

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-19-0600-28_改0
提出年月日	2021年7月19日

補足-600-28 原子炉建屋クレーンの耐震性についての計算書に関する
補足説明資料

1. はじめに

原子炉建屋クレーン（Bクラス施設）は、下部に設置された上位クラス施設である使用済燃料プール、使用済燃料貯蔵ラック等に対して、波及的影響を及ぼさないことを確認する必要があるため、添付書類「VI-2-11-2-8 原子炉建屋クレーンの耐震性についての計算書」において耐震評価結果を示している。

本書は、添付書類「VI-2-11-2-8 原子炉建屋クレーンの耐震性についての計算書」に関する補足説明資料の位置づけであり、時刻歴解析における材料物性の不確かさ等に関する検討、原子炉建屋クレーンガーダ鉄骨の基準地震動 S_s による地震力に対する検討等についてまとめたものである。

- 添付1 原子炉建屋クレーンの耐震帆床の基本方針
- 添付2 時刻歴解析における材料物性の不確かさ等に関する検討
- 添付3 ワイヤロープの長さや吊荷の速度変化及び衝撃荷重との関係
- 添付4 原子炉建屋クレーンの地震時におけるすべり量
- 添付5 走行レール及び車輪つばの耐震評価結果
- 添付6 主巻ワイヤのブレーキ制動力
- 添付7 側面の接触による摩擦力の影響について

添付8 原子炉建屋クレーンガーダ鉄骨の基準地震動 S_s による地震力に対する検討

 本日の説明範囲

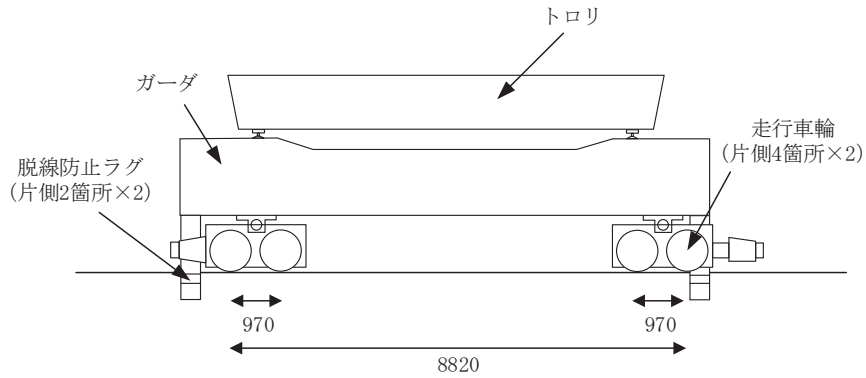
原子炉建屋クレーンガーダ鉄骨の基準地震動 S_s による地震力に対する検討

1. 検討概要

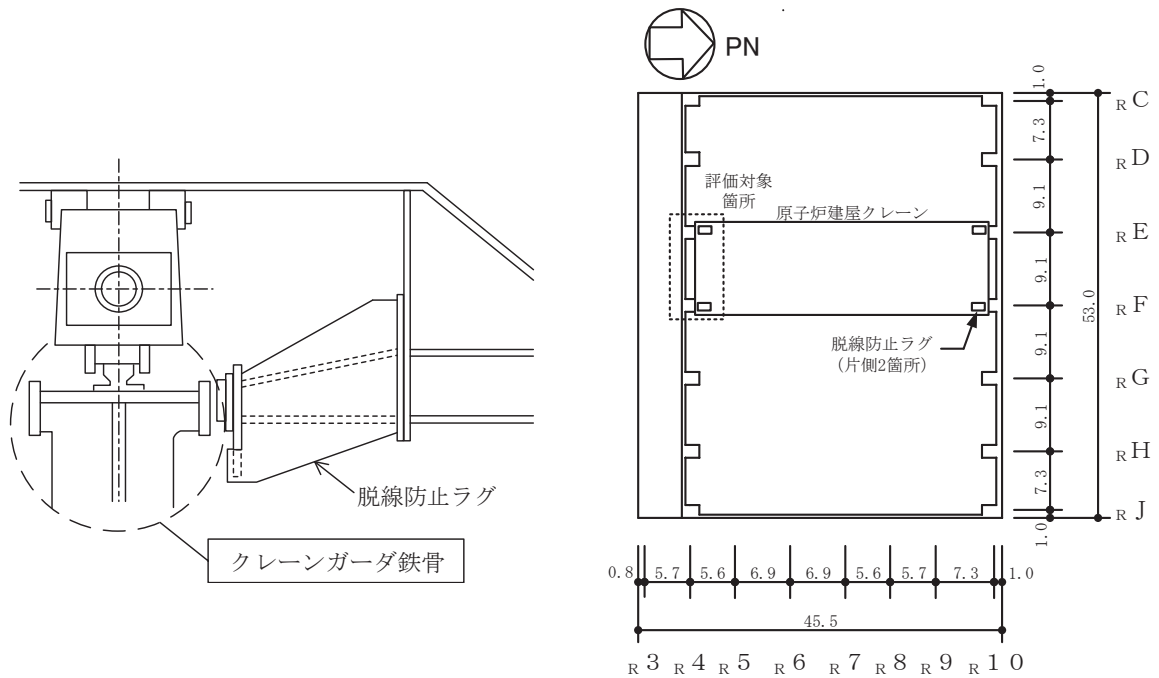
原子炉建屋クレーンは、下部に設置された上位クラス施設である使用済燃料プール、使用済燃料貯蔵ラック等に対して、波及的影響を及ぼさないことを確認する必要がある。ここでは、原子炉建屋クレーンを支持するクレーンガーダ鉄骨が基準地震動 S_s による地震荷重に対して破断しないことを確認する。原子炉建屋クレーンの概要図を図 8-1、クレーンガーダ鉄骨の平断面及び断面図を図 8-2 に示す。

クレーンガーダ鉄骨の評価箇所は、支持スパンが最も長い R_E-R_F 間の R_4 通り側とする。

評価においては、3次元 FEM モデルによる静的弾塑性応力解析を行い、クレーンガーダ鉄骨を構成する鋼材に生じるひずみが、鋼材の破断ひずみを超えないことを確認する。



