\sigma_b \leq \min(1.4 \times 1.5 \cdot f_t^* - 1.6 \cdot \tau_b, 1.5 \cdot f_t^*)$$

4.5 応力評価条件

4.5.1 取付ボルト（燃料油サービスタンク）の応力評価条件

(1) 機器要目

記号の説明については、「4.4.1 記号の説明」に示す。

m_o (kg)	m_e (kg)	t (mm)	l_g (mm)	l_{gsk} (mm)	a (mm)	b (mm)	ρ (kg/mm ³)
1500	645	6.0	329.0	654.0	640.0	1050.0	0.86×10^{-6}

H (mm)	I (mm ⁴)	I_{sk} (mm ⁴)	A (mm ²)	A_{sk} (mm ²)	Z (mm ³)	Z_{sk} (mm ³)
593.0	6.15×10^9	3.94×10^9	3.05×10^4	2.02×10^4	1.16×10^7	5.56×10^6

A_s (mm ²)	A_{ssk} (mm ²)	E (MPa)	E_{sk} (MPa)	G (MPa)	G_{sk} (MPa)	l_1 (mm)	l_2 (mm)
1.26×10^4	6.90×10^3	2.01×10^5	2.01×10^5	7.73×10^4	7.73×10^4	560.0	775.0

L_1 (mm)	L_2 (mm)	n_{fb1} (-)	n_{fb2} (-)	n_b (-)	A_b (mm ²)
1120.0	1550.0	4	3	10	201.1 (M16)

(2) 設計用加速度

減衰定数 (%)	固有周期 T (s)	設計用加速度 (m/s ²)	
		水平	鉛直
1.0	0.011	(追而)	(追而)

5. 評価結果

常設代替高圧電源装置の燃料油サービスタンクの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生応力は許容応力以下であり、耐震性を有することを確認した。

加振試験にて測定されたタンク頂部の応答加速度に対する構造強度評価結果を第 5-1 表に示す。

第 5-1 表 加振試験にて測定されたタンク頂部の応答加速度による評価結果

評価部材	材料	応力		発生応力	許容応力
胴板	SS400	一次一般膜	周方向	(追而)	(追而)
			軸方向	(追而)	
		組合せ一次		(追而)	
スカート	SS400	組合せ		(追而)	(追而)
		座屈		(追而)	(追而)
取付ボルト	SS400	引張		(追而)	205
		せん断		(追而)	157
		組合せ		(追而)	205

(応力の単位：MPa)

V-2-10-1-4-4-1 常設代替高圧電源装置発電機
(No. 1～No. 5)
の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 構造の説明	1
2.2 評価方針	3
3. 耐震評価箇所	5
4. 応力評価	5
4.1 基本方針	5
4.2 設計用地震力	5
4.3 荷重の組合せ及び許容応力	5
4.3 応力評価方法	8
5. 機能維持評価	11
5.1 評価方法	11

1. 概要

本資料は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、常設代替高圧電源装置発電機（No. 1～No. 5）が設計用地震力に対して十分な構造強度、動的機能及び電氣的機能を有していることを説明するものである。その耐震評価は応力評価及び機能維持評価により行う。

また、間接支持構造物である車両が設計用地震力に対して十分な支持機能を有していることは、添付書類「V-2-10-1-4-1-1「常設代替高圧電源装置内燃機関（No. 1～No. 5）の耐震性についての計算書」で説明している。

常設代替高圧電源装置発電機（No. 1～No. 5）は、重大事故等対処設備において常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、この分類に応じた耐震評価を示す。

2. 基本方針

2.1 構造の説明

常設代替高圧電源装置発電機（No. 1～No. 5）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 常設代替高圧電源装置発電機の構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
常設代替高圧電源装置 発電機（No. 1～No. 5）	防滴保護，空気冷却自己 自由通風型三相交流発電機	車載式のディーゼル発電装 置で，発電機は内燃機関と 共通台板に取付ボルトにて 固定する。	<input checked="" type="checkbox"/> 2-1 <input checked="" type="checkbox"/> 2-2 <input checked="" type="checkbox"/> 2-3

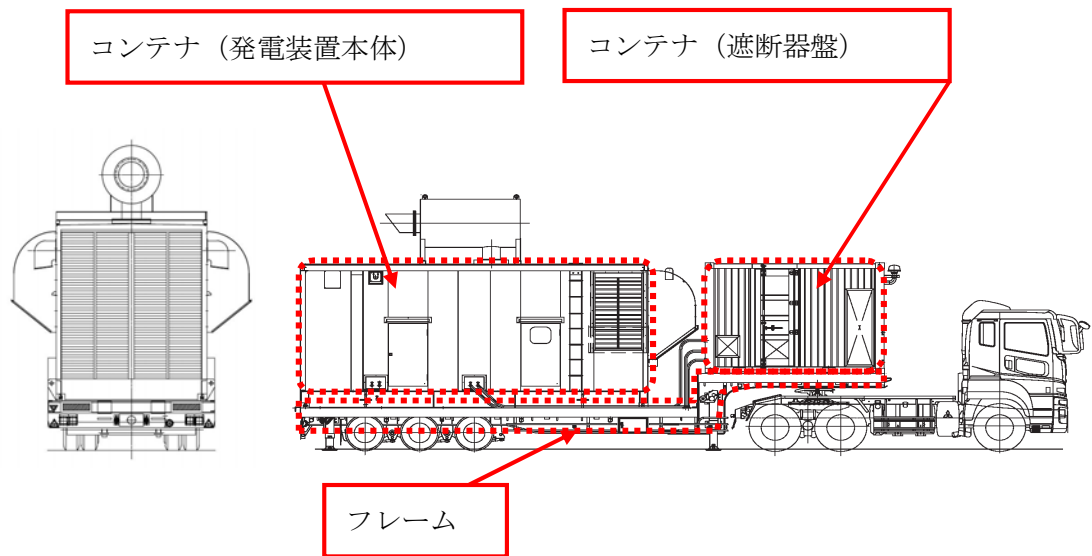


図 2-1 常設代替高圧電源装置車両 (No. 1~No. 5) の構造図



図 2-2 常設代替高圧電源装置発電機 (No. 1~No. 5) の配置図



図 2-3 常設代替高圧電源装置発電機 (No. 1~No. 5) の外形図

2.2 評価方針

常設代替高圧電源装置発電機 (No. 1～No. 5) の応力評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造の説明」にて示す発電機の部位を踏まえ「3. 耐震評価箇所」にて設定する箇所に作用する応力等が許容限界内に収まることを、添付書類「V-2-10-1-4-1-1 常設代替高圧電源装置内燃機関 (No. 1～No. 5) の耐震性についての計算書, 4. 車両の加振試験」で得られた最大応答加速度を用い、「4. 応力評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

また、常設代替高圧電源装置発電機 (No. 1～No. 5) の機能維持評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した動的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が機能確認済加速度以下であることを、添付書類「V-2-10-1-4-1-1 常設代替高圧電源装置内燃機関 (No. 1～No. 5) の耐震性についての計算書, 4. 車両の加振試験」で得られた最大応答加速度を用い、「5. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

常設代替高圧電源装置発電機 (No. 1～No. 5) の耐震評価フローを図 2-4 に示す。

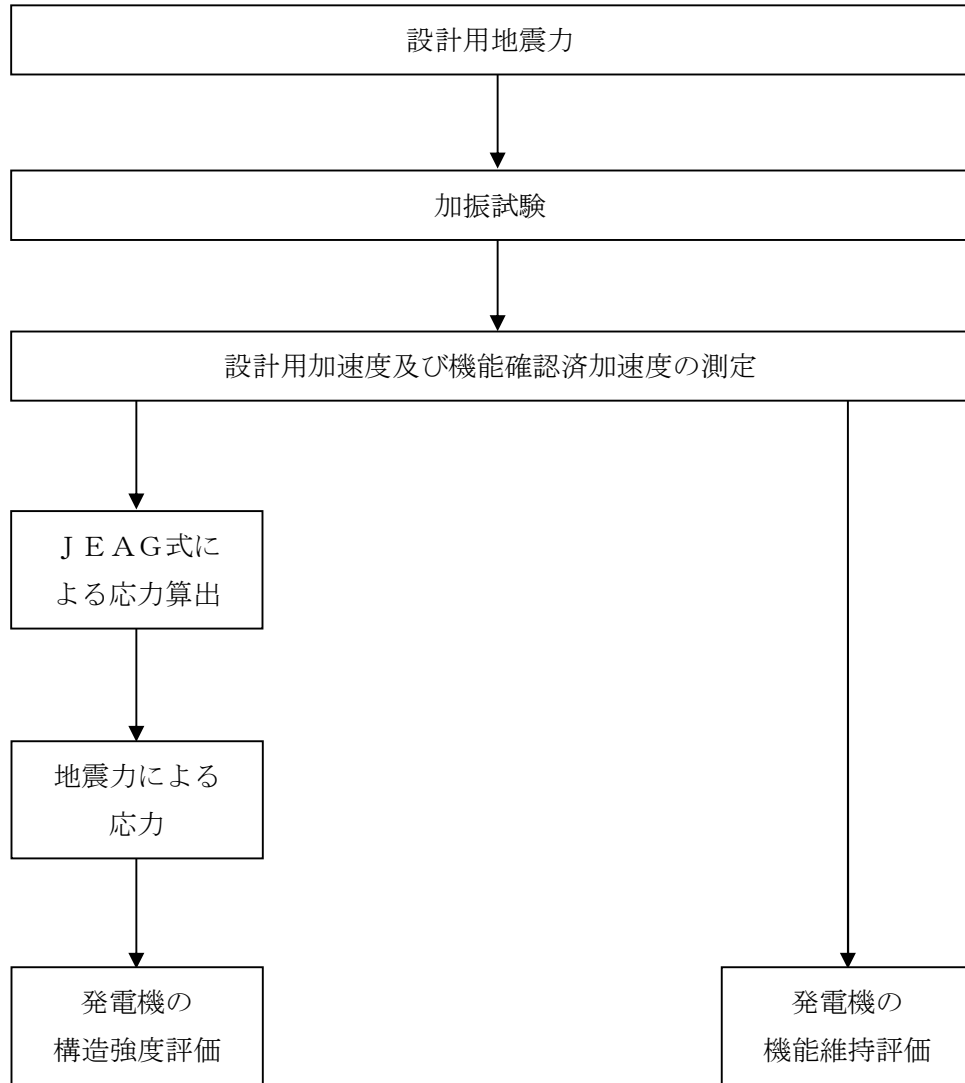


図 2-4 常設代替高圧電源装置発電機 (No. 1~No. 5) の耐震評価フロー

3. 耐震評価箇所

常設代替高圧電源装置発電機 (No. 1～No. 5) の耐震評価は、耐震評価上厳しくなる発電機の取付ボルトを選定して実施する。

4. 応力評価

4.1 基本方針

- (1) 解析モデルは、1 質点系モデルとし、発電機の重心位置に地震荷重、発電機の運転による加速度及び発電機運転により働くモーメントが作用するものとする。
- (2) 発電機は、J E A G 4 6 0 1 -1987 に従い一つの剛体として取り扱うこととする。
- (3) 加振試験により測定された発電機頂部における最大応答加速度の 1.2 倍を用いて発生応力を算出し、応力評価を行う。
- (4) 許容応力について J S M E S N C 1 -2005/2007 の付録材料図表を用いて計算する際に、温度が付録材料図表記載値の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。
ただし、比例法を用いる場合の端数処理は、小数第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 設計用地震力

