

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-補-E-19-0600-21_改3
提出年月日	2021年11月2日

補足-600-21 【ガスタービン発電設備の耐震性についての計算書に関する補足説明資料】

2021年11月
東北電力株式会社

目 次

1. 概要	1
2. 緊急用電気品建屋における入力地震動	1
2.1 入力地震動	1
2.2 ガスタービン発電設備の減衰定数	1
2.3 床応答曲線の包絡性	2
3. ガスタービン発電設備の耐震評価について	3
3.1 ガスタービン発電設備の固定装置について	3
3.2 評価手順	4
3.3 評価方針	6
3.4 加振試験	7
3.5 機能維持評価	10
3.6 保守性・不確実さのトータルバランスについて	11
別紙 3-1 固定装置の部材の健全性について	21
別紙 3-2 加振試験における設計用 FRS に対する加振波の FRS の裕度について	33

1. 概要

本補足説明資料は、添付書類「VI-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、耐震評価を実施し、添付書類「VI-2-10-1-2-3-1 ガスタービン発電設備 機関・発電機の耐震性についての計算書」に評価結果をとりまとめている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該当するガスタービン発電設備 機関・発電機の耐震評価について補足するものである。

2. 緊急用電気品建屋における入力地震動

2.1 入力地震動

ガスタービン発電設備は、緊急用電気品建屋 1 階に設置している。

ガスタービン発電設備の入力地震動算定における地盤モデル及び解析用物性値については、添付書類「VI-2-2-21 緊急用電気品建屋の地震応答計算書」に示すとおりである。

入力地震動は、添付書類「VI-2-2-21 緊急用電気品建屋の地震応答計算書」に示す緊急用電気品建屋の地震応答から、添付書類「VI-2-1-7 設計用応答曲線の作成方針」に基づき作成する設計用床応答曲線をおおむね上回るよう作成したランダム波とする。

2.2 ガスタービン発電設備の減衰定数

試験における加振台の床応答曲線（以下「FRS」という。）が、緊急用電気品建屋 1 階の設計用 FRS を上回ることを確認する際に用いるガスタービン発電設備の減衰定数は、5%としている。

ガスタービン発電設備のような車両構造の設備については、J E A G 4 6 0 1 に減衰定数の規定はなく、減衰機構も複雑であることから、様々な文献に複数の減衰定数に関する記載*がある。これらの文献によると、車両構造の設備は、高い減衰が期待できる。加振試験により確認したガスタービン発電設備の減衰定数は、最も低いもので約 8%であるため、試験結果を参考に減衰定数を 5%とした。

注記*：自動車技術ハンドブックによるとサスペンションの減衰定数は 20%～80%であり、国土交通省の国土技術政策総合研究所資料第 180 号「大型車の振動特性が橋梁に及ぼす影響に関する研究（Ⅱ）」によると 10%以上とされている。

2.3 床応答曲線の包絡性

ガスタービン発電設備の耐震評価においては，大型構造物を搭載可能な能力を有した国立研究開発法人 防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センターの3次元震動台（以下「加振台」という。）を用いることにより，加振試験にて評価している。加振台の仕様を表 2-1 に示す。

加振台の床応答曲線と緊急用電気品建屋 1 階の床応答曲線の比較及びガスタービン発電設備の固有振動数を図 2-3-1 に示す。

ガスタービン発電設備の固有振動数において，加振台の水平方向及び鉛直方向の床応答曲線が緊急用電気品建屋 1 階の床応答曲線を上回っていることを確認した。

表 2-1 加振台の仕様

加振台の大きさ		20000mm×15000mm
最大搭載質量		1200ton
最大加速度	水平	9m/s ²
	鉛直	15m/s ²

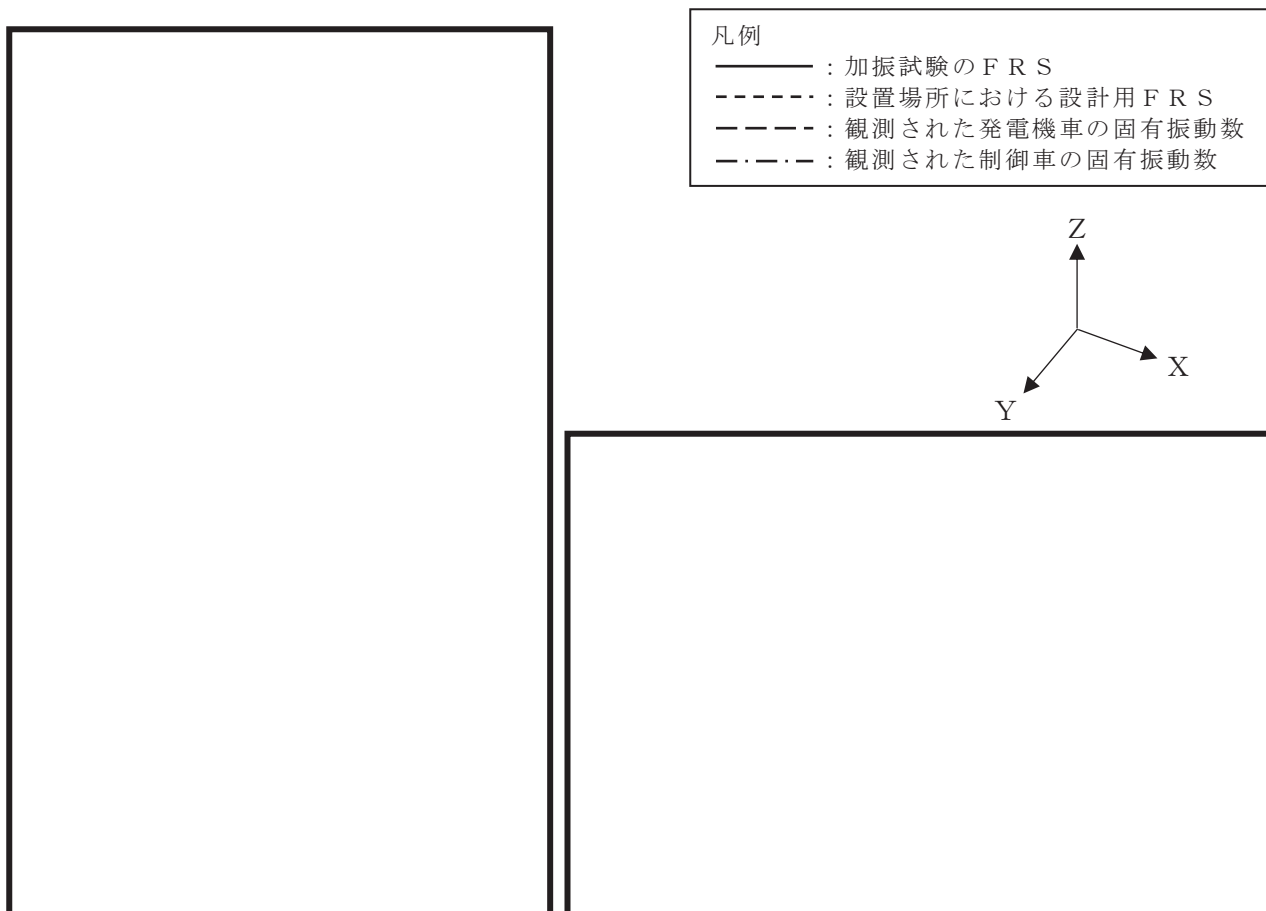


図 2-3-1 加振台の床応答曲線と設計用床応答曲線との比較

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. ガスタービン発電設備の耐震評価について

3.1 ガスタービン発電設備の固定装置について

ガスタービン発電設備に設置する固定装置の構造を、以下に示す。固定装置は、「タイヤ止め架台」、「スリング」から構成される。図 3-1-1 に固定装置の構造概要を示す。