(a) 原子炉建屋クレーン概要図

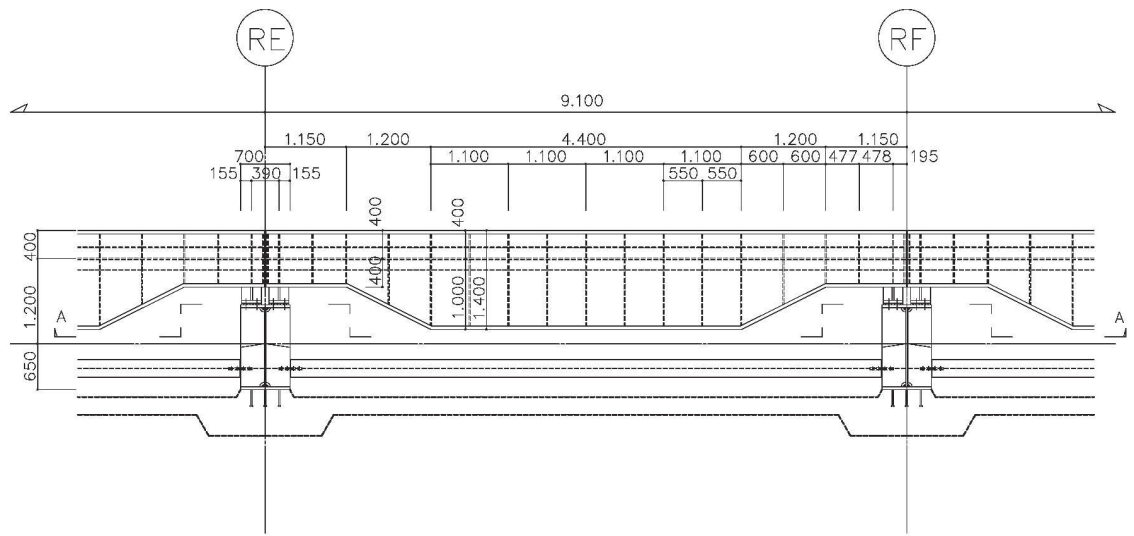


(b) クレーンガーダ断面図

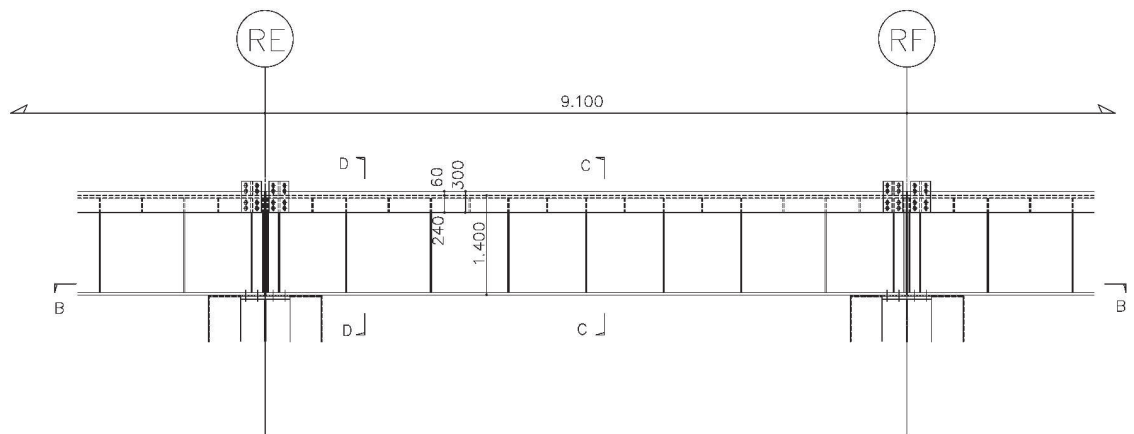
(c) クレーン配置平面図

(単位 : m)

