

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-19-0600-37_改2
提出年月日	2021年10月12日

補足-600-37 CRD 自動交換機の耐震性についての計算書に関する

補足説明資料

## 目次

1. はじめに .....	1
2. CRD 自動交換機の概要 .....	1
2.1 機器の目的 .....	1
2.2 機器構成 .....	1
3. CRD 自動交換機による波及的影響を防止する上位クラス施設 .....	5
4. 上位クラス施設への波及的影響を防止するための対策 .....	7
4.1 固定用サポートの追加 .....	7
5. コリウムバッファの概要 .....	9
6. 耐震評価における CRD 自動交換機の評価条件 .....	11
6.1 プラント運転状態 .....	11
6.2 機器構成 .....	11
7. 解析モデルについて .....	11
7.1 解析モデル諸元 .....	11
7.2 部材の断面形状および断面特性 .....	14
7.3 固有値解析結果 .....	18
8. 旋回用レールの評価について .....	22

## 1. はじめに

本資料は、「VI-2-11-2-21 CRD 自動交換機の耐震性についての計算書」の補足説明資料として、CRD 自動交換機の機器構成、CRD 自動交換機による波及的影響を防止する上位クラス施設に要求される機能、波及的影響を防止するための対策及び CRD 自動交換機上に設置する自主対策設備であるコリウムバッファの概要を踏まえ整理した、CRD 自動交換機の耐震評価条件及び解析モデルの詳細を説明するものである。

## 2. CRD 自動交換機の概要

### 2.1 機器の目的

CRD 自動交換機は、原子炉本体の基礎（以下「RPV ペDESTAL」という。）内の壁面に取付けた旋回用レール上に設置される機器で、定期検査時における CRD の原子炉からの取外し、取付け作業に用いるために設置する。

### 2.2 機器構成

CRD 自動交換機の RPV ペDESTAL 内における主要な機器は、表 2-1 に示すとおり、機器を使用する定期検査時及び保管状態となるプラント運転中において構成が異なる。詳細は以下のとおり。

#### (1) 定期検査時

定期検査時における CRD 自動交換機の機器構成を図 2-1 に示す。定期検査時に CRD 自動交換機を使用する際は、脱着対象の CRD 位置に移動するための走行台車及びプラットホーム、CRD の脱着を行うための CRD カート、回転フレーム、ボルト脱着機、脱着機台車、つかみ腕及び昇降台車により機器を構成する。

#### (2) プラント運転中

プラント運転中における CRD 自動交換機の機器構成を図 2-2 に示す。プラント運転中は、CRD 自動交換機を構成する機器の一部を原子炉建屋内で保管し、RPV ペDESTAL 内はプラットホーム及び脱着機台車により機器を構成する。また、炉心溶融に伴う水蒸気爆発発生時のエネルギーの低減を図ることを目的に、自主対策設備であるコリウムバッファをプラットホーム下部の作業架台上に設置する。コリウムバッファの概要は 5 項にて示す。

表 2-1 RPV ペデスタル内における CRD 自動交換機の主要な構成部位

機器名	RPV ペデスタル内の構成	
	プラント運転中	定期検査時
プラットフォーム (作業架台を含む)	○	○
CRD 交換機 (走行台車, 回転フレーム, 昇降台車, つかみ腕)	—	○
CRD カート	—	○
脱着機台車	○	○
ボルト脱着機	—	○
コリウムバッファ	○	—