車輪の走行軸方向及び走行軸直角方向には横ずれ防止用の梁、車輪の鉛直方向にはスリングを設置する事で、地震動を受けた際に、車輪は前後方向、左右方向、上下方向に固定されるため、車両は転倒しない。

このため、車両の状態が適切に保持される。

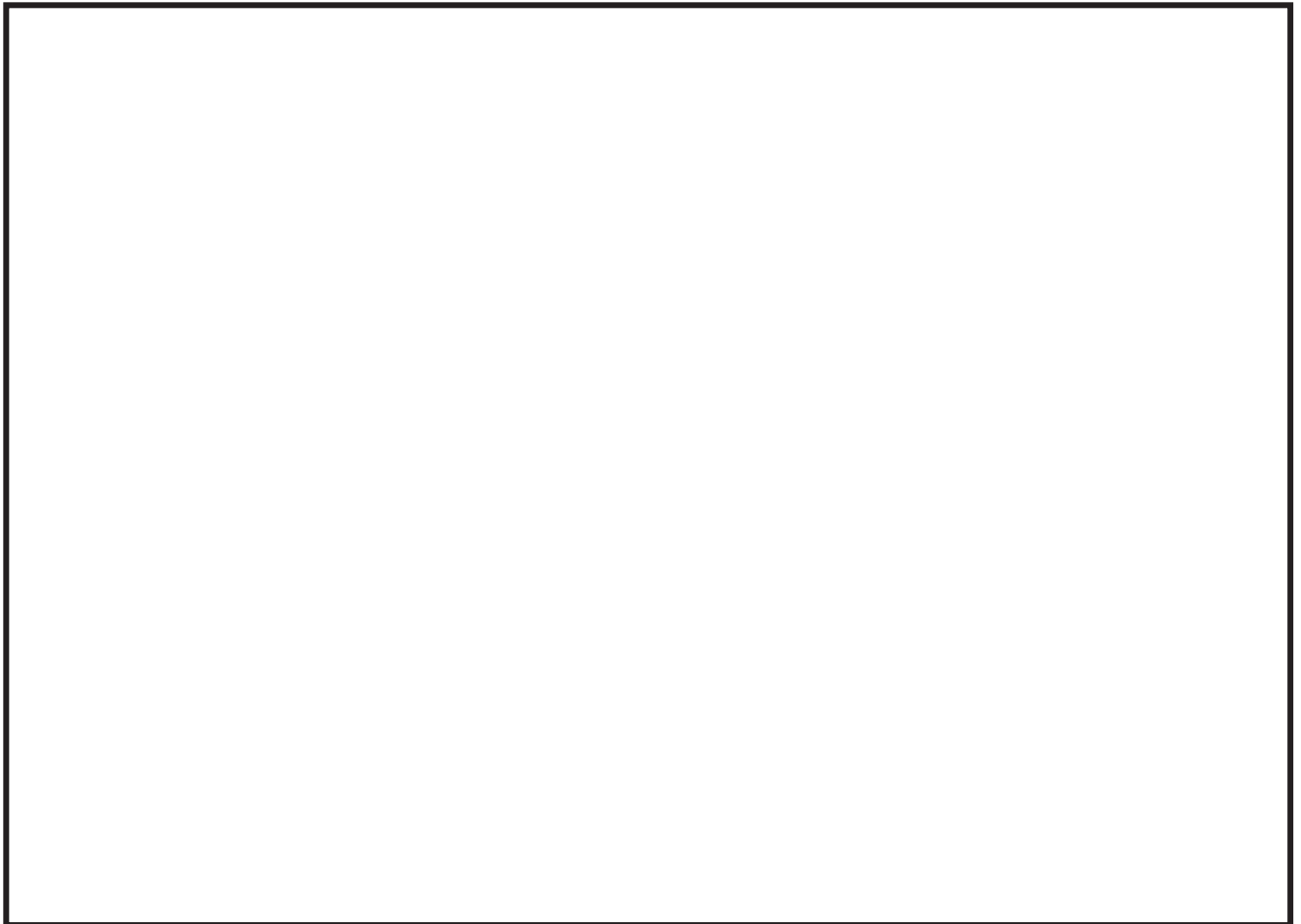


図 3-1-1 固定装置の構造概要

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.2 評価手順

ガスタービン発電設備の評価に当たっては、ガスタービン発電設備に要求される機能を踏まえ、必要となる性能目標を設定し、評価方法及び評価内容を決定する。評価に関する概要を表した評価体系図を図 3-2-1 に示す。

要求機能

地震後においても重大事故等に対処するために必要な機能を損なわないこと。

性能目標

転倒しないこと

ガスタービン、発電機等の機能を維持できること

部材の構造強度を確保すること

波及的影響を受けないこと

転倒評価

機能維持評価

構造強度評価

加振試験

加振試験

応力評価
(直接支持構造物及び
間接支持構造物)

「VI-2-11-2 波及的影響を
及ぼすおそれのある施設の
耐震性についての計算書」

図 3-2-1 評価体系図

3.3 評価方針

ガスタービン発電設備は、緊急用電気品建屋内に設置される事から、積雪荷重について考慮しない。

3.4 加振試験

3.4.1 加振試験結果

(1) 試験方法

ガスタービン発電設備を図 3-4-1 に示すように加振台に設置し、以下に示すランダム波による加振試験を行い、試験後に転倒していないこと、加振試験後に動的または電氣的機能が維持されること等を確認する。

- ・加振波 : 緊急用電気品建屋 1 階の床応答曲線を包絡するように設定したランダム波。加振試験に用いた加振波（加振台上での観測データ）の例を図 3-4-2 に示す。
- ・加振方向 : 水平（走行軸方向）* + 鉛直，水平（走行軸直角方向）* + 鉛直（2 軸同時加振）
*加振台の性能を考慮し，車両を斜めに配置させ水平（走行軸方向）は 2 方向に同位相の加振波を入力，水平（走行軸直角方向）は 2 方向のうち 1 方向に逆位相の加振波を入力することで，必要な加速度を得ている。
- ・計測内容 : 評価部位の頂部に加速度計を設置し，応力評価部位の評価に用いる加速度応答の最大値を計測した。
- ・固定装置 : ガスタービン発電設備については，固定装置を設置した状態で加振試験を実施した。