耐震計算に用いる設計用地震力には、添付書類「V-2-2-22 常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備の地震応答計算書」にて設定した床応答曲線を上回るように設定した入力地震動を用いて実施した、添付書類「V-2-10-1-4-1-1 常設代替高圧電源装置内燃機関 (No. 1～No. 5) の耐震性についての計算書、4. 車両の加振試験」で得られた発電機頂部における最大応答加速度の 1.2 倍を用いる。

4.3 荷重の組合せ及び許容応力

4.3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

常設代替高圧電源装置発電機 (No. 1～No. 5) の荷重の組合せ及び許容応力状態について、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.3.2 許容応力

常設代替高圧電源装置発電機 (No. 1～No. 5) の許容応力を表 4-2 に示す。

4.3.3 使用材料の許容応力評価条件

常設代替高圧電源装置発電機 (No. 1～No. 5) の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器クラス	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源 設備	非常用発電 装置	常設代替高圧電源 装置発電機 (No. 1~No. 5)	常設耐震/防止 常設/緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を 用いる。)

注記 *1：「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-2 許容応力（その他の支持構造物（重大事故等対処設備））

許容 応力 状態	許容限界* (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
IV _A S	1.5・f _t *	1.5・f _s *
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの 許容限界を用いる。)		

注記 *：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

表 4-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

強度区分	評価温度 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
10.9*	40 (雰囲気温度)	900	1000	700

注記 *：J I S B 1 0 5 1に規定される材料を使用。

4.3 応力評価方法

4.4.1 記号の説明

記号	定義	単位
A_{bt}	取付ボルト軸断面積	mm^2
a_H	水平地震加速度（加振試験で得られた発電機頂部の最大応答加速度の1.2倍）	m/s^2
a_V	鉛直地震加速度（加振試験で得られた発電機頂部の最大応答加速度の1.2倍）	m/s^2
a_p	回転体振動による加速度	m/s^2
g	重力加速度（=9.80665）	m/s^2
h_G	取付面から発電機重心までの高さ	mm
L_1	支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離（軸直角方向）	mm
L_2	支点となる取付ボルトから重心までの距離（軸直角方向）	mm
L_{1X}	支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離（軸方向）	mm
L_{2X}	支点となる取付ボルトから重心までの距離（軸方向）	mm
m	発電機の質量	kg
M_p	回転体回転により働くモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
n	取付ボルト総本数	本
n_1	軸方向及び軸直角方向に設けた取付ボルトの片側本数	本
p	回転体の許容振幅	μm
P	発電機出力	kW
R	発電機定格回転数	min^{-1}
σ_{bt}	取付ボルト引張応力	MPa
τ_b	取付ボルトせん断応力	MPa

4.4.2 応力計算方法

発電機取付ボルトの応力評価を行う。応力評価にあたっては、添付書類「V-2-10-1-4-1-1 常設代替高圧電源装置内燃機関 (No. 1~No. 5) の耐震性についての計算書, 4. 車両の加振試験」で得られた設計用加速度を用いて実施する。

4.4.3 引張応力の評価

引張応力は、取付ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の取付ボルトで受けるものとして計算する。

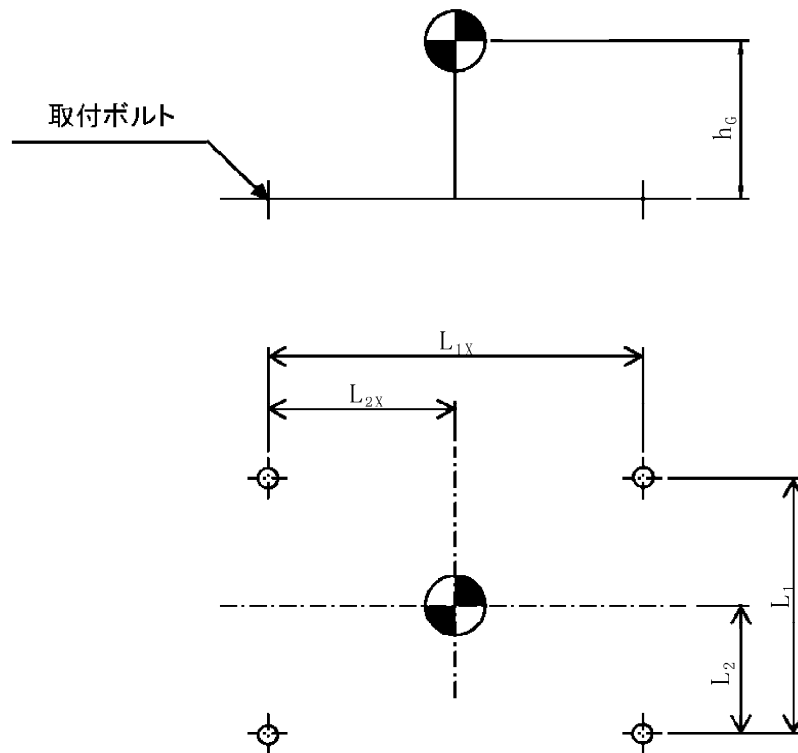


図 4-1 発電機 取付ボルトの計算モデル図

第 4-1 図に示すモーメントのつり合い式より以下の各計算式が得られる。

【軸直角方向の引張応力計算式】

$$\sigma_{bt} = \frac{m \cdot (a_H + a_p) \cdot h_G + M_p - m \cdot (g - a_v - a_p) \cdot L_2}{n_1 \cdot A_{bt} \cdot L_1}$$

【軸方向の引張応力計算式】

$$\sigma_{bt} = \frac{m \cdot (a_H + a_p) \cdot h_G - m \cdot (g - a_v - a_p) \cdot L_{2X}}{n_1 \cdot A_{bt} \cdot L_{1X}}$$

σ_{bt} は、上式で得られる大きい方の値とする。

ここで、回転体回転によるモーメント M_p は、発電機の出力及び定格回転数を考慮して定める値である。回転体振動による加速度 a_p は、回転体の許容振幅及び発電機の定格回転数を考慮して定める値である。

【回転体回転によるモーメントの計算式】

$$M_p = \frac{60P}{2\pi \cdot R} \times 10^6$$

【回転体振動による加速度の計算式】

$$a_p = \left(2\pi \cdot \frac{R}{60}\right)^2 \cdot \frac{p \cdot 10^{-6}}{2}$$

4.4.4 せん断応力の評価

せん断応力は、全ボルトで受けるものとして計算する。

$$\tau_b = \frac{m \cdot (a_H + a_p)}{n \cdot A_{bt}}$$

4.4.5 組合せ応力の評価

引張応力とせん断応力の組合せ応力を J SME S NC 1-2005/2007 SSB-3 133 に基づき次式で評価する。

$$\sigma_{bt} \leq \min(1.4 \times 1.5f_t^* - 1.6\tau_b, 1.5f_t^*)$$

5 機能維持評価

常設代替高圧電源装置発電機（No. 1～No. 5）の地震時及び地震後の機能維持評価について、以下に示す。

5.1 評価方法

車両に搭載している発電機の動的機能維持を確認した機能確認済加速度と設置場所の最大床加速度を比較し、地震時の応答加速度が機能確認済加速度以下であることを確認することで実施する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度

項目	機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
水平	1.37
鉛直	1.41

6. 評価結果

常設代替高圧電源装置発電機（No. 1～No. 5）について、耐震計算結果を次頁以降に示す。発生値は許容応力以下であり、耐震性を有することを確認した。また、常設代替高圧電源装置置場の加速度は機能維持確認済加速度以下であり、基準地震動 S_s に対して動的機能が維持されることを確認した。

東海第二発電所 常設代替高圧電源装置発電機 (No. 1~No. 5) の耐震計算書

1. 設計条件

設備分類	設置場所 (m)	取付ボルト 配置状態	取付ボルト評価温度 (°C)
常設耐震/防止 常設/緩和	EL. <input type="text"/>	矩形配置	40 (使用温度)

2. 設計用加速度と評価用加速度

減衰定数 (%)	評価用加速度 (m/s ²) (機能維持評価)		設計用加速度 (m/s ²) (応力評価)		回転体振動による 加速度 (m/s ²)		回転によるモーメント (取付ボルトのみ) M _p (N・mm)
	水平	鉛直	水平 (a _H)	鉛直 (a _V)	水平 (a _p)	鉛直 (a _p)	
1.0	4.51	4.12	40.9	30.3	3.71	3.71	8785352.9

3. 機器要目

評価部位	m (kg)	h _G (mm)	A _{bt} (mm ²)	n (本)	n ₁ (本)	L ₁ (mm)	L ₂ (mm)	L _{1X} (mm)	L _{2X} (mm)	R (min ⁻¹)	P (kW)	p (μm)
取付ボルト	<input type="text"/>	<input type="text"/>	452.3	4	2	889.0	444.5	1460.5	752.35	1500	1380	<input type="text"/>

4. 結果

4.1 取付ボルトの応力評価結果

評価部位	材 料	評価応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
取付ボルト	10.9	引張	276	525
		せん断	147	403
		組合せ	276	499