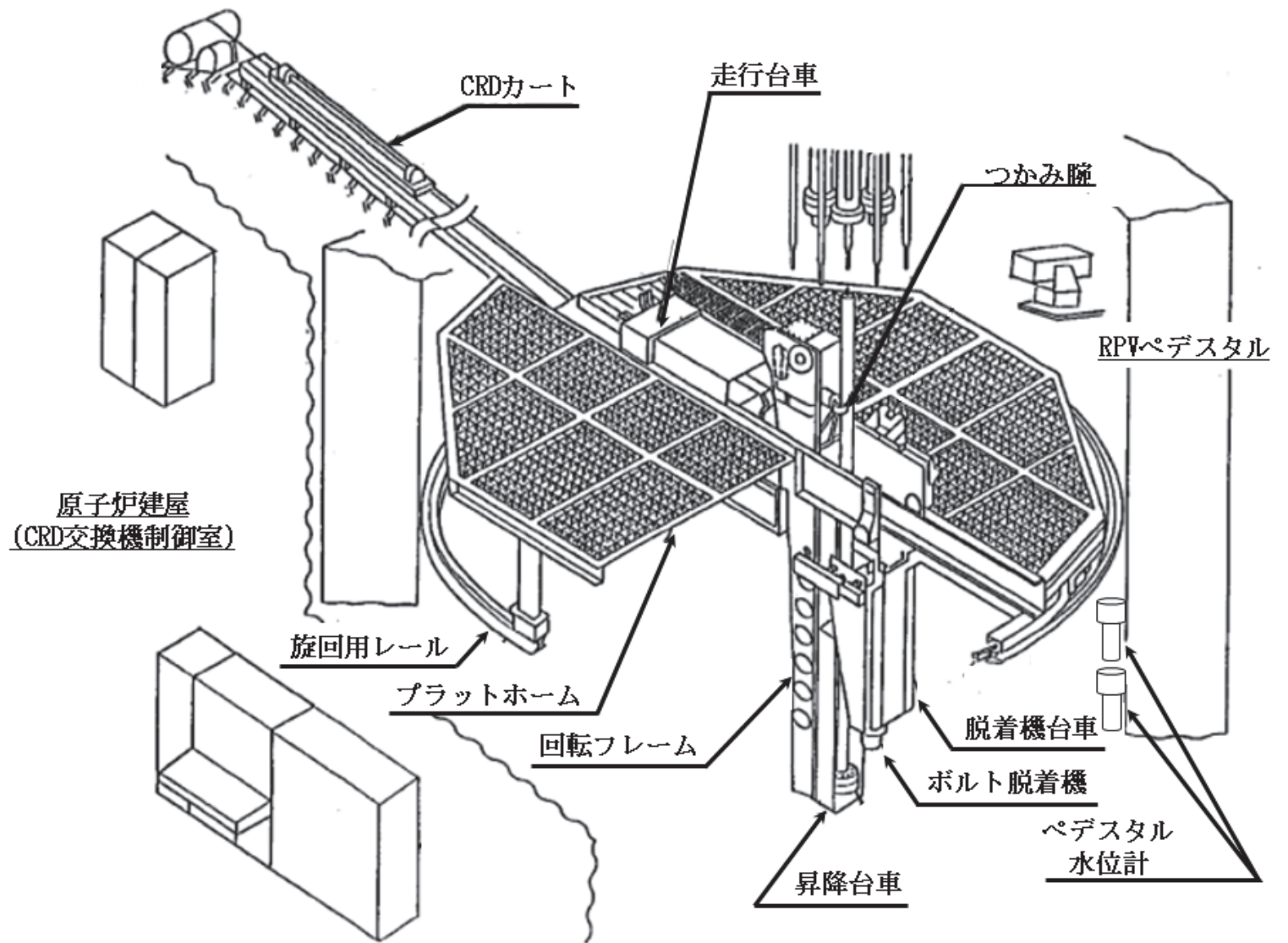


図 2-1 定期検査時における CRD 自動交換機の機器構成

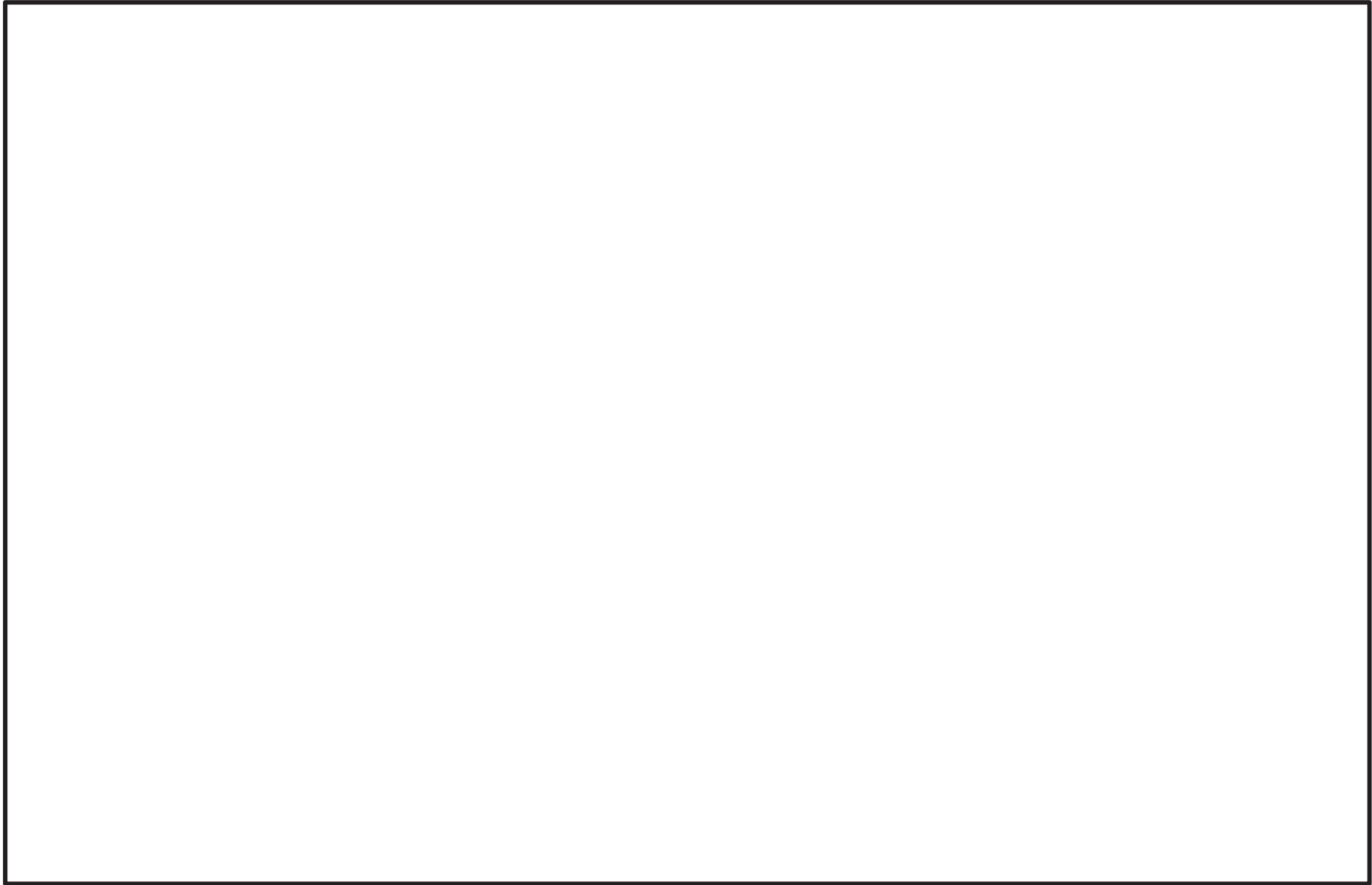


図 2-2 プラント運転中の RPV ペDESTAL内における CRD 自動交換機の機器構成

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 3. CRD 自動交換機による波及的影響を防止する上位クラス施設

CRD 自動交換機を設置する RPV ペDESTAL 内に、上位クラス施設である原子炉格納容器下部水位及び原子炉格納容器下部温度（以下「水位計・温度計」という。）を設置する。

CRD 自動交換機と水位計・温度計の位置関係は図 3-1 に示すとおり、水位計・温度計は CRD 自動交換機のプラットホーム及び旋回用レールの下部に、 $60^{\circ}$ 、 $65^{\circ}$ 、 $171^{\circ}$  および  $176^{\circ}$  方位に計 12 個設置する。

水位計・温度計は、プラント運転中の炉心溶融等を伴う重大事故時において、RPV ペDESTAL 内に注水した際の水位及び温度を監視する機能を有していることから、プラント運転中のみ機能が要求される機器である。