(2) 加速度測定結果

ガスタービン発電設備の加振台の床応答曲線が緊急用電気品建屋 1 階の床応答曲線を上回っていることを確認した。



図 3-4-1 試験構成

		時刻歴波形	床応答スペクトル
水平方向 (走行軸直角方向)	X方向		
水平方向 (走行軸方向)	Y方向		
鉛直方向 (走行軸方向)	Z方向		

図 3-4-2 加振試験に用いた加振波の時刻歴波形の例

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(3) 加速度の測定位置

発電機車の加速度の測定位置を図 3-4-3 に、制御車の加速度の測定位置を図 3-4-4 に示す。なお、加速度の測定は加振方向に合わせて 3 軸方向を測定した。

●：加速度の測定位置



図 3-4-3 発電機車の加速度の測定位置

●：加速度の測定位置



図 3-4-4 制御車の加速度の測定位置

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.5 機能維持評価

ガスタービン発電設備は、加振試験後の機能維持確認として、各設備の機能に応じた試験を実施し、機器が問題なく動作することを確認している。加振試験後の機能維持確認方法と結果を、表 3-5-1 および表 3-5-2 に示す。

また、加振台の最大加速度である機能確認済加速度と緊急用電気品建屋 1 階の床応答曲線の最大応答加速度である機能維持評価用加速度を比較し、機能確認済加速度が機能維持評価用加速度を上回っていることを確認している。機能確認済加速度と機能維持評価用加速度を表 3-5-2 に示す。

表 3-5-1 加振試験後の機能維持確認方法と結果

設備名称	確認事項
ガスタービン 発電設備	<ul style="list-style-type: none"> ・加振試験により、ガスタービン発電設備が転倒していないことを確認した。また、加振時に固定装置が作用していることから、固定装置も健全であることを確認した。 ・外観点検を行い、ガスタービン発電設備の必要な機能に影響する損傷、燃料漏えい等の異常がないことを確認した。 ・定格運転状態において、異常な振動、異音等の不具合が無いこと、発電機能が維持されていることを確認した。

表 3-5-2 加振試験後の定格運転時機能維持確認結果

項目	計測値	管理値
タービン入口温度 (°C)		
タービン出口温度 (°C)		
タービン振動 ($\mu\text{m p-p}$)		
発電機電圧 (V)		
発電機電流 (A)		

表 3-5-3 機能確認済加速度

(単位： $\times 9.8\text{m/s}^2$)

項目	機能確認済加速度	機能維持評価用加速度
水平方向	1.88	1.19
鉛直方向	1.14	0.65

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.6 保守性・不確実さのトータルバランスについて

3.6.1 保守性及び不確実さのトータルバランスの検討方針

ガスタービン発電設備の耐震設計及び評価の各段階に含まれる保守性及び不確実さ（非保守性を含む。以下、同様。）の全体的な釣り合い（以下「トータルバランス」という。）の検討は、以下の手順により実施する。

- (1) 保守性及び不確実さ要因の抽出
- (2) 保守性及び不確実さ要因のスクリーニング
- (3) 選定された各要因に関する保守性及び不確実さの分析
- (4) 各要因の保守性及び不確実さの定量化
- (5) 保守性・不確実さのトータルバランスの検討

(1) 保守性及び不確実さの要因の抽出

ガスタービン発電設備の耐震設計及び評価の各段階に含まれる保守性及び不確実さの要因となり得る項目を抽出する。

基準地震動 S_s による地震力に対するガスタービン発電設備の機能維持の評価は、「転倒評価」、「応力評価」及び「機能維持評価」の各段階に分けて実施されるが、これらの評価はガスタービン発電設備の加振試験結果を用いて実施される。

したがって、保守性・不確実さ要因の抽出にあたっては、ガスタービン発電設備の耐震設計及び評価を以下の各段階に分けて検討する。

- ① 加振試験
- ② 転倒評価
- ③ 応力評価
- ④ 機能維持評価

なお、①加振試験の検討対象範囲は、試験結果を出す段階までとし、これらの結果を用いた評価における評価手法そのものや評価条件の設定に含まれる保守性及び不確実さの要因はそれぞれ②～④の中で抽出する。

上記の各段階を基本的に以下の要素に分割し、要素毎に試験及び評価結果へ影響を与える可能性のある要因、即ち、保守性・不確実さ要因を抽出する。

- ・ 手法（試験方法，評価方法）
- ・ 入力条件（加振試験入力波，設計用地震力等）
- ・ 評価モデル（評価モデル，評価条件，試験条件等）

なお、各評価の特性を踏まえ、要素分類にあてはまらない評価要素があれば必要に応じて当該要素を追加する。

以上の設計・評価の段階及び要素に対する保守性及び不確実さ要因の抽出は、実機との差異、各種条件設定の根拠となるデータの不確実さ等に着目して実施する。

(2) 保守性及び不確実さ要因のスクリーニング

(1)項より抽出された保守性及び不確実さの要因，特に不確実さに関連する要因について，他の設備の耐震評価において J E A G 4 6 0 1 や工認（今回工認において妥当性確認済みの項目を含む）と同様の取り扱いを行っている場合は，当該要因が評価結果に与える不確実さは無いと考え，以降の検討の対象外とする。

(3) 選定された各要因に関する保守性及び不確実さの分析

(2)項までに抽出された保守性及び不確実さの各要因について，保守性及び不確実さのそれぞれの観点でガスタービン発電設備の耐震評価上及ぼす影響を分析する。

(4) 各要因の保守性及び不確実さの定量化

保守性及び不確実さの各要因について，その保守性や不確実さ・非保守性が定量化可能なものについて，その定量化を行う。

(5) 保守性・不確実さのトータルバランスの検討

「転倒評価」，「応力評価」及び「機能維持評価」の評価毎に，評価に関連する不確実さ要因を抽出し，不確実さ要因に対して，同じ要因が有する保守性や他の要因の保守性により，当該不確実さが包絡されることを確認する。

以上までの検討を基に，「転倒評価」，「応力評価」及び「機能維持評価」の評価毎に，評価全体として保守性が確保されていることを確認する。

3.6.2 検討結果

(1) 保守性及び不確実さ要因の抽出結果

保守性及び不確実さの要因の抽出結果を表 3-6-1 に示す。表 3-6-1 では、当該項目が保守性の要因と不確実さの要因のいずれに該当するかを併せて示している。

(2) 保守性及び不確実さ要因のスクリーニング結果

上記(1)項で抽出された保守性及び不確実さ要因について、工認や J E A G 4 6 0 1 での適用実績の有無を表 3-6-1 に併せて示す。

なお、「実績あり」(表中凡例“○”)の場合は下記(3)項以降の検討対象外とするが、その場合であっても、ガスタービン発電設備の耐震評価上において保守性や不確実さの観点で重要な場合や評価結果に影響が大きいと考えられる場合は検討対象として追加する。