評価応力は全て許容値以下である。

4.2 発電機の機能維持評価結果

		評価用加速度 (×9.8 m/s ²)	機能確認済加速度 (×9.8 m/s ²)
発電機	水平	0.46	1.37
	鉛直	0.42	1.41

評価用加速度(1.0ZPA)は、すべて機能確認済加速度以下である。

V-2-10-1-4-4-2 常設代替高圧電源装置発電機
(No. 6)
の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 構造の説明	1
2.2 評価方針	3
3. 耐震評価箇所	5
4. 応力評価	5
4.1 基本方針	5
4.2 設計用地震力	5
4.3 荷重の組合せ及び許容応力	5
4.3 応力評価方法	8
5. 機能維持評価	11
5.1 評価方法	11

1. 概要

本資料は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、常設代替高圧電源装置発電機（No.6）が設計用地震力に対して十分な構造強度、動的機能及び電氣的機能を有していることを説明するものである。その耐震評価は応力評価及び機能維持評価により行う。

また、間接支持構造物である車両が設計用地震力に対して十分な支持機能を有していることは、添付書類「V-2-10-1-4-1-2 常設代替高圧電源装置内燃機関（No.6）の耐震性についての計算書」で説明している。

常設代替高圧電源装置発電機（No.6）は、重大事故等対処設備において常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、この分類に応じた耐震評価を示す。

2. 基本方針

2.1 構造の説明

常設代替高圧電源装置発電機（No.6）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 常設代替高圧電源装置発電機（No.6）の構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
常設代替高圧電源装置 発電機（No.6）	防滴保護，空気冷却自己 自由通風型三相交流発電 機	車載式のディーゼル発電 装置で，発電機は内燃機 関と共通台板に取付ボル トにて固定する。	図 2-1 図 2-2 図 2-3

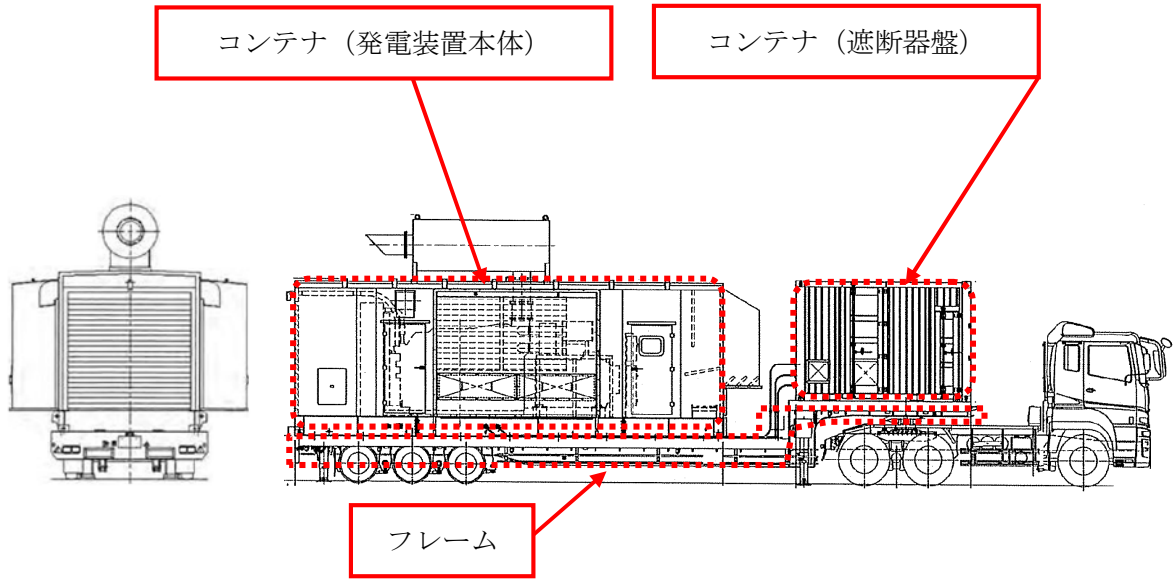


図 2-1 常設代替高圧電源装置 (No. 6) の構造図



図 2-1 常設代替高圧電源装置発電機 (No. 6) の配置図

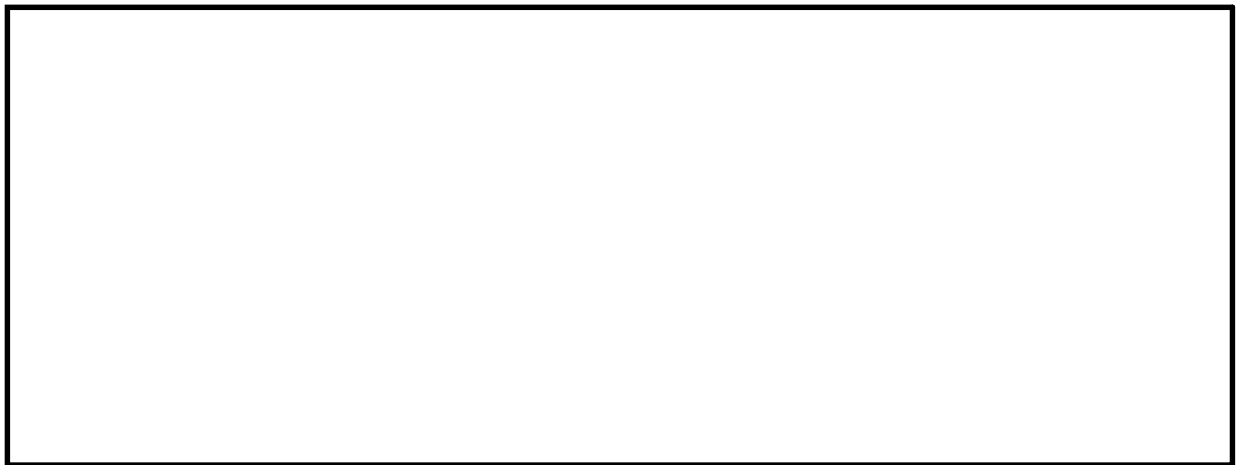


図 2-3 常設代替高圧電源装置発電機 (No. 6) の外形図

2.2 評価方針

常設代替高圧電源装置発電機 (No. 6) の応力評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造の説明」にて示す発電機の部位を踏まえ「3. 耐震評価箇所」にて設定する箇所に作用する応力等が許容限界内に収まることを、添付書類「V-2-10-1-4-1-2 常設代替高圧電源装置内燃機関 (No. 6) の耐震性についての計算書, 4. 車両の加振試験」で得られた最大応答加速度を用い、「4. 応力評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

また、常設代替高圧電源装置発電機 (No. 6) の機能維持評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した動的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が機能確認済加速度以下であることを、添付書類「V-2-10-1-4-1-2 常設代替高圧電源装置内燃機関 (No. 6) の耐震性についての計算書, 4. 車両の加振試験」で得られた最大応答加速度を用い、「5. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

常設代替高圧電源装置発電機 (No. 6) の耐震評価フローを図 2-4 に示す。

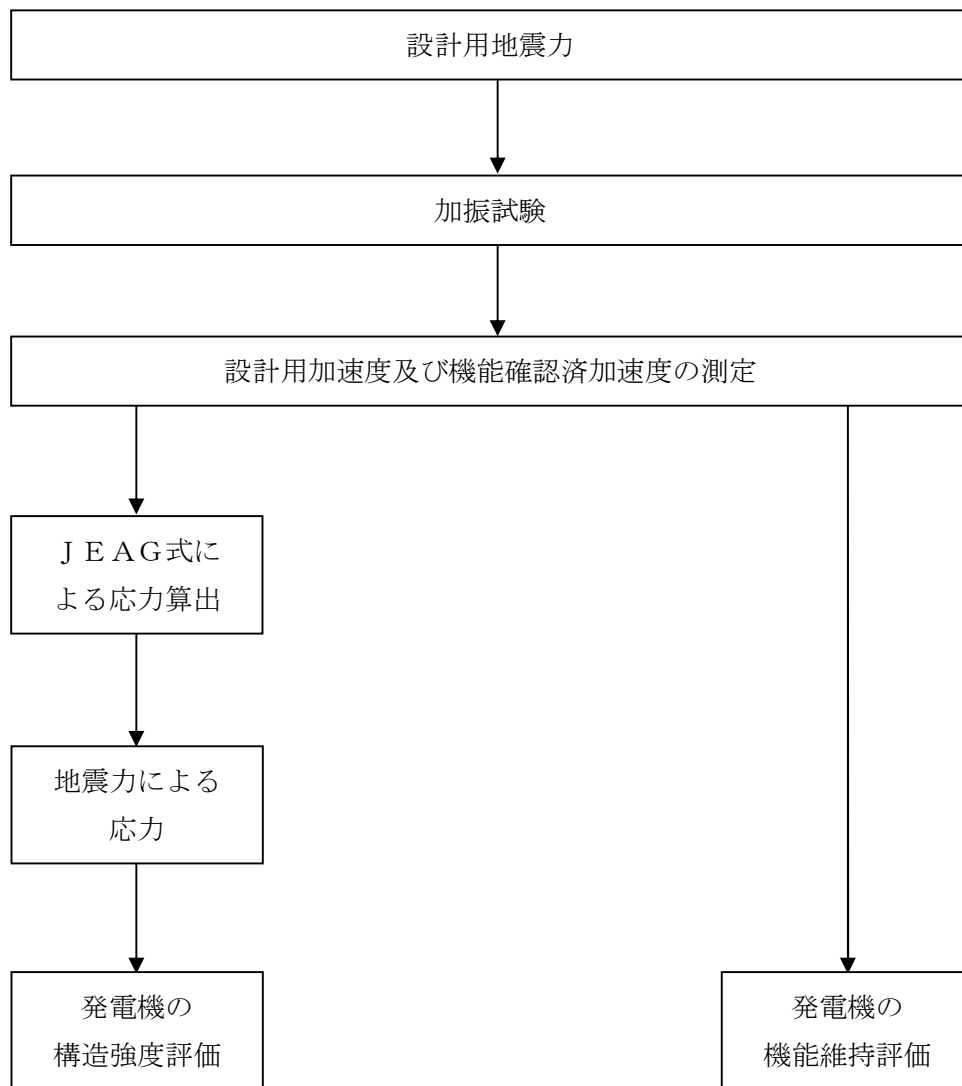


図 2-4 常設代替高圧電源装置発電機 (No. 6) の耐震評価フロー

3. 耐震評価箇所

常設代替高圧電源装置発電機 (No. 6) の耐震評価は、耐震評価上厳しくなる発電機の取付ボルトを選定して実施する。

4. 応力評価

4.1 基本方針

- (1) 解析モデルは、1 質点系モデルとし、発電機の重心位置に地震荷重、発電機の運転による加速度及び発電機運転により働くモーメントが作用するものとする。
- (2) 発電機は、J E A G 4 6 0 1 -1987 に従い一つの剛体として取り扱うこととする。
- (3) 加振試験により測定された発電機頂部における最大応答加速度の 1.2 倍を用いて発生応力を算出し、応力評価を行う。
- (4) 許容応力について J S M E S N C 1 -2005/2007 の付録材料図表を用いて計算する際に、温度が付録材料図表記載値の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。
ただし、比例法を用いる場合の端数処理は、小数第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 設計用地震力