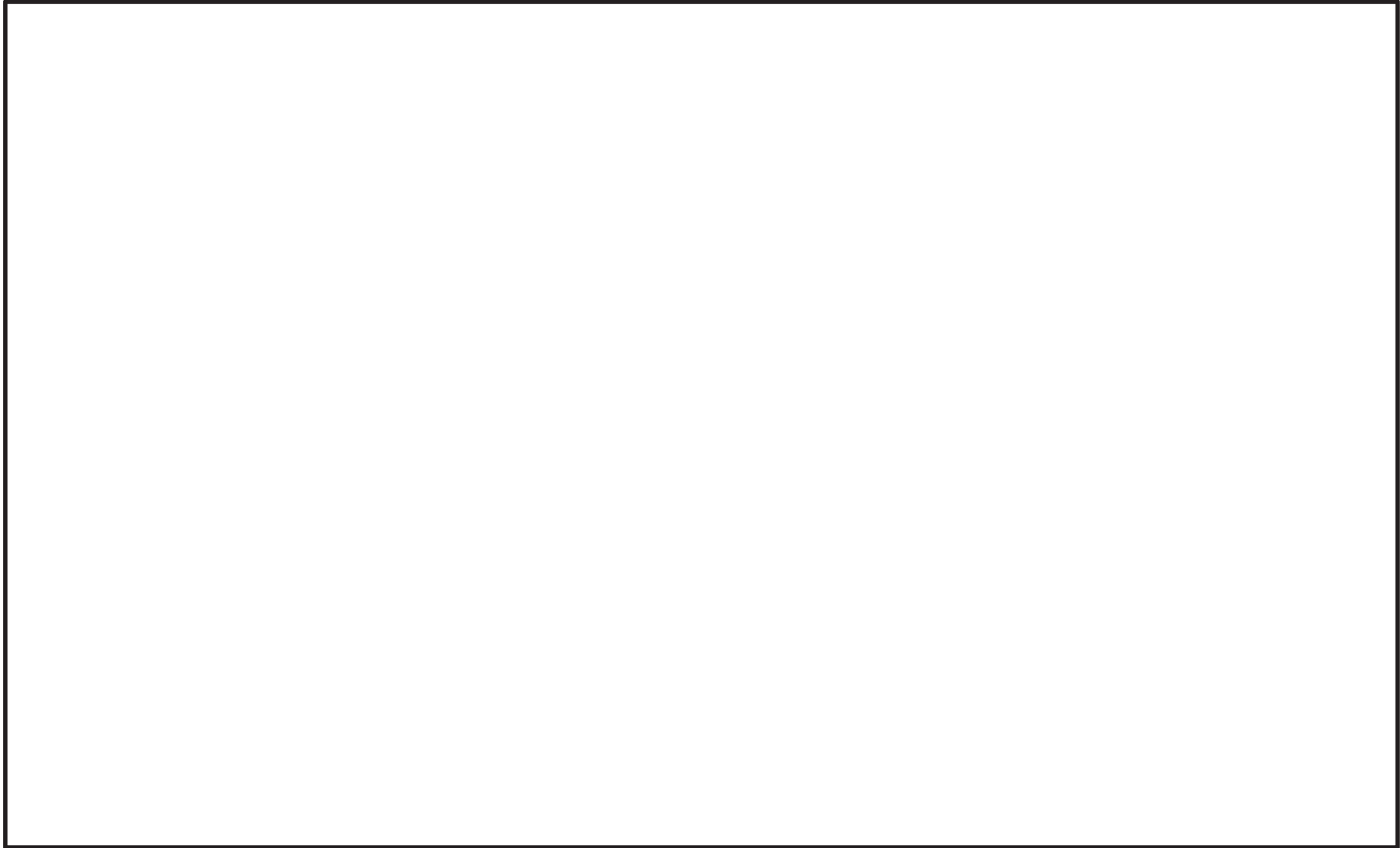


図 3-1 CRD 自動交換機と水位計・温度計

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



#### 4. 上位クラス施設への波及的影響を防止するための対策

「3. CRD 自動交換機による波及的影響を防止する上位クラス施設」において示したとおり、CRD 自動交換機のプラットホーム及び旋回用レールの下部に水位計・温度計を設置することから、これら上位クラス施設に対する波及的影響防止のため、以下の設備対策を図る。

##### 4.1 固定用サポートの追加

CRD 自動交換機はプラットホームに取付けられた6つの車輪を介して旋回用レール上に搭載されているだけであり、プラント運転中も固定されていないことから、地震荷重を受けた際に浮き上がり、横滑りにより CRD 自動交換機が落下し、水位計・温度計に対して波及的影響を及ぼす可能性がある。

そのため、CRD 自動交換機の浮き上がり、横滑りを防止するため、図 4-1 に示す固定用サポート（上部）及び固定用サポート（下部）を追加する。

プラント運転中は図 4-1(b), (c)に示すように、ペDESTAL壁面に取り付けたボスに固定ピンを挿入し、固定ピンを取付ボルトで固定することでプラットホームの浮き上がり、横滑りを拘束する。また、定期検査時はプラットホームの旋回動作が可能となるよう、取付ボルトを緩め、固定ピンを引き抜くことで拘束を解除する。