(3) 選定された各要因に関する保守性及び不確実さの分析

(2)項までに抽出された保守性及び不確実さの要因に関し、その影響に対する定性的な検討を以下の要領で行った。検討結果を表 3-6-2 に示す。

- ・同じ保守性及び不確実さの要因であっても、その保守性や不確実さの影響は、耐震評価にて使用する応答値の項目(加速度・変位)毎に異なる。したがって、これらの項目毎に、保守性や不確実さが与える影響を定性的に分析した。
- ・車両型設備の耐震評価は、「転倒評価」、「応力評価」及び「機能維持評価」に分けられる。各評価において使用する応答値の項目が異なるため、各評価で使用する応答値を整理した。
- ・以上の整理を踏まえて、保守性及び不確実さに関する各要因が各応答値に与える保守性や不確実さの内容を整理した。
- ・また、当該要因が評価上与える相対的な影響度を定性的に検討し、「相対的に影響が大きい」、「相対的に影響が小さい」及び「影響は有意でない」の3種類に分類した。
- ・各保守性及び不確実さ要因について、その影響が定量化可能なものは定量化し、その結果を上記(3)項の影響度合い分類結果に反映した。

ここで、定量的あるいは定性的に評価結果に与える影響が概ね 10%を超えると判断される場合は「相対的に影響が大きい」に、影響が概ね 10%以下であると判断される場合は「相対的に影響が小さい」に分類する。また、影響が数%程度以下と判断される場合は「影響が有意でない」に分類した。「影響は有意でない」項目については、以降の検討の対象外とした。

(4) 保守性・不確実さのトータルバランスの検討

転倒評価，応力評価及び機能維持評価の評価毎に，表 3-6-2 の検討結果を以下の要領で整理することにより各評価が全体として保守的であることを確認した。

まず，表 3-6-2 から，不確実さの影響度が「相対的に影響が大きい」（凡例：【○】）及び「相対的に影響が小さい」（凡例：【△】）となっている要因を抽出する。

抽出した各要因を，その不確実さの内容と不確実さに対する対応から，「不確実さの残る要因」，「保守性の残る要因」及び「保守性と不確実さが同等である要因」に分類した。各分類の位置付けは以下のとおりである。

「不確実さの残る要因」：

当該要因の不確実さが，当該要因自身の保守性もしくは当該要因の不確実さに直接的に関連する他の要因が有する保守性により完全に包絡できないもの。

「保守性の残る要因」：

当該要因の保守性が，当該要因自身の不確実さもしくは直接的に関連する他の要因における不確実さを包絡し，その上で更に保守性が残存するもの。

「保守性と不確実さが同等である要因」：

当該要因の不確実さと，当該要因自身の保守性もしくは直接的に関連する他の要因における保守性がほぼ同等で相殺し合うもの。

なお，「不確実さの残る要因」は，さらに「保守性を有する直接的な対応のない不確実さ要因」と「定性的な確認のみの不確実さ」に分類する。前者は，保守性を有する直接的な対応がないため，不確実さの残存を否定できないものである。後者は，定性的な検討において，不確実さの程度，保守性の程度あるいはその両者が不明確であるために不確実さの残存を否定できないもの（影響が有意でないもの以外）である。

「保守性の残る要因」は，「未適用の保守性要因」と「保守性の残存する保守性要因」に分類する。前者は，当該要因に不確実さがなく，かつ，直接的に関連するほかの要因もないものである。後者は，当該要因自身の不確実さもしくは直接的に関連する他の要因における不確実さを包絡し，その上でさらに保守性が残存するものである。

「保守性と不確実さが同等である要因」は，「設計にて対応済みの要因」と「定性的に確認した要因」に分類する。前者は，当該要因の不確実さに対し設計上の対応で保守性が担保されるものである。後者は，当該要因の不確実さに対して特

段設計上の対応は行っていないが、当該要因の持つ特性から当該要因の不確実さに対する保守性が確認されるものである。

以上に基づく各評価に対する抽出・分析結果を表 3-6-3～表 3-6-5 に示す。

上記各分類のうち「不確実さの残る要因」と「保守性の残る要因」を総合的に分析することにより、各評価全体として保守性が確保されていることを確認した。確認結果を表 3-6-3～表 3-6-5 の「総合評価」欄に示す。

以上の検討の結果、車両型設備の耐震設計・評価全体として、各種不確実さを包絡する適切な保守性を有することを確認した。

表 3-6-1 保守性及び不確実さ要因の抽出結果

設計・評価段階	設計・評価要素	保守性及び不確実さを有する項目	設計・評価での取り扱いの概要	保守性の要因 (○：該当あり, —：該当なし)	不確実さの要因 (○：該当あり, —：該当なし)	J E A G ・先行プ ラント等での実績 の有無 (○：実績あり, ●：実績なし)	備 考
加振試験	試験方法	加振方向	水平1方向及び鉛直方向の2方向同時入力。	—	—	○	
		試験回数	当該設備の設置場所での設計用床応答曲線を、車両の固有振動数で包絡させた加振波で走行軸方向+鉛直、走行軸直角方向+鉛直の2回加振。	—	○	○	
	設計用地震力(入力地震動)	加振試験入力波	当該設備の設置場所での設計用床応答曲線を、車両の固有振動数で包絡させたランダム波を使用。	○	○	○	実績はあるが、保守性の観点で重要であるため除外しない。
	試験体及び諸元	試験体	実機と同一の車両型設備を使用。	—	—	○	
試験環境		実機設置エリアと同等の設置状態を模擬。	—	—	○		
転倒評価	荷重の組合せ及び許容限界	(該当なし)	(試験にて直接的に転倒の有無を確認するため、荷重の組合せ及び許容限界の観点で保守性・不確実さ等に該当する要素はない。)	—	—	—	
	評価方法	(該当なし)	(試験にて直接的に転倒の有無を確認するため、評価方法の観点で保守性・不確実さ等に該当する要素はない。)	—	—	—	
	設計用地震力	(該当なし)	(試験にて直接的に転倒の有無を確認するため、設計用地震力の観点で保守性・不確実さ等に該当する要素はない。)	—	—	—	
応力評価	荷重の組合せ及び許容限界	許容限界	J E A G 4 6 0 1 のその他の支持構造物の許容値を適用。	○	—	○	
	評価方法	ボルト応力評価法 (評価モデル)	J E A G 4 6 0 1 のポンプ等のボルト応力評価法を適用。	○	—	○	
	設計用地震力	設置床での応答加速度	加振試験で得られた評価部位頂部での応答を設置床での応答としている。	○	—	○	実績はあるが、保守性の観点で重要であるため除外しない。
		設計用加速度	設置床での応答加速度(評価部位頂部の応答加速度)を設計用加速度としている。	—	—	○	
		FRS 拡幅	加振試験入力波作成の際に、拡幅を考慮した FRS を用いている。	○	—	○	
	誘発上下動	ローリング・ロッキング挙動により車両端部で鉛直方向へ応答が発生し得るが、評価では各評価部位頂部での応答加速度を使用。	—	○	○	実績はあるが、不確実さの観点で重要であるため除外しない。	
機能維持	荷重の組合せ及び許容限界	(該当なし)	(加振試験にて加振後に機能が維持されていることを直接的に確認するため、荷重の組合せ及び許容限界の観点で保守性・不確実さに該当する要素はない。)	—	—	—	
	評価方法	(該当なし)	(加振試験にて加振後に機能が維持されていることを直接的に確認するため、評価方法の観点で保守性・不確実さに該当する要素はない。)	—	—	—	
	設計用地震力	(該当なし)	(上記「加振試験」での該当項目と同様であり、機能維持評価として新規に該当する項目はない。)	—	—	—	