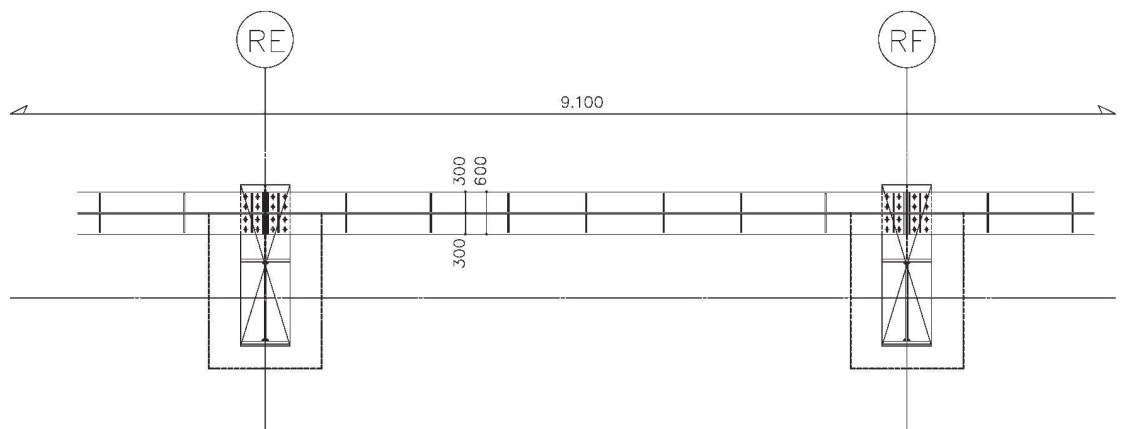
図 8-1 原子炉建屋クレーン概要図



(a) 平面図

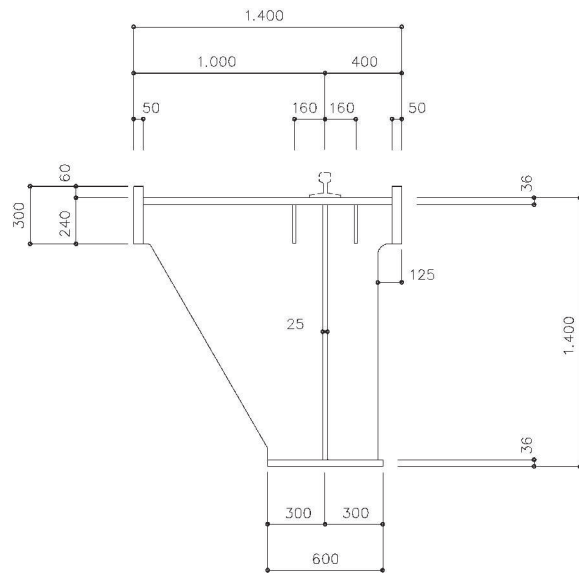


(b) A-A 断面図

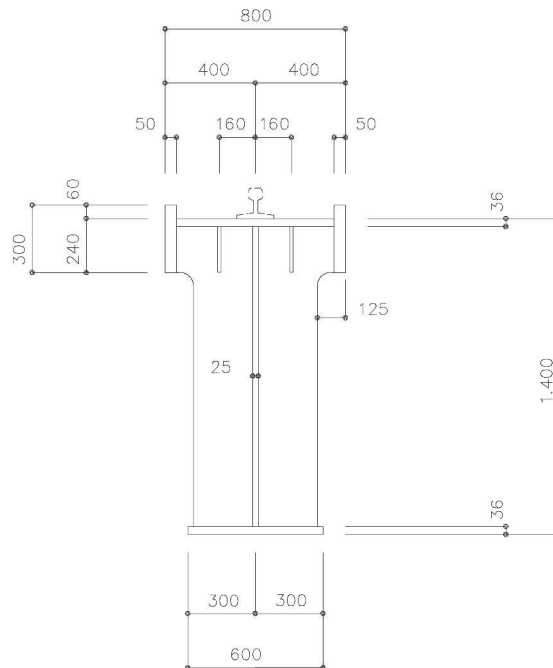


(c) B-B 断面図

図 8-2(1) クレーンガーダ鉄骨の平面図及び断面図 (1/2)



(d) C-C 断面図



(e) D-D 断面図

図 8-2(2) クレーンガーダ鉄骨の平面図及び断面図 (2/2)

2. 使用材料

クレーンガーダ鉄骨の鋼材の基準強度 F 及び材料強度を表 8-1 に示す。鋼材の材料強度は、「2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）」に基づき、基準強度 F の 1.1 倍とする。

表 8-1 使用鋼材の基準強度及び材料強度

材料		厚さ (mm)	基準強度 F (N/mm ²)	材料強度* (N/mm ²)
構造用鋼材	SM490A	40 以下	325	357
		40 を超え 100 以下	295	324

注記*：基準強度 F の 1.1 倍とする。

3. 荷重

3.1 固定荷重

固定荷重としてクレーンガーダ鉄骨自体の自重を考慮する。

3.2 地震荷重

クレーンガーダ鉄骨に作用する地震荷重は、基準地震動 S_s による地震応答解析結果「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」に基づき、材料物性の不確かさを考慮した水平震度及び鉛直震度より設定する。クレーンガーダ鉄骨に作用する水平震度及び鉛直震度を表 8-2 に示す。

表 8-2 クレーンガーダ鉄骨に作用する水平震度及び鉛直震度

水平震度 (-)	鉛直震度 (-)
2.9	1.6

3.3 原子炉建屋クレーンによる荷重

クレーンガーダ鉄骨には、原子炉建屋クレーンにより、脱線防止ラグを介して水平荷重が、走行車輪を介して鉛直荷重が伝達される。原子炉建屋クレーンによる荷重の概念図を図 8-3、荷重値を表 8-3 に示す。原子炉建屋クレーンによる荷重には、基準地震動 S_s により作用する荷重及び自重が含まれる。

荷重の作用位置は、原子炉建屋クレーンの位置に応じて 6 通りを考慮する。荷重ケースを表 8-4、荷重ケース毎の原子炉建屋クレーンの位置と作用荷重の概念図を図 8-4 に示す。