耐震計算に用いる設計用地震力には、添付書類「V-2-2-22 常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備の地震応答計算書」にて設定した床応答曲線を上回るように設定した入力地震動を用いて実施した「V-2-10-1-4-1-2 常設代替高圧電源装置内燃機関 (No. 6) の耐震性についての計算書」の「4. 車両の加振試験」で得られた発電機頂部における最大応答加速度の 1.2 倍を用いる。

4.3 荷重の組合せ及び許容応力

4.3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

常設代替高圧電源装置発電機 (No. 6) の荷重の組合せ及び許容応力状態について、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.3.2 許容応力

常設代替高圧電源装置発電機 (No. 6) の許容応力を表 4-2 に示す。

4.3.3 使用材料の許容応力評価条件

常設代替高圧電源装置発電機 (No. 6) の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器クラス	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源 設備	非常用発電 装置	常設代替高圧電源 装置発電機 (No. 6)	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IV_{AS}
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を 用いる。)

注記 *1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-2 許容応力（その他の支持構造物（重大事故等対処設備））

許容 応力 状態	許容限界* (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
IV _A S	1.5・f _t *	1.5・f _s *
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの 許容限界を用いる。)		

注記 *：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

表 4-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

強度区分	評価温度 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
10.9*	40 (雰囲気温度)	900	1000	700

注記 *：J I S B 1 0 5 1に規定される材料を使用。

4.3 応力評価方法

4.4.1 記号の説明

記号	定義	単位
A_{bt}	取付ボルト軸断面積	mm^2
a_H	水平地震加速度（加振試験で得られた発電機頂部の最大応答加速度の1.2倍）	m/s^2
a_V	鉛直地震加速度（加振試験で得られた発電機頂部の最大応答加速度の1.2倍）	m/s^2
a_p	回転体振動による加速度	m/s^2
g	重力加速度（=9.80665）	m/s^2
h_G	取付面から発電機重心までの高さ	mm
L_1	支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離（軸直角方向）	mm
L_G	支点となる取付ボルトから重心までの距離（軸直角方向）	mm
L_{1X}	支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離（軸方向）	mm
L_{2X}	支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離（軸方向）	mm
L_{GX}	支点となる取付ボルトから重心までの距離（軸方向）	mm
m	発電機の質量	kg
M_p	回転体回転により働くモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
n	取付ボルト総本数	本
n_1	軸方向に設けた取付ボルトの片側本数	本
n_2	軸直角方向に設けた取付ボルトの片側本数	本
p	回転体の許容振幅	μm
P	発電機出力	kW
R	発電機定格回転数	min^{-1}
σ_{bt}	取付ボルト引張応力	MPa
τ_b	取付ボルトせん断応力	MPa

4.4.2 応力計算方法

発電機取付ボルトの応力評価を行う。応力評価にあたっては、添付書類「V-2-10-1-4-1-2 常設代替高圧電源装置内燃機関 (No.6) の耐震性についての計算書, 4. 車両の加振試験」で得られた設計用加速度を用いて実施する。

4.4.3 引張応力の評価

引張応力は、取付ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の取付ボルトで受けるものとして計算する。

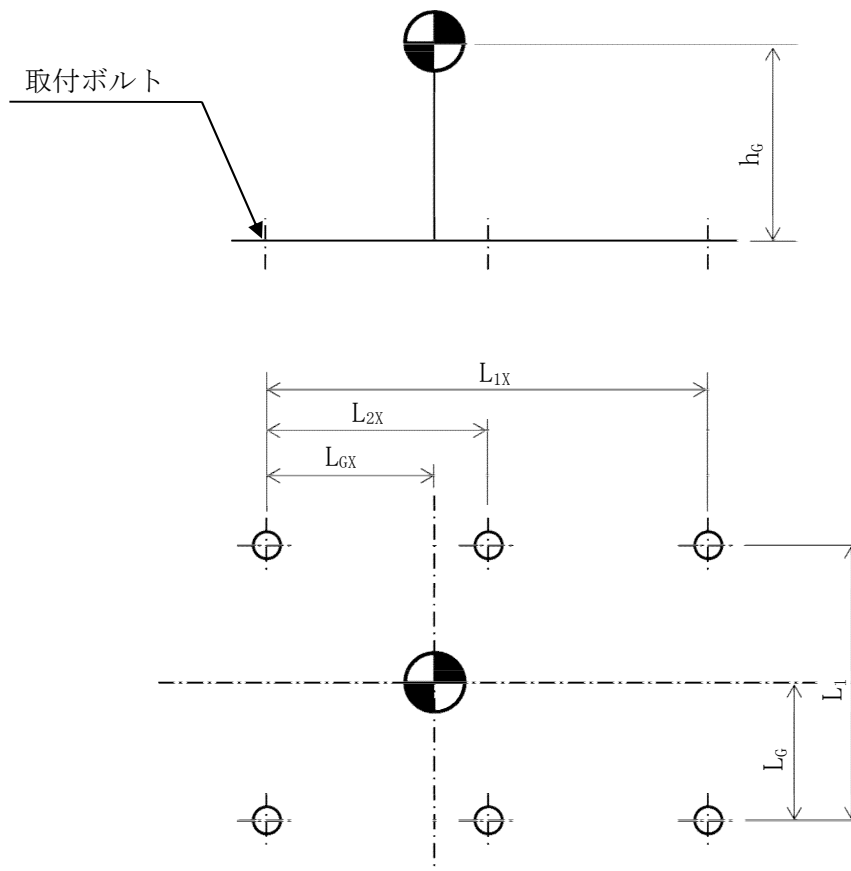


図 4-1 発電機 取付ボルトの計算モデル図

第 4-1 図に示すモーメントのつり合い式より以下の各計算式が得られる。

【軸直角方向の引張応力計算式】

$$\sigma_{bt} = \frac{m \cdot (a_H + a_p) \cdot h_G + M_p - m \cdot (g - a_v - a_p) \cdot L_G}{n_1 \cdot A_{bt} \cdot L_1}$$

【軸方向の引張応力計算式】

$$\sigma_{bt} = \frac{\{m \cdot (a_H + a_p) \cdot h_G - m \cdot (g - a_v - a_p) \cdot L_{GX}\} \cdot L_{1X}}{n_2 \cdot (L_{1X}^2 + L_{2X}^2) \cdot A_{bt}}$$

σ_{bt} は、上式で得られる大きい方の値とする。

ここで、回転体回転によるモーメント M_p は、発電機出力及び定格回転数を考慮して定める値である。回転体振動による加速度 a_p は、回転体の許容振幅及び発電機の定格回転数を考慮して定める値である。

【回転体回転によるモーメントの計算式】

$$M_p = \frac{60P}{2\pi \cdot R} \times 10^6$$

【回転体振動による加速度の計算式】

$$a_p = \left(2\pi \cdot \frac{R}{60}\right)^2 \cdot \frac{p \cdot 10^{-6}}{2}$$

4.4.4 せん断応力の評価

せん断応力は、全ボルトで受けるものとして計算する。

$$\tau_b = \frac{m \cdot (a_H + a_p)}{n \cdot A_{bt}}$$

4.4.5 組合せ応力の評価

引張応力とせん断応力の組合せ応力を J SME S NC 1-2005/2007 SSB-3 133 に基づき次式で評価する。

$$\sigma_{bt} \leq \min(1.4 \times 1.5f_t^* - 1.6\tau_b, 1.5f_t^*)$$

5 機能維持評価

常設代替高圧電源装置発電機（No. 6）の地震時及び地震後の機能維持評価について、以下に示す。

5.1 評価方法

車両に搭載している発電機の動的機能維持を確認した機能確認済加速度と設置場所の最大床加速度を比較し、地震時の応答加速度が機能確認済加速度以下であることを確認することで実施する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度

項目	機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
水平	2.04
鉛直	1.19

6. 評価結果

常設代替高圧電源装置発電機（No. 6）について、耐震計算結果を次頁以降に示す。発生値は許容応力以下であり、耐震性を有することを確認した。また、常設代替高圧電源装置置場の加速度は機能維持確認済加速度以下であり、基準地震動 S_s に対して動的機能が維持されることを確認した。

東海第二発電所 常設代替高圧電源装置発電機 (No. 6) の耐震計算書

1. 設計条件

設備分類	設置場所 (m)	取付ボルト 配置状態	取付ボルト評価温度 (°C)
常設耐震/防止 常設/緩和	EL. <input type="text"/>	矩形配置	40 (使用温度)

2. 設計用加速度と評価用加速度

減衰定数 (%)	評価用加速度 (m/s ²) (機能維持評価)		設計用加速度 (m/s ²) (応力評価)		回転体振動による 加速度 (m/s ²)		回転によるモーメント (取付ボルトのみ) M _p (N・mm)
	水平	鉛直	水平 (a _H)	鉛直 (a _V)	水平 (a _p)	鉛直 (a _p)	
1.0	4.51	4.12	(追而)	(追而)	3.71	3.71	8785352.9

3. 機器要目

評価部位	m (kg)	h _G (mm)	A _{bt} (mm ²)	n (本)	n ₁ (本)	n ₂ (本)	L ₁ (mm)	L _G (mm)	L _{1X} (mm)	L _{2X} (mm)	L _{GX} (mm)	R (min ⁻¹)	P (kW)	p (μm)
取付ボルト	<input type="text"/>	<input type="text"/>	380.1	6	3	2	890	445	1128	564	478	1500	1380	<input type="text"/>