表 3-6-2 保守性及び不確かさ要因の分析及び影響が有意でない不確かさのスクリーニング

設計・評価段階	設計・評価要素	保守性及び不確かさ要因	影響項目	評価との対応			保守性 【凡例】【○】：相対的に影響度大 【△】：相対的に影響度小 【—】：影響が有意でない	不確かさ 【凡例】【○】：相対的に影響度大 【△】：相対的に影響度小 【—】：影響が有意でない	影響が有意でない理由
				転倒評価 (○：該当あり, —：該当なし)	応力評価 (○：該当あり, —：該当なし)	機能維持評価 (○：該当あり, —：該当なし)			
加振試験	設計用地震力 (入力地震動)	a. 加振試験入力波	加速度	○	○	○	試験入力波は設計用床応答曲線を上回るよう設定したものであり、地震により設備が受ける加速度よりも保守的な値（設備の固有振動数により異なるが、 倍程度）となる。 【○】	—	—
転倒評価	(該当なし)	—	—	—	—	—	—	—	—
応力評価	設計用地震力	b. 設置床での応答 加速度	加速度	—	○	—	試験で得られた評価部位頂部での応答加速度を、評価上は、より低い位置である設備設置床での応答と仮定することによる保守性がある。【△】	—	—
		c. 誘発上下動	加速度	—	○	○	—	水平方向の地震に伴い発生するローリングやロッキング挙動により、重心位置から離れた箇所では、誘発上下動が発生し、鉛直応答が増加する可能性がある。【—】	応力評価においては、各評価部位で計測した加速度を用いて応力評価を実施していることから、影響は有意ではない。
機能維持	(該当なし)	—	—	—	—	—	—	—	—

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 3-6-3 転倒評価に関連する不確かさ要因

		不確かさ要因*1	不確かさ	不確かさに対する対応（保守性）*2	備考
不確かさの残る要因	保守性を有する直接的な対応のない不確かさ要因	(該当なし)	—	—	
	定性的な確認のみの不確かさ要因	(該当なし)	—	—	
保守性の残る要因	未適用の保守性要因	a. 加振試験入力波	—	試験入力波は設計用床応答曲線を上回るよう設定したものであり、地震により設備が受ける加速度よりも保守的な値（設備の固有振動数により異なるが、 倍程度）となる。【○】	
	保守性の残存する保守性要因	(該当なし)	—	—	
保守性と不確かさが同等である要因	設計にて対応済みの要因	(該当なし)	—	—	
	定性的に確認した要因	(該当なし)	—	—	
【総合評価】		転倒評価は、評価に用いる地震力（入力加速度）として実機の加振試験結果を直接用いているため有意な不確かさはない。一方、加振試験の入力地震動には保守性を有する。以上より、転倒評価について、評価全体として保守性が確保されている。			

注記*1：先頭の記号及び要因名称は、表 3-6-2 における「保守性及び不確かさ要因」欄の記号及び要因名称と同じものを用いている。

*2：【 】内の記号は、表 3-6-2 の「保守性」、「不確かさ」欄の記号を表している。

表 3-6-4 応力評価に関連する不確かさ要因

		不確かさ要因*1	不確かさ	不確かさに対する対応（保守性）*2	備考
不確かさの残る要因	保守性を有する直接的な対応のない不確かさ要因	(該当なし)	—	—	
		c. 誘発上下動	—	—	
	定性的な確認のみの不確かさ要因	(該当なし)	—	—	
保守性の残る要因	未適用の保守性要因	a. 加振試験入力波	—	試験入力波は設計用床応答曲線を上回るよう設定したものであり、地震により設備が受ける加速度よりも保守的な値（設備の固有振動数により異なるが、 倍程度）となる。【○】	
		b. 設置床での応答加速度	—	試験で得られた評価部位頂部の応答加速度を、評価上はより低い位置である設備設置床での応答と仮定することによる保守性がある【△】	
	保守性の残存する保守性要因	(該当なし)	—	—	
保守性と不確かさが同等である要因	設計にて対応済みの要因	(該当なし)	—	—	
	定性的に確認した要因	(該当なし)	—	—	
【総合評価】		応力評価は、評価に用いる地震力（入力加速度）として評価部位頂部の応答加速度を用いているため有意な不確かさはない。 一方、未適用の保守性要因として「加振試験入力波」及び「設置床での応答加速度」がある。 以上より、加振試験結果に基づく応力評価について、評価全体として保守性が確保されている。			

注記*1：先頭の記号及び要因名称は、表 3-6-2 における「保守性及び不確かさ要因」欄の記号及び要因名称と同じものを用いている。

*2：【 】内の記号は、表 3-6-2 の「保守性」、「不確かさ」欄の記号を表している。

表 3-6-5 機能維持評価に関連する不確かさ要因

		不確かさ要因*1	不確かさ	不確かさに対する対応（保守性）*2	備考
不確かさの残る要因	保守性を有する直接的な対応のない不確かさ要因	(該当なし)	—	—	
	定性的な確認のみの不確かさ要因	(該当なし)	—	—	
保守性の残る要因	未適用の保守性要因	a. 加振試験入力波	—	試験入力波（機能確認済加速度）は設計用床応答曲線を上回るよう設定したものであり、地震により設備が受ける加速度よりも保守的な値（設備の固有振動数により異なるが、 倍程度）となる。【○】	
	保守性の残存する保守性要因	(該当なし)	—	—	
保守性と不確かさが同等である要因	設計にて対応済みの要因	(該当なし)	—	—	
	定性的に確認した要因	(該当なし)	—	—	
【総合評価】		機能維持評価は、評価に用いる地震力（入力加速度）として実機の加振試験での計測値を直接用いているため有意な不確かさはない。一方、加振試験の入力地震動には保守性を有する。以上より、機能維持評価について、評価全体として保守性が確保されている。			

注記*1：先頭の記号及び要因名称は、表 3-6-2 における「保守性及び不確かさ要因」欄の記号及び要因名称と同じものを用いている。

*2：【 】内の記号は、表 3-6-2 の「保守性」、「不確かさ」欄の記号を表している。

固定装置の部材の健全性について

1. 概要

固定装置の耐震評価については、固定装置を設置した状態で加振試験を実施することにより、健全性が確保できることを確認していることから、評価方法とその結果について示す。

2. 加振試験による固定装置の評価

2.1 タイヤ止め架台の評価

タイヤ止め架台が前後、左右方向変位の抑制に寄与し、異常がないことを確認した。

(評価方法)