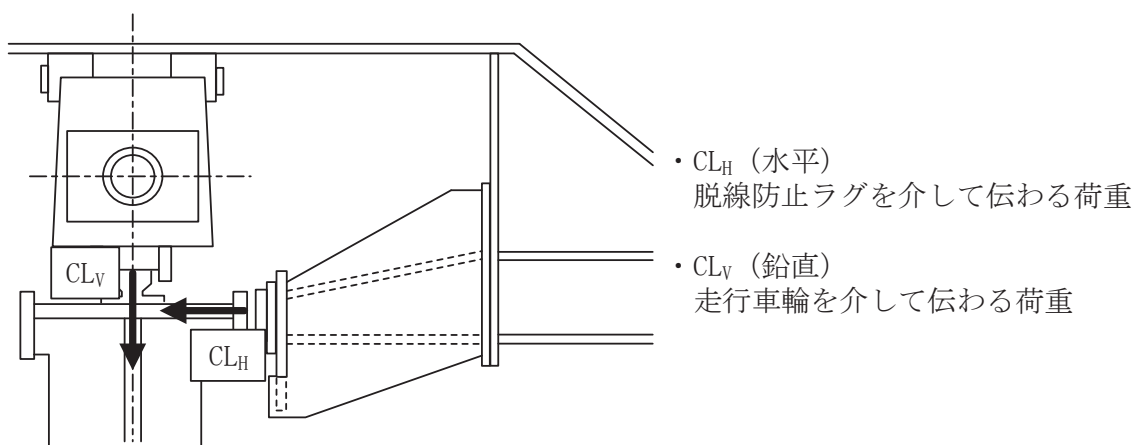


図 8-3 原子炉建屋クレーンによる荷重の概念図

表 8-3 原子炉建屋クレーンによる荷重値

方向	荷重値 (kN)
水平 (CL _H) *1	5602
鉛直 (CL _V) *2	5563

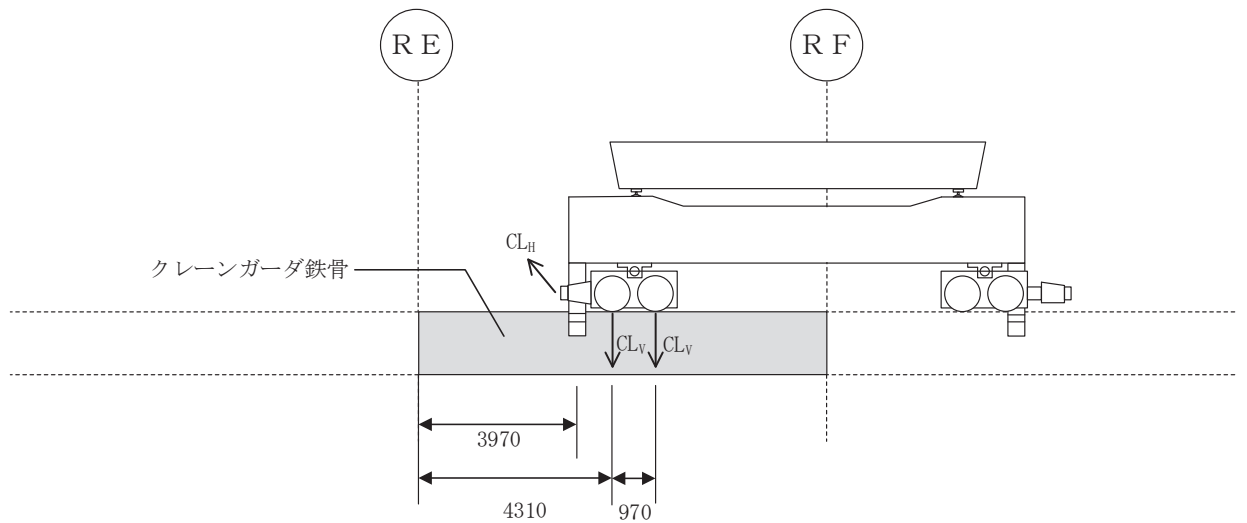
注記*1：脱線防止ラグ1箇所当たりの荷重。

*2：原子炉建屋クレーンの自重を含む一隅（走行車輪2輪）当たりの荷重。

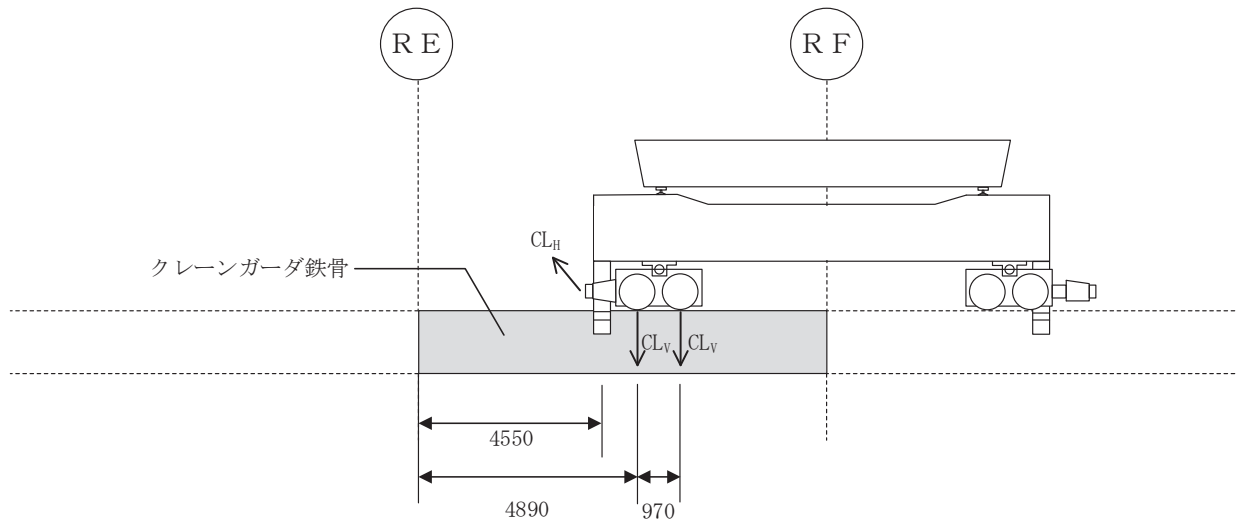
表 8-4 原子炉建屋クレーンの位置に応じた荷重ケース

荷重ケース	内容	車輪位置* (m)
1	鉛直曲げモーメント最大（中央部）	4.31
2	水平曲げモーメント最大（中央部）	4.55
3	鉛直せん断力最大（端部）	0.00
4	鉛直曲げモーメント最大（端部）	1.15
5	水平曲げモーメント最大（端部）	1.49
6	水平せん断力最大（端部）	0.34