4. 結果

4.1 取付ボルトの応力評価結果

評価部位	材 料	評価応力	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
取付ボルト	10.9	引張	(追而)	(追而)
		せん断	(追而)	(追而)
		組合せ	(追而)	(追而)

評価応力は全て許容値以下である。

4.2 発電機の機能維持評価結果

		評価用加速度 (×9.8 m/s ²)	機能確認済加速度 (×9.8 m/s ²)
発電機	水平	0.46	2.04
	鉛直	0.42	1.19

評価用加速度(1.0ZPA)は、すべて機能確認済加速度以下である。

V-2-10-1-4-5-1 常設代替高圧電源装置制御盤
(No. 1～No. 5)
の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 構造の説明	1
2.2 評価方針	3
3. 耐震評価箇所	3
4. 応力評価	4
4.1 基本方針	4
4.2 設計用地震力	4
4.3 荷重の組合せ及び許容応力	4
4.4 応力評価方法	7
4.5 応力評価条件	10
5. 機能維持評価	11
5.1 機能維持評価方法	11
6. 評価結果	12

1. 概要

本資料は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、常設代替高圧電源装置制御盤 (No. 1～No. 5) が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。その耐震評価は応力評価及び機能維持評価により行う。

また、間接支持構造物である車両が設計用地震力に対して十分な支持機能を有していることは、添付書類「V-2-10-1-4-1-1 常設代替高圧電源装置内燃機関 (No. 1～No. 5) の耐震性についての計算書」で説明している。

常設代替高圧電源装置制御盤 (No. 1～No. 5) は、重大事故等対処設備において常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、この分類に応じた耐震評価を示す。

2. 基本方針

2.1 構造の説明

常設代替高圧電源装置制御盤 (No. 1～No. 5) の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 常設代替高圧電源装置制御盤 (No. 1～No. 5) の構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
常設代替高圧電源装置 制御盤 (No. 1～No. 5)	自立閉鎖型	車載式のディーゼル発電装置で、制御盤は取付ボルトにて車体に固定する。	図 2-1 図 2-2 図 2-3

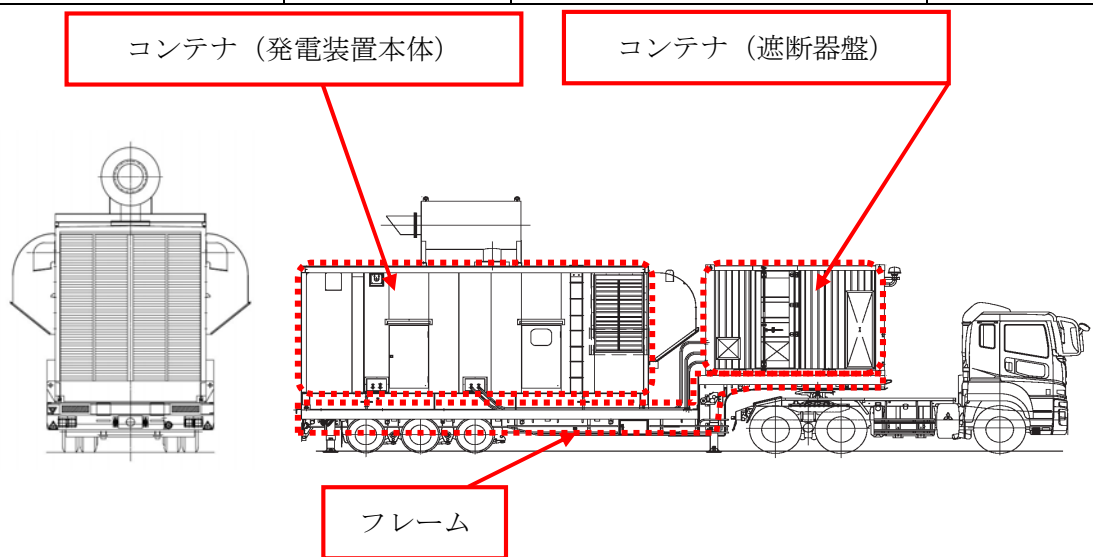
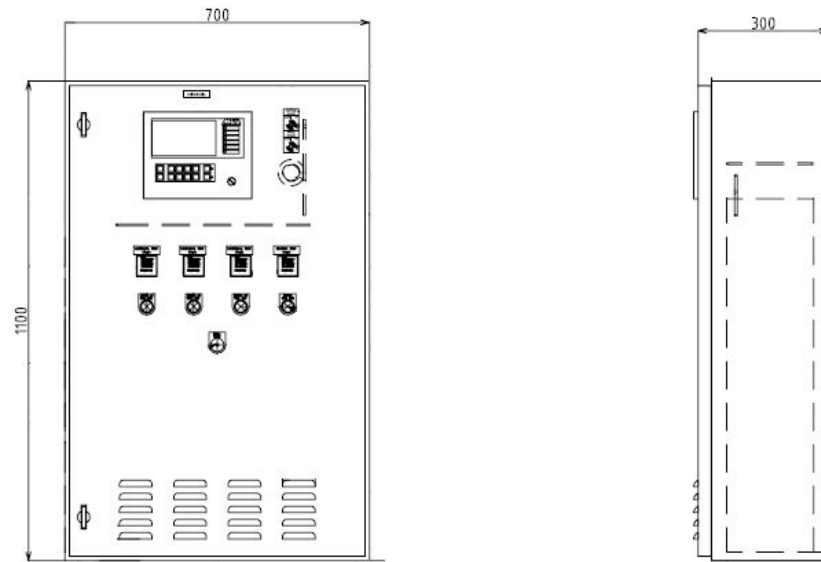


図 2-1 常設代替高圧電源装置 (No. 1～No. 5) の構造図



図 2-2 常設代替高圧電源装置制御盤 (No. 1~No. 5) の配置図



(単位 : mm)

図 2-3 常設代替高圧電源装置制御盤 (No. 1~No. 5) の外形図

2.2 評価方針

常設代替高圧電源装置制御盤（No. 1～No. 5）の応力評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造の説明」にて示す常設代替高圧電源装置制御盤（No. 1～No. 5）の部位を踏まえ「3. 耐震評価箇所」にて設定する箇所に発生する応力等が許容限界内に収まることを、添付書類「V-2-10-1-4-1-1 常設代替高圧電源装置内燃機関（No. 1～No. 5）の耐震性についての計算書」の「4. 車両の加振試験」で得られた制御盤頂部における最大応答加速度を用い、「4. 応力評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、常設代替高圧電源装置制御盤（No. 1～No. 5）の機能維持評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「5. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

常設代替高圧電源装置制御盤（No. 1～No. 5）の耐震評価フローを図 2-4 に示す。

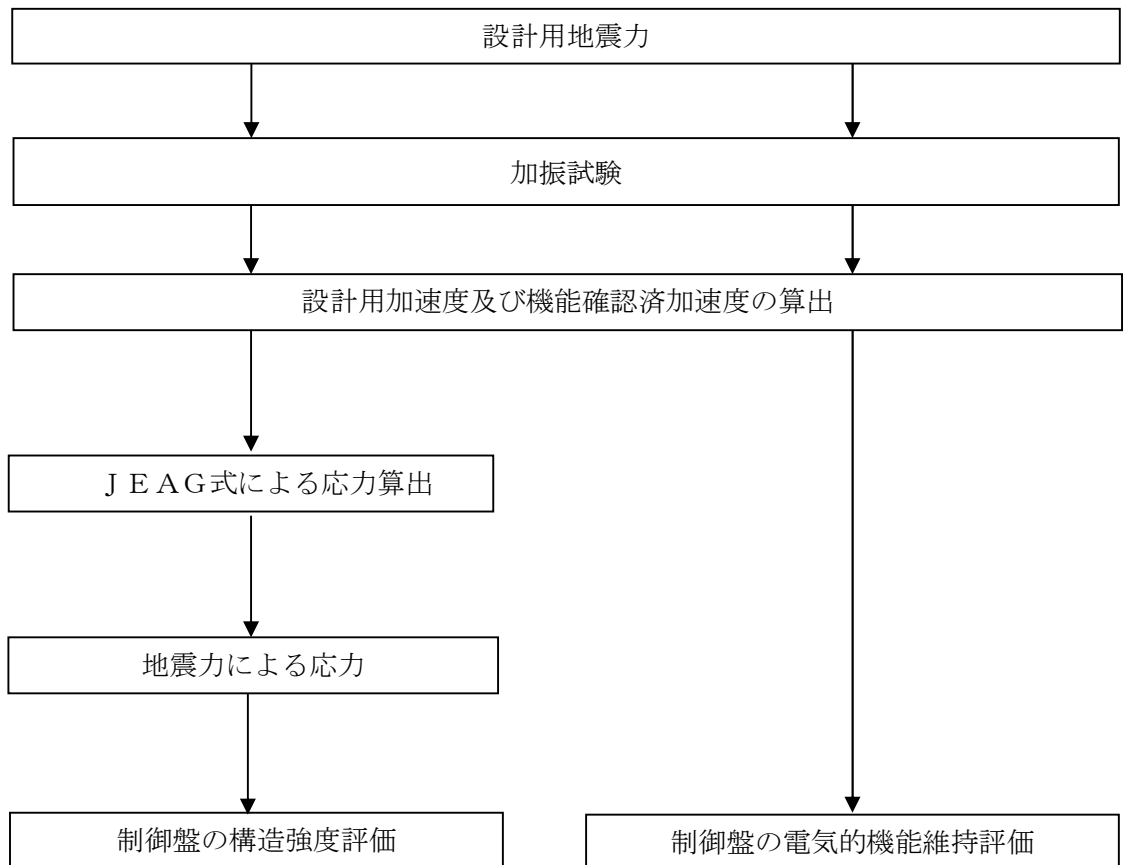


図 2-4 常設代替高圧電源装置制御盤（No. 1～No. 5）の耐震評価フロー

3. 耐震評価箇所

常設代替高圧電源装置制御盤（No. 1～No. 5）の耐震評価は、耐震評価上厳しくなる取付ボルトを選定して実施する。

4. 応力評価

4.1 基本方針

- (1) 常設代替高圧電源装置制御盤 (No. 1～No. 5) の応力計算モデルは、1 質点系モデルとする。
- (2) 加振試験により得られた制御盤頂部における最大応答加速度の 1.2 倍を用いて発生応力を算出し、応力評価を行う。
- (3) 許容応力について J S M E S N C 1 - 2005/2007 の付録材料図表を用いて計算する際に、温度が付録材料図表記載値の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。
ただし、比例法を用いる場合の端数処理は、小数第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 設計用地震力