- ①車両の前後変位、左右変位及び上下変位が抑制されていることを確認した。
- ②加振試験後の点検において異常がないことを確認した。



図 2-1 タイヤ止め架台概要図

2.2 スリングの評価

スリングが上下方向変位の抑制に寄与し、異常がないことを確認した。

(評価方法)

- ①車両の上下変位が抑制されていることを確認した。
- ②加振試験後の点検において異常がないことを確認した。



図 2-2 スリング概要図

3. 加振試験における固定装置基礎ボルトの評価

固定装置の基礎ボルトについては、タイヤを固定するタイヤ止め架台を緊急用電気品建屋1階に固定するために設置されており、耐震評価上重要な支持構造物であるため、間接支持構造物として評価を行う。

3.1 評価方針

固定装置基礎ボルトの応力評価は、添付書類「VI-2-1-13-4 横軸ポンプの耐震計算についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき、加振試験で得られた設計用加速度を用い評価を行う。

3.2 設計用加速度

構造強度評価に用いる入力加速度は、発電機車固定装置基礎ボルトにおいては、発電機頂部*の設計用加速度を、制御車固定装置基礎ボルトにおいては、蓄電池架台頂部*の設計用加速度を用いる。設計用加速度を表3-1に示す。

*車両の重心に近い位置および重心より高い位置を選定

表 3-1 設計用加速度（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	基準地震動 S s			
	発電機車固定装置		制御車固定装置	
	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
緊急用 電気品建屋 O.P. 62.90* ¹	$a_H = 17.46^{*2}$	$a_V = 14.12^{*2}$	$a_H = 14.71^{*3}$	$a_V = 11.57^{*3}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：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。