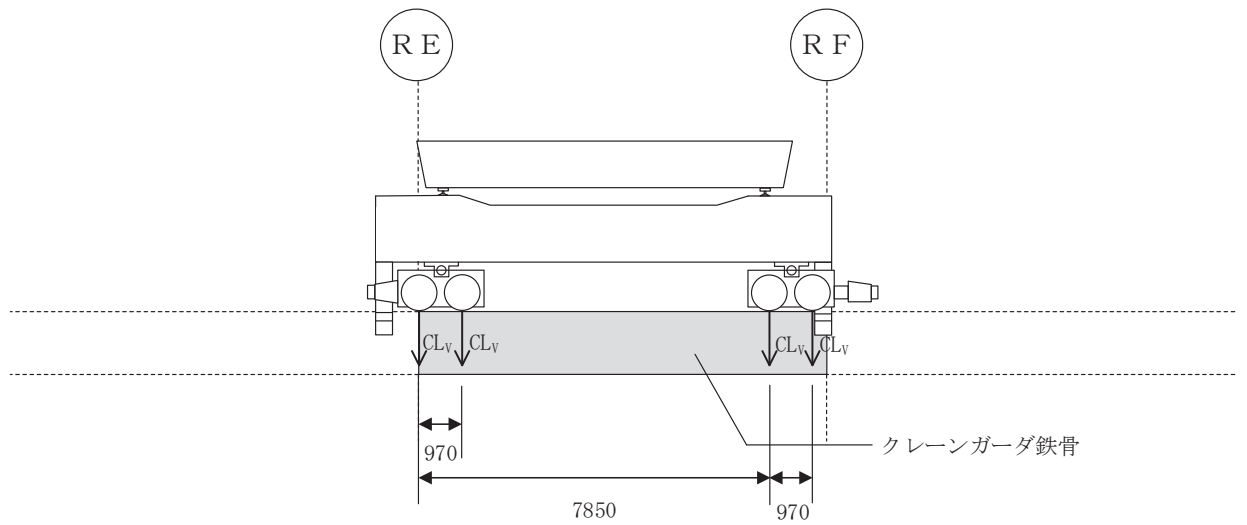
注記*：_RE通りと_RE通りから最も近い車輪までの間の距離



(a) 荷重ケース 1 鉛直曲げモーメント最大 (中央部)

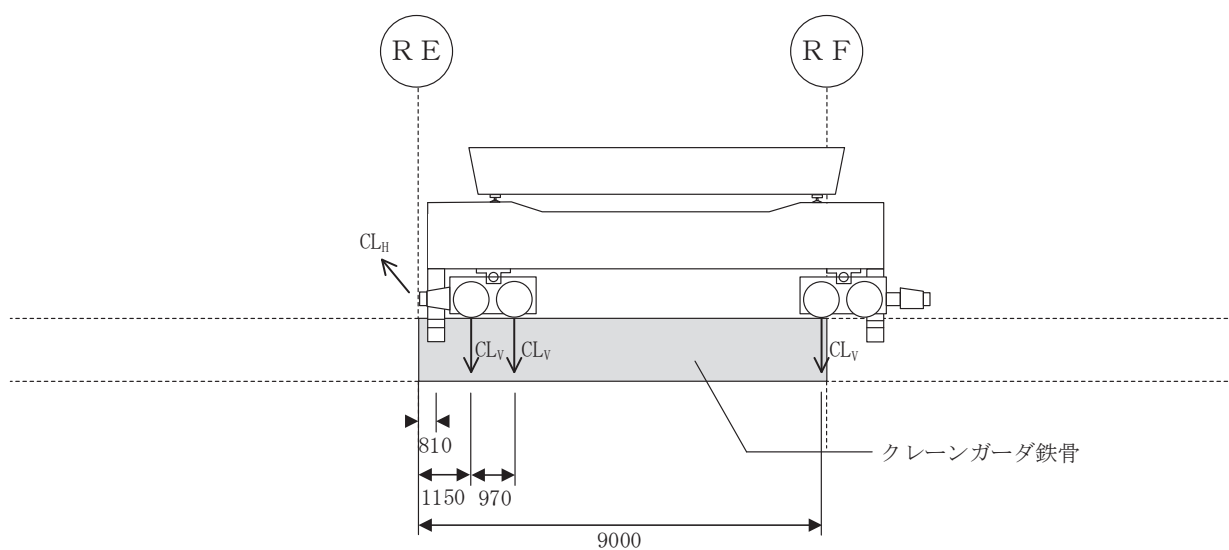


(b) 荷重ケース 2 水平曲げモーメント最大 (中央部)

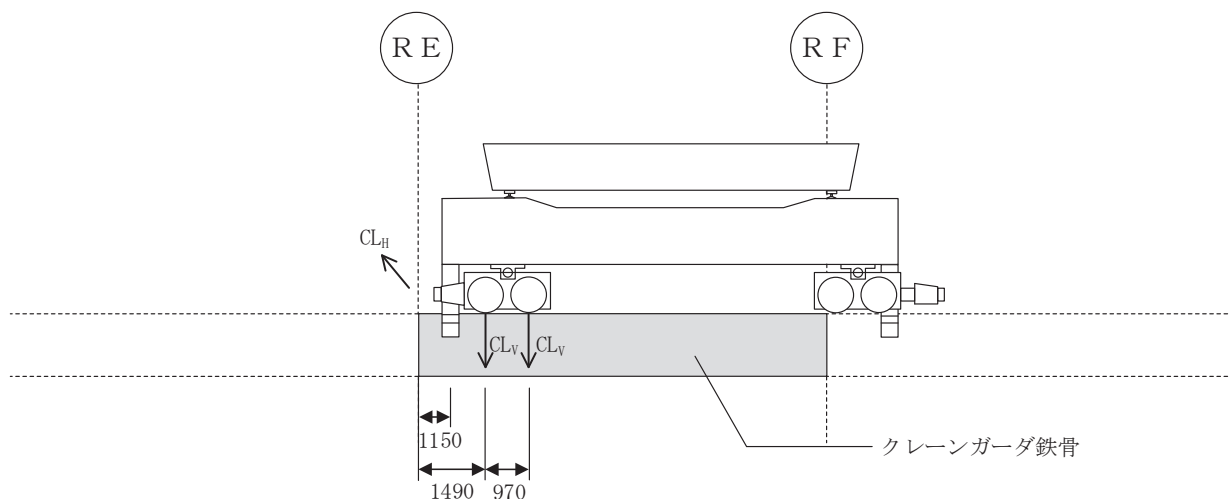


(c) 荷重ケース 3 鉛直せん断力最大 (端部)