耐震計算に用いる設計用地震力には、添付書類「V-2-2-22 常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備の地震応答計算書」にて設定した床応答曲線を上回るように設定した入力地震動を用いて実施した「4. 車両の加振試験」で得られた、制御盤頂部における最大応答加速度の 1.2 倍を用いる。

4.3 荷重の組合せ及び許容応力

4.3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

常設代替高圧電源装置制御盤 (No. 1～No. 5) の荷重の組合せ及び許容応力状態について、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.3.2 許容応力

常設代替高圧電源装置制御盤 (No. 1～No. 5) の許容応力を表 4-2 に示す。

4.3.3 使用材料の許容応力評価条件

常設代替高圧電源装置制御盤 (No. 1～No. 5) の使用材料の許容応力評価条件について、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器クラス	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用 電源設備	非常用 発電装置	常設代替高圧電源装置 制御盤 (No. 1~No. 5)	常設耐震/防止 常設/緩和	—*2	$D+P_D+M_D+S_s$ *3	$IV_A S$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ の 許容限界を用いる。)

注記 *1: 「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2: その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

*3: 「 $D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$ 」の評価に包絡されるため, 評価結果の記載を省略する。

表 4-2 許容応力（その他の支持構造物（重大事故等対処設備））

許容応力状態	許容限界* (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
IV _A S	1.5・f _t *	1.5・f _s *
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)		

注記 *：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

表 4-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部位	強度区分	評価温度 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
取付ボルト	10.9*	40 (雰囲気温度)	900	1000	700

注記 *：J I S B 1 0 5 1に規定される材料を使用。

4.4 応力評価方法

4.4.1 記号の説明

記号	定義	単位
A_{bt}	取付ボルト軸断面積	mm^2
a_H	水平地震加速度（加振試験で得られた制御盤頂部の最大応答加速度の1.2倍）	m/s^2
a_V	鉛直地震加速度（加振試験で得られた制御盤頂部の最大応答加速度の1.2倍）	m/s^2
g	重力加速度（=9.80665）	m/s^2
h_G	取付面から制御盤重心までの高さ	mm
L_1	支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離（短辺方向）	mm
l_1	支点となる取付ボルトから重心までの距離（短辺方向）	mm
L_{1X}	支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離（長辺方向）	mm
L_{2X}	支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離（長辺方向）	mm
l_{1X}	支点となる取付ボルトから重心までの距離（長辺方向）	mm
m	制御盤の質量	kg
n	取付ボルト総本数	本
n_1	短辺方向に設けた取付ボルトの片側本数	本
n_2	長辺方向に設けた取付ボルトの片側本数	本
σ_{bt}	取付ボルト引張応力	MPa
τ_b	取付ボルトせん断応力	MPa

4.4.2 応力計算方法

取付ボルトの応力評価を行う。応力評価にあたっては、J E A G 4 6 0 1 - 1987 の評価式にて評価を行う。

4.4.3 引張応力の評価

引張応力は、取付ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の取付ボルトで受けるものとして計算する。

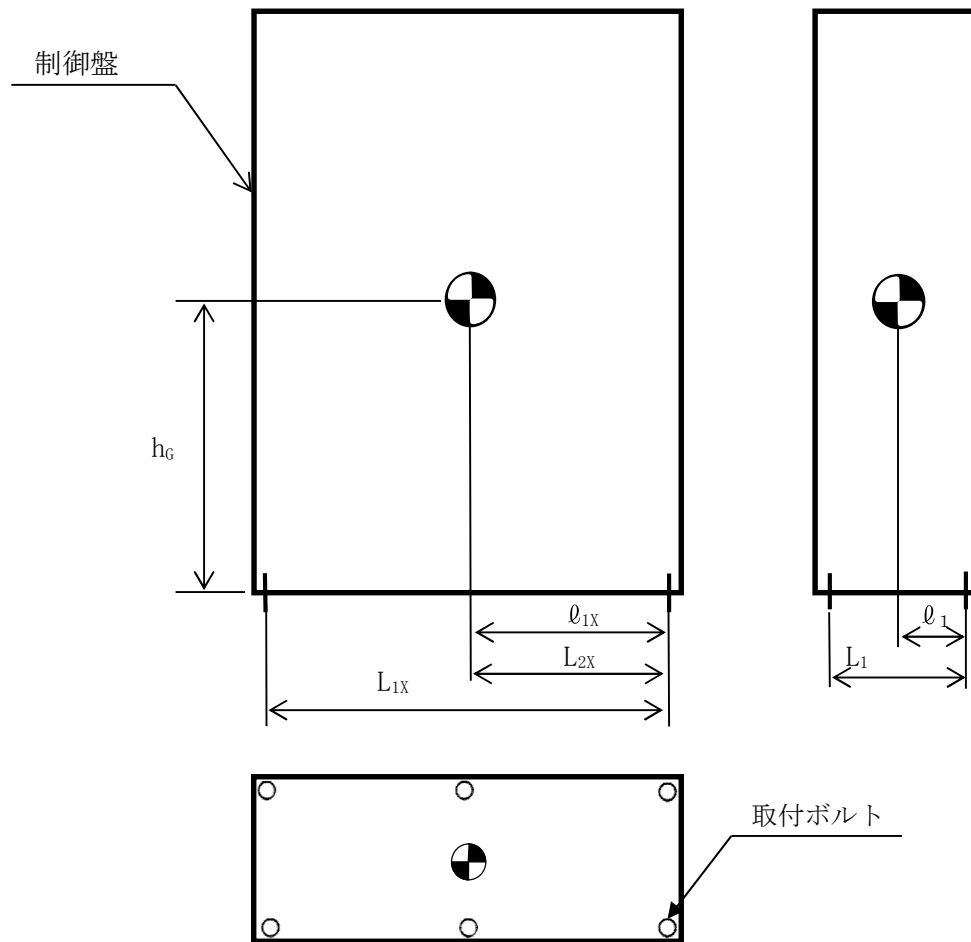


図 4-1 制御盤 取付ボルトの計算モデル図

図 4-1 に示すモーメントのつり合い式より以下の各計算式が得られる。

【長辺方向の引張応力計算式】

$$\sigma_{bt} = \frac{\{m \cdot a_H \cdot h_G - m \cdot (g - a_V) \cdot \ell_{1X}\} \cdot L_{1X}}{n_1 \cdot (L_{1X}^2 + L_{2X}^2) \cdot A_{bt}}$$

【短辺方向の引張応力計算式】

$$\sigma_{bt} = \frac{m \cdot a_H \cdot h_G - m \cdot (g - a_V) \cdot \ell_1}{n_2 \cdot A_{bt} \cdot L_1}$$

σ_{bt} は、上式で得られる大きい方の値とする。

4.4.4 せん断応力の評価

せん断応力は、全ボルトで受けるものとして計算する。

$$\tau_b = \frac{m \cdot a_H}{n \cdot A_{bt}}$$

4.4.5 組合せ応力の評価

引張応力とせん断応力の組合せ応力を J S M E S N C 1 - 2005/2007 S S B - 3 1 3 3 に基づき次式で評価する。

$$\sigma_{bt} \leq \min(1.4 \times 1.5f_t^* - 1.6\tau_b, 1.5f_t^*)$$

4.5 応力評価条件

(1) 盤関係

項目	記号	単位	数値	
取付ボルト軸断面積	A_{bt}	mm^2	78.5 (M10)	
重力加速度	g	m/s^2	9.80665	
取付面から制御盤重心までの高さ	h_g	mm		
支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離 (短辺方向)	L_1	mm		
支点となる取付ボルトから重心までの距離 (短辺方向)	l_1	mm		
支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離 (長辺方向)	L_{1X}	mm		
支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離 (長辺方向)	L_{2X}	mm		
支点となる取付ボルトから重心までの距離 (長辺方向)	l_{1X}	mm		
制御盤の質量	m	kg		
取付ボルト総本数	n	本		
短辺方向に設けた取付ボルトの片側本数	n_1	本		2
長辺方向に設けた取付ボルトの片側本数	n_2	本		3

(2) 設計用加速度

項目	記号	設計用加速度 (m/s^2)
水平	a_H	32.6
鉛直	a_V	32.8

5. 機能維持評価

常設代替高圧電源装置制御盤（No. 1～No. 5）の地震後の機能維持評価について、以下に示す。

5.1 機能維持評価方法

車両に搭載している常設代替高圧電源装置制御盤（No. 1～No. 5）の電氣的機能維持を確認した機能確認済加速度と設置場所の最大床加速度を比較し、地震時の応答加速度が機能確認済加速度以下であることを確認することで実施する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度

項目	機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
水平	1.37
鉛直	1.41

6. 評価結果

常設代替高圧電源装置制御盤（No. 1～No. 5）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容応力以下であり、耐震性を有することを確認した。また、常設代替高圧電源装置置場の加速度は機能確認済加速度以下であり、基準地震動 S_s に対して電気的機能が維持されることを確認した。

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を表 6-1 に示す。また、電気的機能維持評価結果を表 6-2 に示す。

表 6-1 基準地震動 S_s による評価結果 ($D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$)

評価対象設備			評価部位	応力分類	発生応力	許容応力
					MPa	MPa
非常用電源設備	非常用発電装置	常設代替高圧電源装置制御盤 (No. 1~No. 5)	取付ボルト	引張応力	42	525
				せん断応力	7	403
				組合せ応力	42	525

注 : 引張応力 (σ_{bt}) とせん断応力 (τ_{bs}) との組合せ応力の許容応力は、 $\text{Min}(1.4 \cdot 1.5f_t^* - 1.6\tau_{bs}, 1.5f_t^*)$ とする。

表 6-2 電氣的機能維持評価結果 (重大事故等対処設備)

評価対象設備			機能確認済加速度との比較			
			水平加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		鉛直加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	
			評価用 加速度	機能確認済 加速度	評価用 加速度	機能確認済 加速度
非常用電源設備	非常用発電装置	常設代替高圧電源装置 制御盤 (No. 1~No. 5)	0.46	1.37	0.42	1.41