*3：加振試験で得られた蓄電池架台頂部における最大応答加速度。

3.3 計算方法

3.3.1 基礎ボルトの応力

固定装置基礎ボルトの応力は、地震による震度によって生じる引張力とせん断力について計算する。

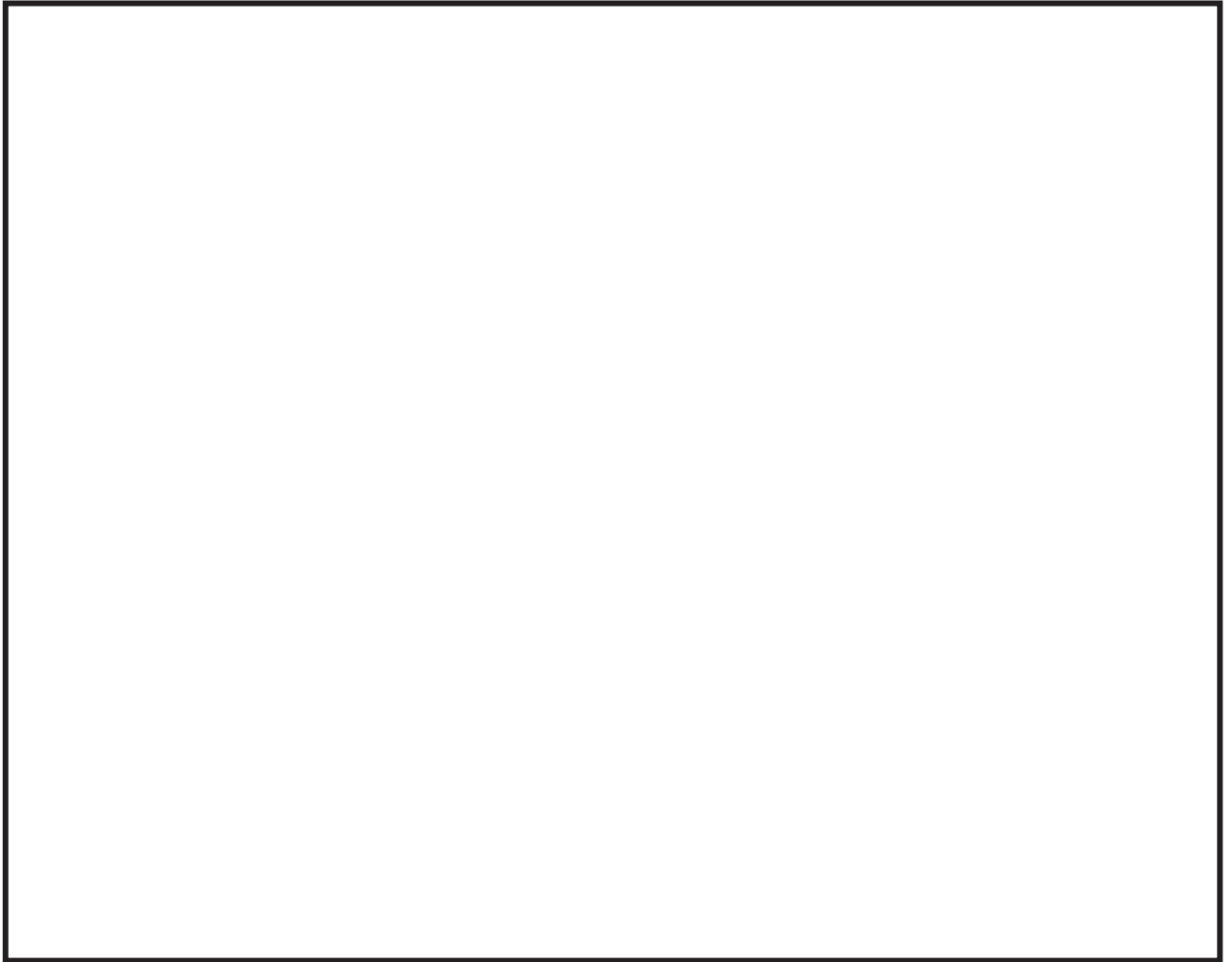


図 3-1 計算モデル（発電機車走行軸直角方向転倒）

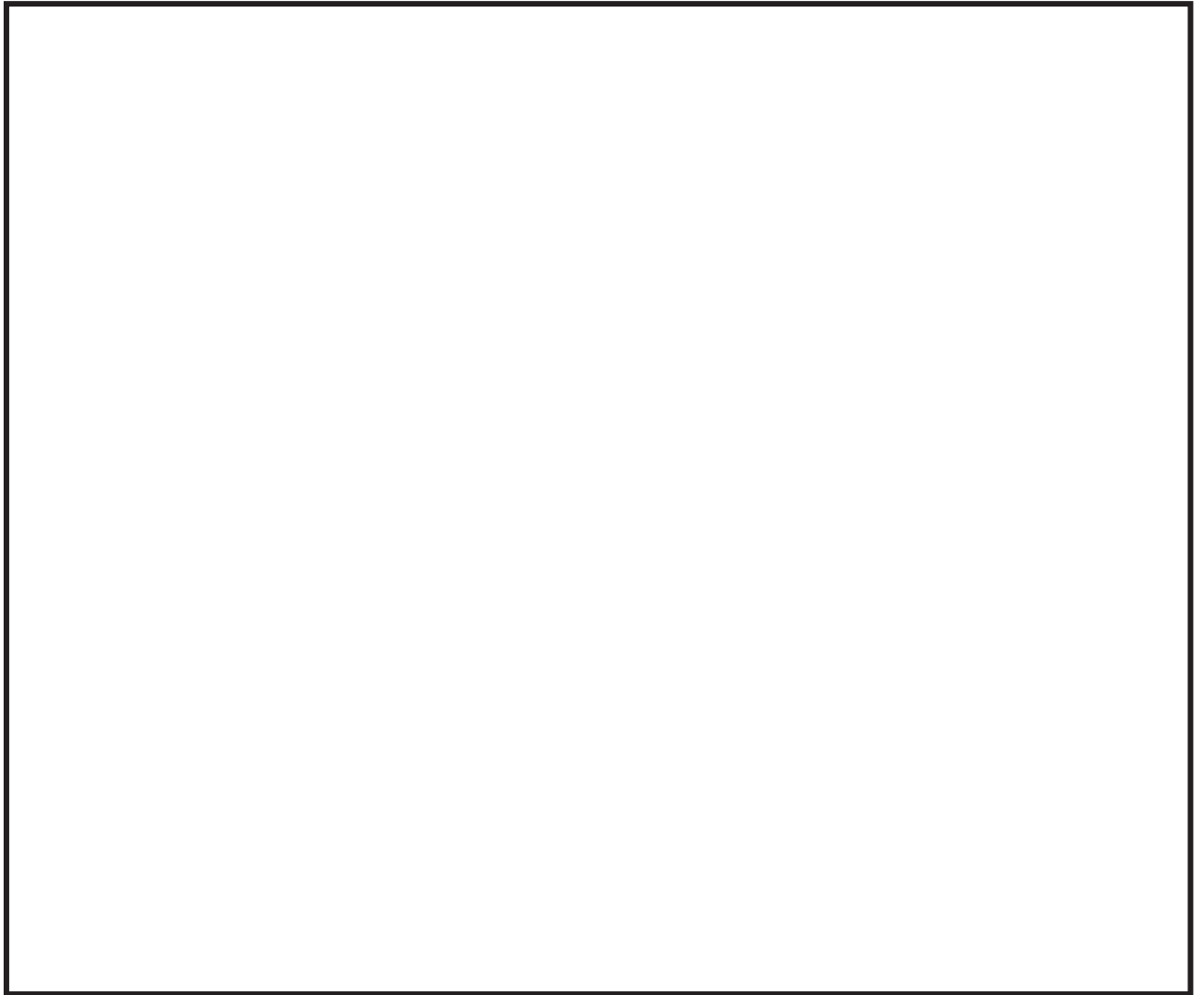


図 3-2 計算モデル（発電機車走行軸方向転倒）

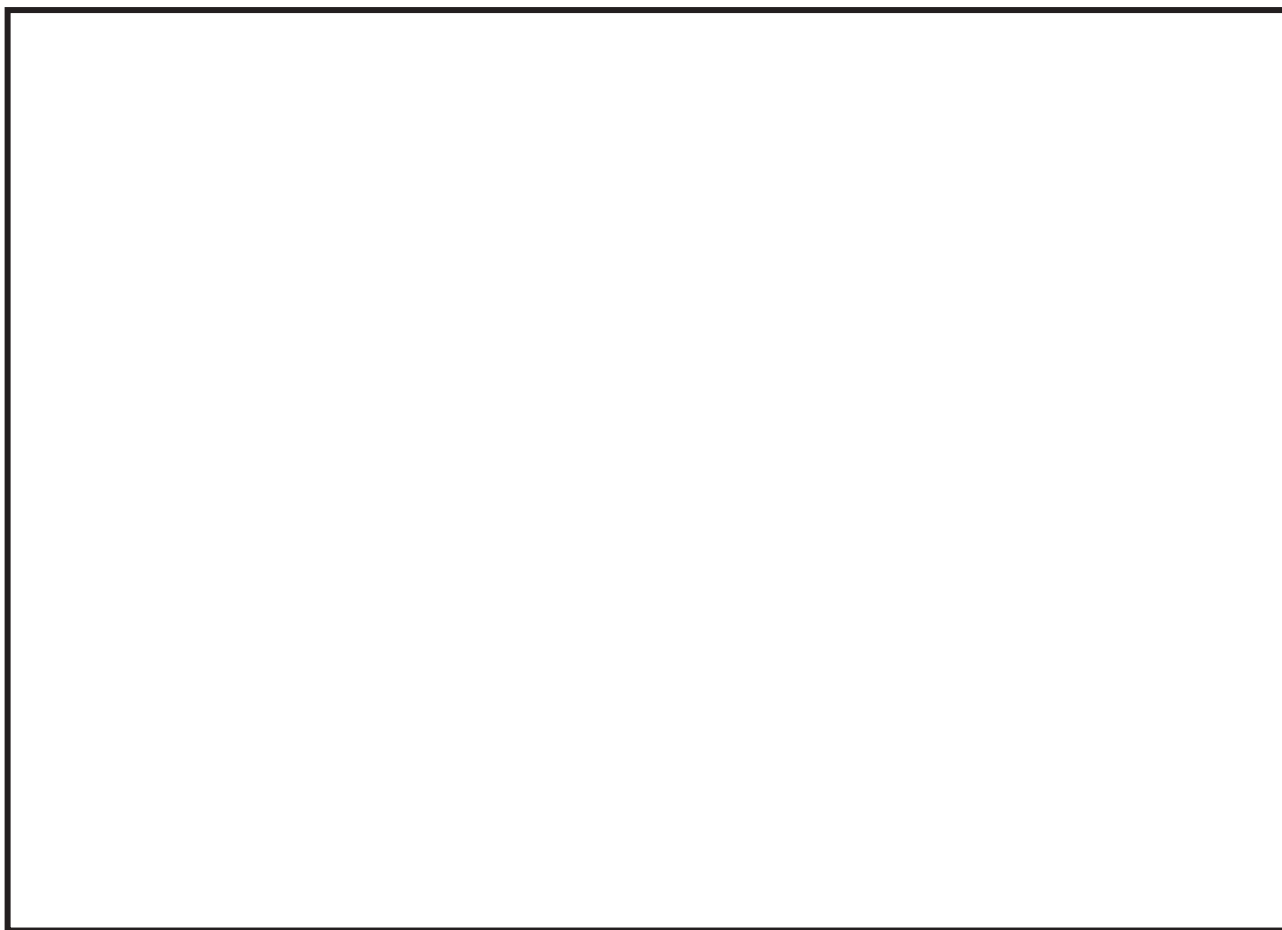


図 3-3 計算モデル（制御車走行軸直角方向転倒）

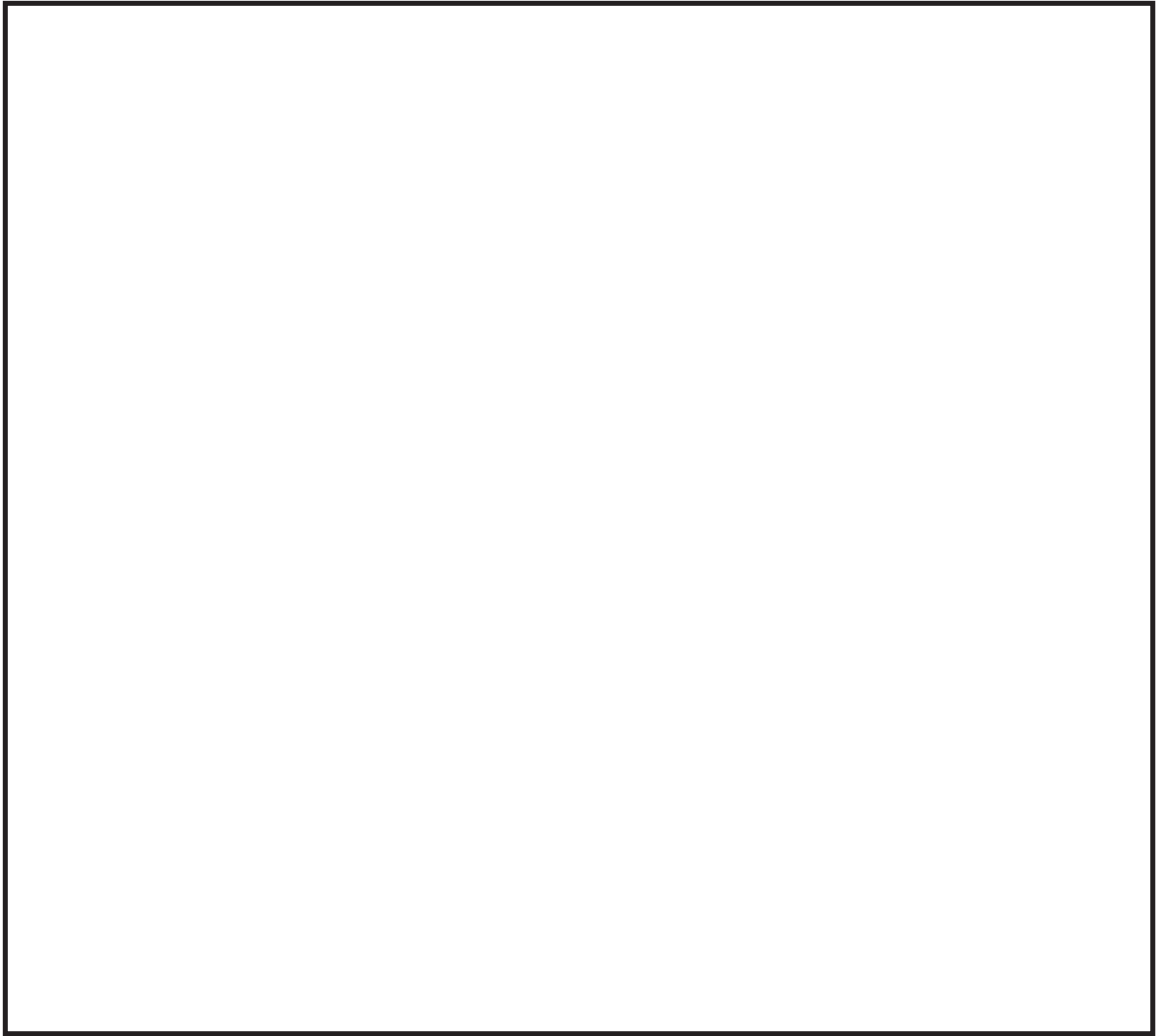


図 3-4 計算モデル（制御車走行軸方向転倒）

3.4 評価結果

固定装置基礎ボルト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。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有している事を確認した。

3.4.1 構造強度の評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【ガスタービン発電設備 固定装置の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

1.1.1 固定装置 (発電機車)

機器名称	設備分類	据付場所及び 床面高さ (m)	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s (m/s ²)		回転体振動に よる加速度 (m/s ²)	回転体回転により 働くモーメント (N・mm)	周囲 環境温度 (°C)
			水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計用加速度	鉛直方向 設計用加速度			
固定装置 (発電機車)	常設耐震/防止 常設/緩和	緊急用電気品建屋 0. P. 62. 90*	—	—	a _H =17.46	a _V =14.12	—	—	50

注記*：基準床レベルを示す。

1.1.2 固定装置 (制御車)

機器名称	設備分類	据付場所及び 床面高さ (m)	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s (m/s ²)		回転体振動に よる加速度 (m/s ²)	回転体回転により 働くモーメント (N・mm)	周囲 環境温度 (°C)
			水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計用加速度	鉛直方向 設計用加速度			
固定装置 (制御車)	常設耐震/防止 常設/緩和	緊急用電気品建屋 0. P. 62. 90*	—	—	a _H =14.71	a _V =11.57	—	—	50

注記*：基準床レベルを示す。

1.2.1 固定装置 (発電機)

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
基礎ボルト ($i=1$)							

部材	ℓ_{1i}^* (mm)	ℓ_{2i}^* (mm)	n_{fi}^* (mm)	F_i^* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用 地震動S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
基礎ボルト ($i=1$)					—	走行軸方向