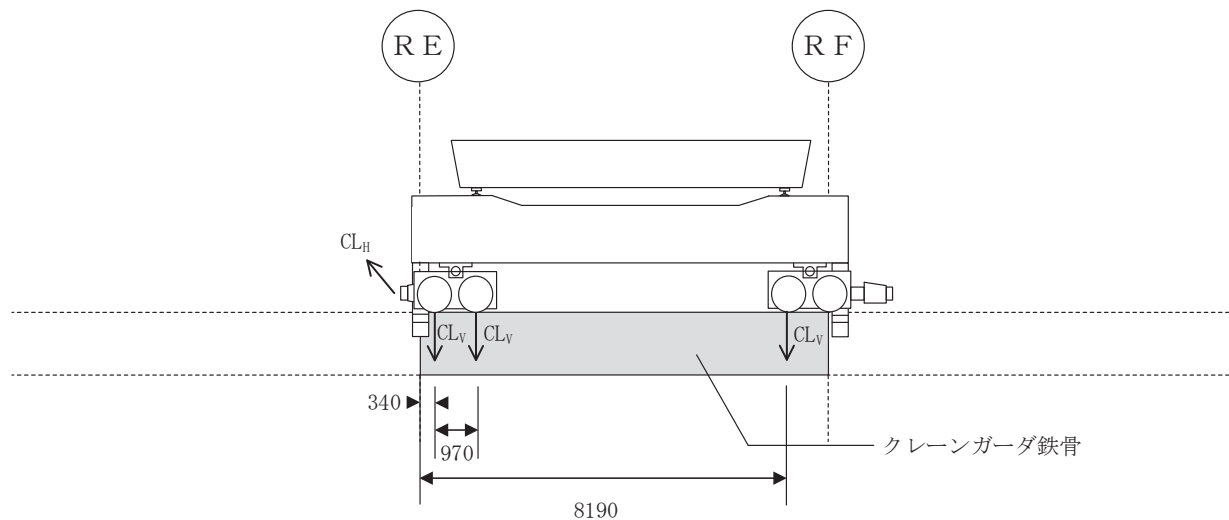
図 8-4(1) 原子炉建屋クレーンの位置と作用荷重の概念図 (1/2)



(d) 荷重ケース 4 鉛直曲げモーメント最大 (端部)



(e) 荷重ケース 5 水平曲げモーメント最大 (端部)



(f) 荷重ケース 6 水平せん断力最大 (端部)

図 8-4(2) 原子炉建屋クレーンの位置と作用荷重の概念図 (2/2)

3.4 地震荷重の組合せ

地震荷重における水平動と鉛直動の組合せは、「原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -2015）」に基づき、次式の組合せ係数法を用いる。

- $1.0 \times \text{水平方向} + 0.4 \times \text{鉛直方向}$
- $0.4 \times \text{水平方向} + 1.0 \times \text{鉛直方向}$

4. 応力解析

4.1 解析モデル

クレーンガーダ鉄骨の解析は、解析コード「ABAQUS」による3次元FEMの静的弾塑性解析とする。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要は、添付書類「VI-5-51 計算機プログラム（解析コード）の概要・ABAQUS」に示す。

クレーンガーダ鉄骨の鋼材はシェル要素にてモデル化する。解析モデル図を図8-5に示す。

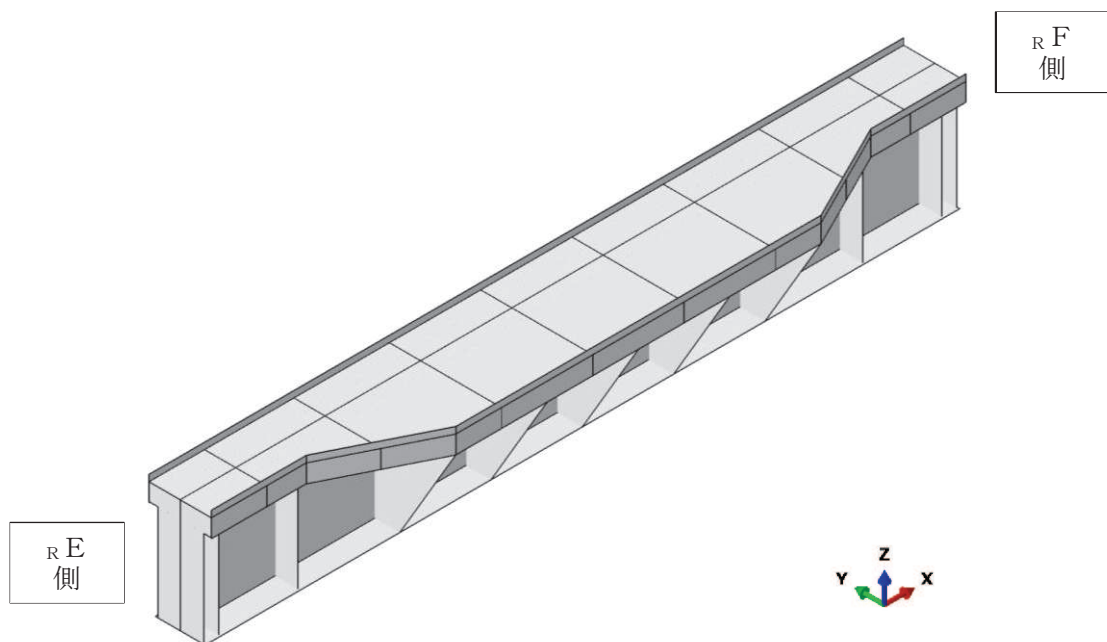


図8-5 解析モデル図

4.2 境界条件

解析モデルの境界条件を表 8-5 及び図 8-6 に示す。

表 8-5 境界条件の設定

位置		境界条件*
上フランジ 柱側面	R E 通り側	Y 並進方向拘束
	R F 通り側	Y 並進方向拘束
下フランジ	R E 通り側	Y, Z 並進方向拘束
	R F 通り側	X, Y, Z 並進方向拘束