評価用加速度 (1.0ZPA) は、すべて機能確認済加速度以下である。

V-2-10-1-4-5-2 常設代替高圧電源装置制御盤
(No. 6)
の耐震性についての計算書

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 構造の説明	1
2.2 評価方針	3
3. 耐震評価箇所	3
4. 応力評価	4
4.1 基本方針	4
4.2 設計用地震力	4
4.3 荷重の組合せ及び許容応力	4
4.4 応力評価方法	7
4.5 応力評価条件	10
5. 機能維持評価	11
5.1 機能維持評価方法	11
6. 評価結果	12

1. 概要

本資料は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、常設代替高压電源装置制御盤 (No. 6) が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。その耐震評価は応力評価及び機能維持評価により行う。

また、間接支持構造物である車両が設計用地震力に対して十分な支持機能を有していることは、添付書類「V-2-10-1-4-1-2 常設代替高压電源装置内燃機関 (No. 6) の耐震性についての計算書」で説明している。

常設代替高压電源装置制御盤 (No. 6) は、重大事故等対処設備において常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、この分類に応じた耐震評価を示す。

2. 基本方針

2.1 構造の説明

常設代替高压電源装置制御盤 (No. 6) の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 常設代替高压電源装置制御盤 (No. 6) の構造計画

設備名称	計画の概要		説明図
	主体構造	支持構造	
常設代替高压電源装置 制御盤 (No. 6)	自立閉鎖型	車載式のディーゼル発電装置で、制御盤は取付ボルトにて車体に固定する。	図 2-1 図 2-2 図 2-3

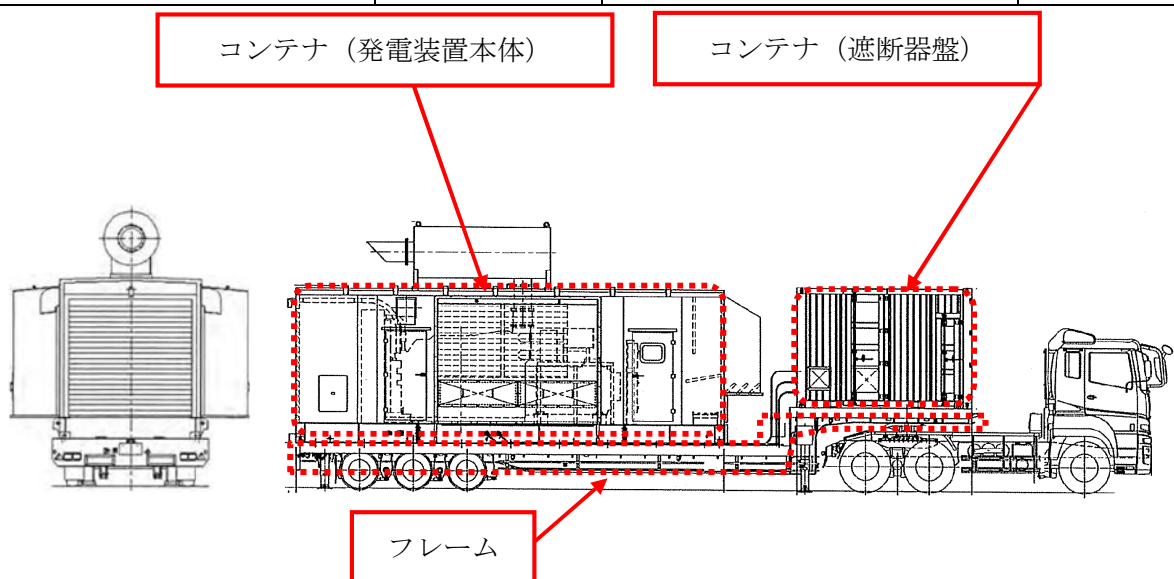
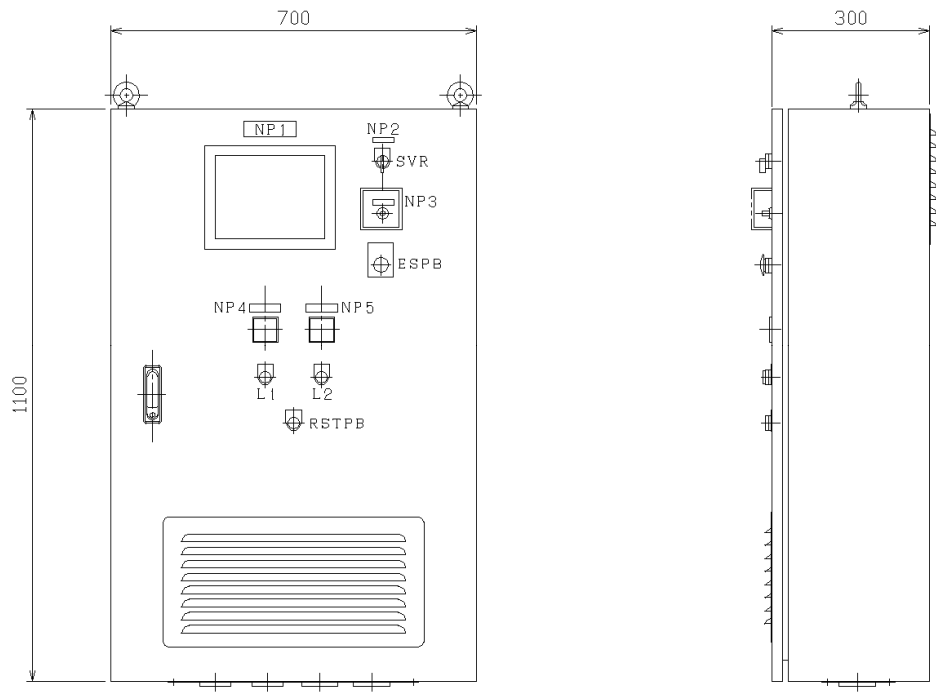


図 2-1 常設代替高压電源装置 (No. 6) の構造図



図 2-2 常設代替高圧電源装置制御盤 (No. 6) の配置図



(単位 : mm)

図 2-3 常設代替高圧電源装置制御盤 (No. 6) の外形図

2.2 評価方針

常設代替高圧電源装置制御盤 (No. 6) の応力評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造の説明」にて示す常設代替高圧電源装置制御盤 (No. 6) の部位を踏まえ「3. 耐震評価箇所」にて設定する箇所に発生する応力等が許容限界内に収まることを、添付書類「V-2-10-1-4-1-2 常設代替高圧電源装置内燃機関 (No. 6) の耐震性についての計算書」の「4. 車両の加振試験」で測定された最大応答加速度を用い、「4. 応力評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

また、常設代替高圧電源装置制御盤 (No. 6) の機能維持評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「5. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

常設代替高圧電源装置制御盤 (No. 6) の耐震評価フローを図 2-4 に示す。

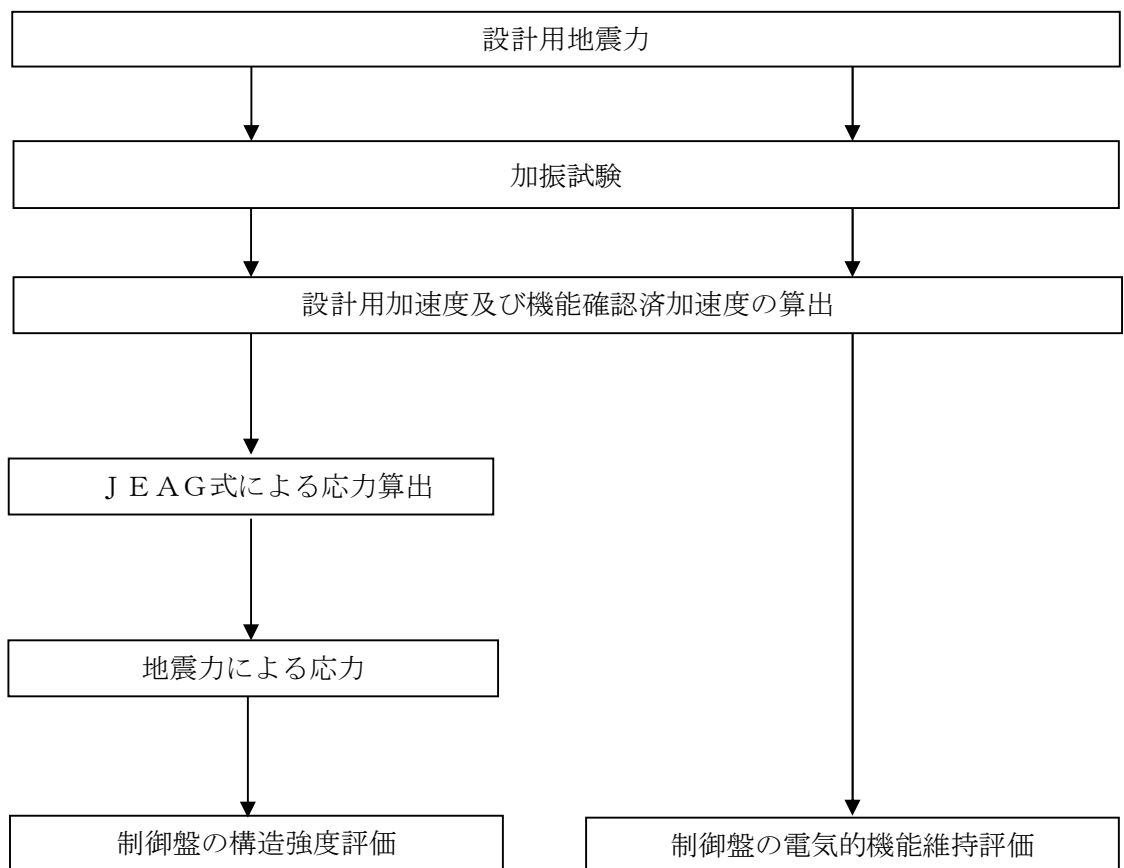


図 2-4 常設代替高圧電源装置制御盤 (No. 6) の耐震評価フロー

3. 耐震評価箇所

常設代替高圧電源装置制御盤 (No. 6) の耐震評価は、耐震評価上厳しくなる取付ボルトを選定して実施する。

4. 応力評価

4.1 基本方針

- (1) 常設代替高圧電源装置制御盤 (No. 6) の応力計算モデルは、1 質点系モデルとする。
- (2) 加振試験により得られた制御盤頂部における最大応答加速度の 1.2 倍を用いて発生応力を算出し、応力評価を行う。
- (3) 許容応力について J S M E S N C 1 - 2005/2007 の付録材料図表を用いて計算する際に、温度が付録材料図表記載値の中間の値の場合は、比例法を用いて計算する。
ただし、比例法を用いる場合の端数処理は、小数第 1 位以下を切り捨てた値を用いるものとする。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 設計用地震力