注記* : 各ボルトの機器要目における上段は走行軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は走行軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.2.2 固定装置 (制御車)

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
基礎ボルト ($i=1$)							

部材	ℓ_{1i}^* (mm)	ℓ_{2i}^* (mm)	n_{fi}^* (mm)	F_{i}^* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用 地震動S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
基礎ボルト ($i=1$)					—	走行軸方向

注記* : 各ボルトの機器要目における上段は走行軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は走行軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(1) 固定装置 (発電機車)

(単位 : N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト ($i=1$)	—	7.883×10^4	—	4.740×10^5

(2) 固定装置 (制御車)

(単位 : N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト ($i=2$)	—	3.278×10^4	—	2.449×10^5

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
固定装置（発電機車） 基礎ボルト （i=1）	[]	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=78$	[]
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=18$	
固定装置（制御車） 基礎ボルト （i=2）	[]	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=33$	
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=15$	

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$
 すべて許容応力以下である。

加振試験における設計用 FRS に対する加振波の FRS の裕度について

1. 概要

「3.6 保守性・不確実さのトータルバランスについて」において、「試験入力波は設計用床応答曲線を上回るように設定したものであり、地震により設備が受ける加速度よりも保守的な値（設備の固有振動数により異なるが、 倍程度）となる。」と記載している。ここでは、当該記載の根拠として、車両型設備の固有振動数において加振波の FRS の加速度を設計用 FRS の加速度で除した際の裕度について整理する。

2. 裕度の整理結果

各固有振動数に対する設計用 FRS に対する加振波の FRS の裕度を示す。また、グラフ中に最も裕度が小さい箇所について裕度を記載する。

X方向 (走行軸直角方向)			固有振動数(Hz)	裕度
		発電機車		
		制御車		
		発電機車		
制御車				
Y方向 (走行軸方向)			固有振動数(Hz)	裕度
		発電機車		
		制御車		
		発電機車		
制御車				
Z方向 (鉛直方向)		固有振動数(Hz)	裕度	
	発電機車			
	制御車			
	発電機車			
制御車				