注記* : X 方向 : クレーンガーダ軸方向、Y 方向 : クレーンガーダ軸直交水平方向
Z 方向 : 鉛直方向

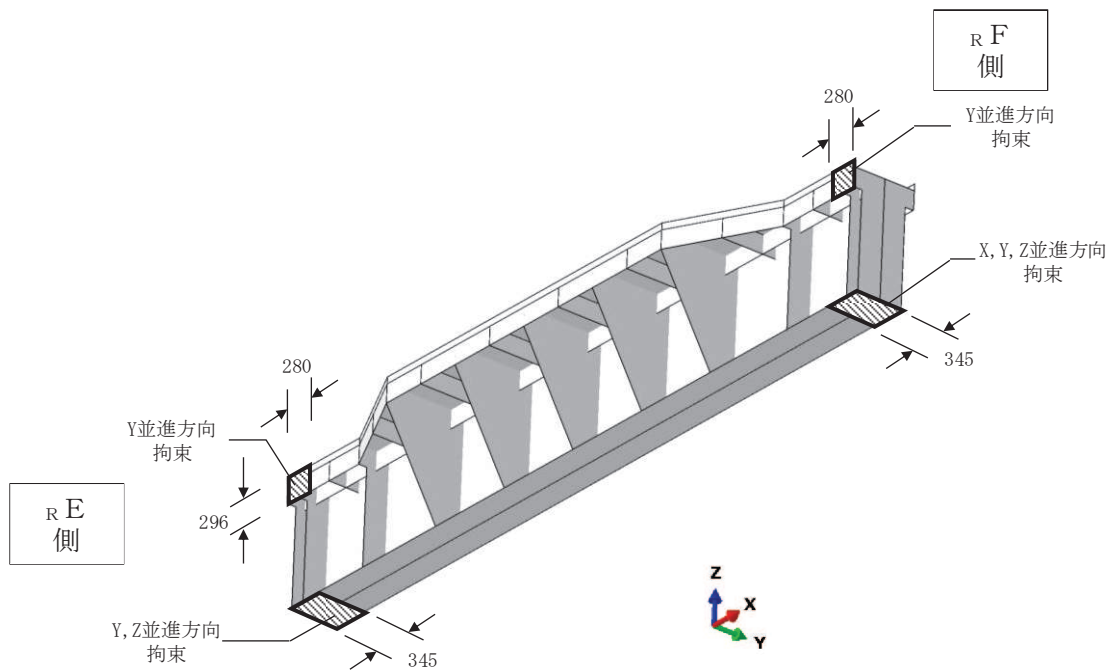


図 8-6 境界条件の設定

4.3 材料特性

クレーンガーダ鉄骨の鋼材の材料特性を表 8-6、応力-ひずみ関係を図 8-7 に示す。

表 8-6 鋼材の材料特性

鋼材の種類	厚さ (mm)	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν (-)	降伏強度* σ_y (N/mm ²)	破断強度 σ_u (N/mm ²)	破断ひずみ ϵ_u (-)
SM490A	16 以下	2.05×10^5	0.3	357	490	0.17
	16 を超え 40 以下			357	490	0.21
	40 を 超えるもの			324	490	0.21

注記* : 「2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書 (国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所)」に基づき、F 値の 1.1 倍とする。

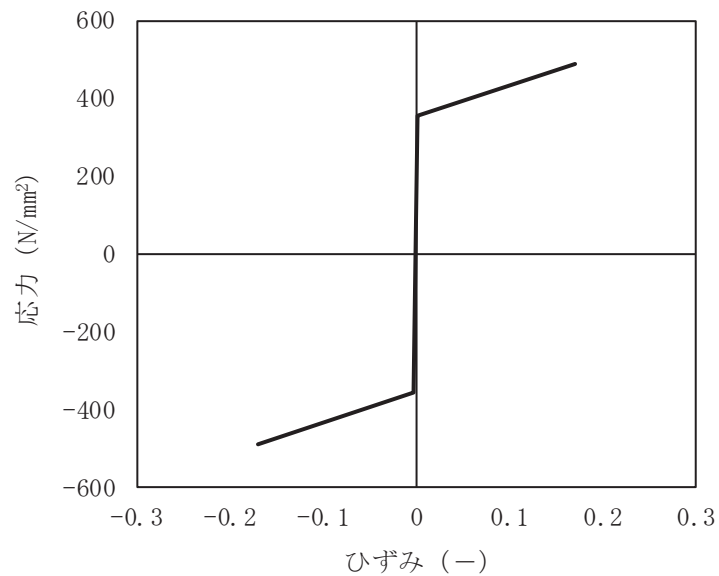


図 8-7(1) 鋼材の応力-ひずみ関係 (厚さ 16mm 以下) (1/3)

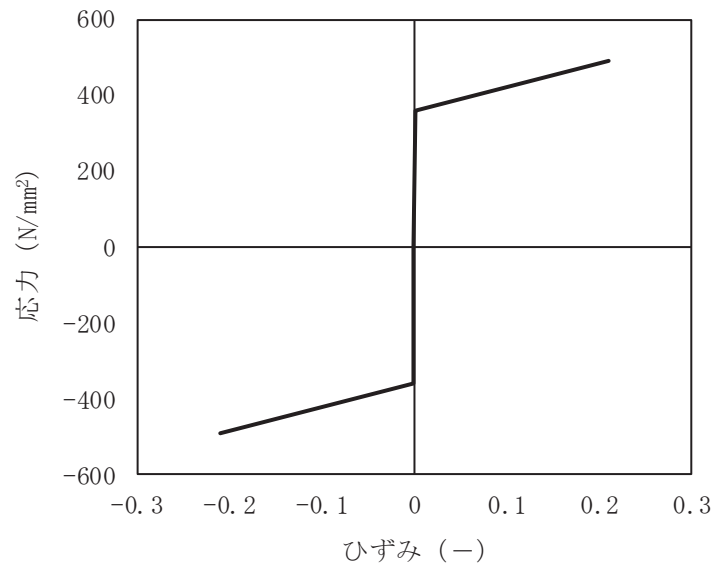


図 8-7(2) 鋼材の応力-ひずみ関係 (厚さ 16mm を超え 40mm 以下) (2/3)