耐震計算に用いる設計用地震力には、添付書類「V-2-2-22 常設代替高圧電源装置置場及び西側淡水貯水設備の地震応答計算書」にて設定した床応答曲線を上回るように設定した入力地震動を用いて実施した実施した「4. 車両の加振試験」で得られた、制御盤頂部における最大応答加速度の 1.2 倍を用いる。

4.3 荷重の組合せ及び許容応力

4.3.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

常設代替高圧電源装置制御盤 (No. 6) の荷重の組合せ及び許容応力状態について、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.3.2 許容応力

常設代替高圧電源装置制御盤 (No. 6) の許容応力を表 4-2 に示す。

4.3.3 使用材料の許容応力評価条件

常設代替高圧電源装置制御盤 (No. 6) の使用材料の許容応力評価条件について、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器クラス	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用 電源設備	非常用 発電装置	常設代替高圧電源装置 制御盤 (No.6)	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D+P_D+M_D+S_s$ *3	$IV_A S$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ の 許容限界を用いる。)

注記 *1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-2 許容応力（その他の支持構造物（重大事故等対処設備））

許容応力状態	許容限界* (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
IV _A S	1.5・f _t *	1.5・f _s *
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)		

注記 *：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

表 4-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部位	強度区分	評価温度 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
取付ボルト	10.9*	40 (雰囲気温度)	900	1000	700

注記 *：J I S B 1 0 5 1に規定される材料を使用。

4.4 応力評価方法

4.4.1 記号の説明

記号	定義	単位
A_{bt}	取付ボルト軸断面積	mm^2
a_H	水平地震加速度（加振試験で得られた制御盤頂部の最大応答加速度の1.2倍）	m/s^2
a_V	鉛直地震加速度（加振試験で得られた制御盤頂部の最大応答加速度の1.2倍）	m/s^2
g	重力加速度（ $=9.80665$ ）	m/s^2
h_G	取付面から制御盤重心までの高さ	mm
L_1	支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離（短辺方向）	mm
l_1	支点となる取付ボルトから重心までの距離（短辺方向）	mm
L_{1X}	支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離（長辺方向）	mm
l_{1X}	支点となる取付ボルトから重心までの距離（長辺方向）	mm
m	制御盤の質量	kg
n	取付ボルト総本数	本
n_1	短辺方向に設けた取付ボルトの片側本数	本
n_2	長辺方向に設けた取付ボルトの片側本数	本
σ_{bt}	取付ボルト引張応力	MPa
τ_b	取付ボルトせん断応力	MPa

4.4.2 応力計算方法

取付ボルトの応力評価を行う。応力評価にあたっては、J E A G 4 6 0 1 - 1987 の評価式にて評価を行う。

4.4.3 引張応力の評価

引張応力は、取付ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の取付ボルトで受けるものとして計算する。

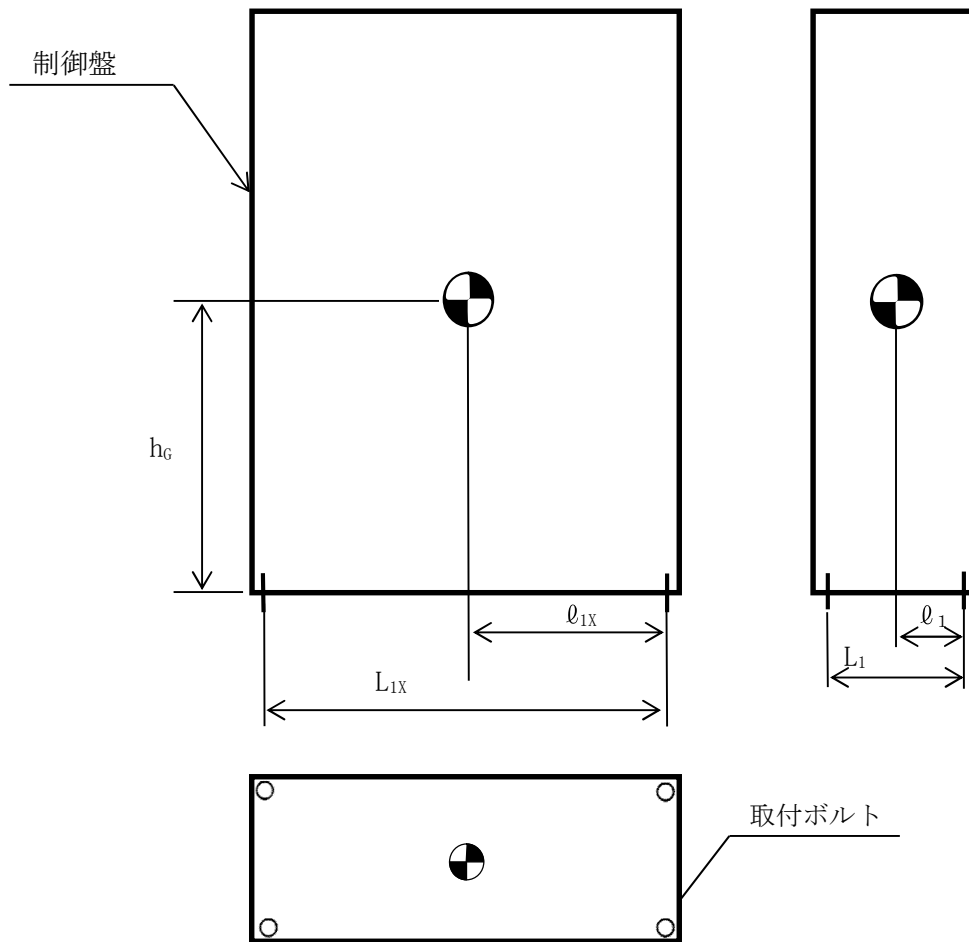


図 4-1 制御盤 取付ボルトの計算モデル図

図 4-1 に示すモーメントのつり合い式より以下の各計算式が得られる。

【長辺方向の引張応力計算式】

$$\sigma_{bt} = \frac{m \cdot a_H \cdot h_G - m \cdot (g - a_V) \cdot l_{1X}}{n_1 \cdot A_{bt} \cdot L_{1X}}$$

【短辺方向の引張応力計算式】

$$\sigma_{bt} = \frac{m \cdot a_H \cdot h_G - m \cdot (g - a_V) \cdot l_1}{n_2 \cdot A_{bt} \cdot L_1}$$

σ_{bt} は、上式で得られる大きい方の値とする。

4.4.4 せん断応力の評価

せん断応力は、全ボルトで受けるものとして計算する。

$$\tau_b = \frac{m \cdot a_H}{n \cdot A_{bt}}$$

4.4.5 組合せ応力の評価

引張応力とせん断応力の組合せ応力を J S M E S N C 1 - 2005/2007 S S B - 3
1 3 3 に基づき次式で評価する。

$$\sigma_{bt} \leq \min(1.4 \times 1.5f_t^* - 1.6\tau_b, 1.5f_t^*)$$

4.5 応力評価条件

(1) 盤関係

項目	記号	単位	数値	
取付ボルト軸断面積	A_{bt}	mm^2	78.5 (M10)	
重力加速度	g	m/s^2	9.80665	
取付面から制御盤重心までの高さ	h_G	mm		
支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離 (短辺方向)	L_1	mm		
支点となる取付ボルトから重心までの距離 (短辺方向)	l_1	mm		
支点となる取付ボルトから評価対象となる取付ボルトまでの距離 (長辺方向)	L_{1X}	mm		
支点となる取付ボルトから重心までの距離 (長辺方向)	l_{1X}	mm		
制御盤の質量	m	kg		
取付ボルト総本数	n	本		
短辺方向に設けた取付ボルトの片側本数	n_1	本		2
長辺方向に設けた取付ボルトの片側本数	n_2	本		2

(2) 設計用加速度

項目	記号	設計用加速度 (m/s^2)
水平	a_H	(追而)
鉛直	a_V	(追而)

5. 機能維持評価

常設代替高圧電源装置制御盤（No. 6）の地震後の機能維持評価について、以下に示す。

5.1 機能維持評価方法

車両に搭載している常設代替高圧電源装置制御盤（No. 6）の電氣的機能維持を確認した機能確認済加速度と設置場所の最大床加速度を比較し、地震時の応答加速度が機能確認済加速度以下であることを確認することで実施する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度

項目	機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
水平	2.04
鉛直	1.19

6. 評価結果

常設代替高圧電源装置制御盤 (No. 6) の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容応力以下であり、耐震性を有することを確認した。また、また、常設代替高圧電源装置置場の加速度は機能確認済加速度以下であり、基準地震動 S_s に対して電気的機能が維持されることを確認した。

基準地震動 S_s に対する応力評価結果を表 6-1 に示す。また、電気的機能維持評価結果を表 6-2 に示す。

表 6-1 基準地震動 S_s による評価結果 ($D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$)

評価対象設備			評価部位	応力分類	発生応力	許容応力
					MPa	MPa
非常用電源設備	非常用発電装置	常設代替高圧電源装置制御盤 (No. 6)	取付ボルト	引張応力	(追而)	525
				せん断応力	(追而)	403
				組合せ応力	(追而)	525

注 : 引張応力 (σ_{bt}) とせん断応力 (τ_{bs}) との組合せ応力の許容応力は, $\text{Min}(1.4 \cdot 1.5f_t^* - 1.6\tau_{bs}, 1.5f_t^*)$ とする。

表 6-2 電氣的機能維持評価結果 (重大事故等対処設備)

評価対象設備			機能確認済加速度との比較			
			水平加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		鉛直加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)	
			評価用 加速度	機能確認済 加速度	評価用 加速度	機能確認済 加速度
非常用電源設備	非常用発電装置	常設代替高圧電源装置 制御盤 (No. 6)	0.46	2.04	0.42	1.19

評価用加速度 (1.0ZPA) は, すべて機能確認済加速度以下である。