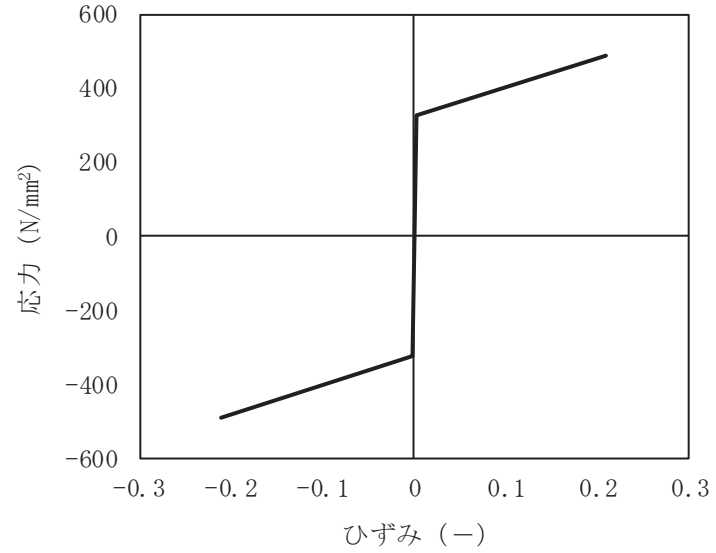
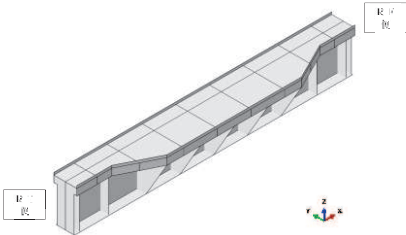
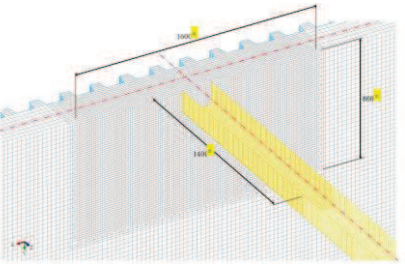
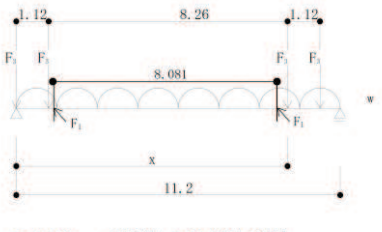


図 8-7(3) 鋼材の応力-ひずみ関係 (厚さ 40mm を超えるもの) (3/3)

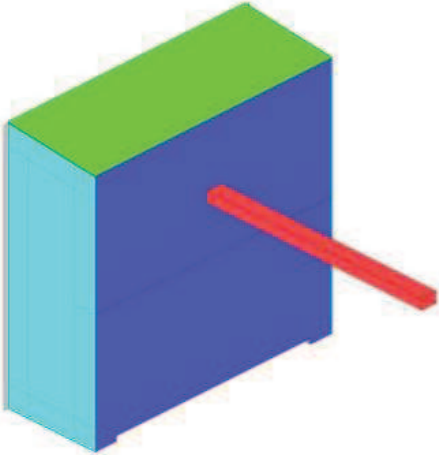
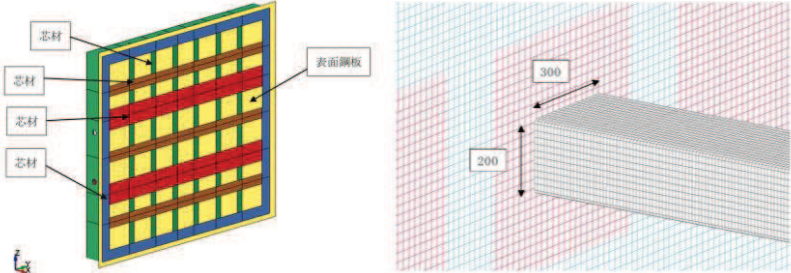
5. 評価結果

追 而

(参考) 鋼材の弾塑性応力解析の採用実績について

	女川原子力発電所 2号機		柏崎刈羽発電所 7号機	
資料	本資料	VI-3-別添 1-1-1 竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書	補足-028-10-28 原子炉建屋クレーンの耐震性についての計算書に関する補足説明資料	V-3-別添 1-5 竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書
評価内容	クレーンガーダ鉄骨の基準地震動 Ss に対する健全性	原子炉建屋躯体への飛来物の衝突解析	クレーンガーダ鉄骨の基準地震動 Ss に対する健全性	原子炉建屋躯体への飛来物の衝突解析
評価対象	クレーンガーダ鉄骨	デッキプレート	クレーンガーダ鉄骨	鉄筋・デッキプレート
評価手法	3次元 FEM モデルによる弾塑性応力解析	3次元 FEM モデルによる弾塑性応力解析	単純梁に置換して断面算定	3次元 FEM モデルによる弾塑性応力解析
解析コード	ABAQUS	ABAQUS	—	ABAQUS
解析モデル			 F1 (水平) : 脱線防止ラグより伝わる荷重 F3 (鉛直下向) : 走行車輪を介して伝わる荷重 W (水平・鉛直下向) : クレーンガーダ鉄骨自重による地震荷重 図4-2 荷重作用の概念図 (車輪位置 x の場合)	原子炉建屋屋根スラブについて、コンクリート、鉄筋、デッキプレートを 3次元 FEM でモデル化
判定基準	鋼材に生じるひずみが破断ひずみを超えないこと。	鋼材(デッキプレート)に生じるひずみが破断ひずみを超えないこと。	断面算定を行った検定比が 1 以下であること。(作用する応力度が許容応力度以下であること。)	鋼材(鉄筋・デッキプレート)に生じるひずみが破断ひずみを超えないこと。

参考-1

女川原子力発電所 2号機		
資料	VI-3-別添 1-2-1-2 竜巻防護鋼板の強度計算書	VI-3-別添 1-1-1 竜巻より防護すべき施設を内包する施設の強度計算書
評価内容	竜巻防護鋼板への飛来物の衝突解析	大物搬入口への飛来物の衝突解析
評価対象	竜巻防護鋼板及び支持架構	大物搬入口扉
評価手法	3次元 FEM モデルによる弾塑性応力解析	3次元 FEM モデルによる弾塑性応力解析
解析コード	LS-DYNA	LS-DYNA
解析モデル		
判定基準	防護鋼板及び支持架構に生じるひずみが破断ひずみを超えないこと。	扉の表面鋼板及び芯材に生じるひずみが破断ひずみを超えないこと。