図 4-1(a) 固定用サポートの配置

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

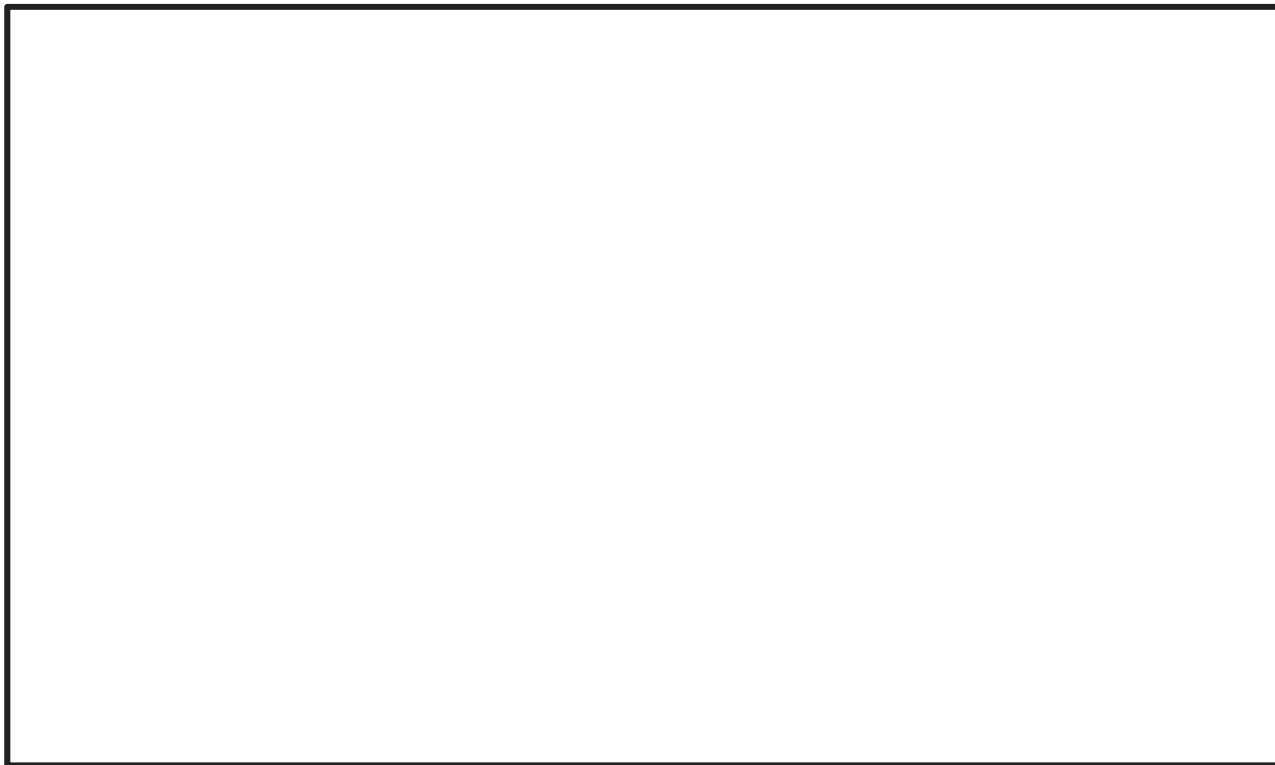


図 4-1 (b) 固定用サポート（上部）の配置及び構造



図 4-1 (c) 固定用サポート（下部）の配置及び構造

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 5. コリウムバッファの概要

コリウムバッファは、原子炉格納容器下部に設置することで熔融炉心の一部を保持・冷却するとともに、熔融ジェットを分裂させることで水蒸気爆発発生時のエネルギーの低減を図ることを目的とした自主対策設備である。

図 1-2 に示す通り、コリウムバッファは作業架台の中間部において、中央の開口部にステンレス鋼製の追設梁および追設グレーチングを設置するとともに、既設のアルミ合金製グレーチングおよびフロアプレートをステンレス鋼製の同等形状のものに変更することで構成する。コリウムバッファの詳細形状を図 5-1 に示す。

なお、CRD 自動交換機を使用する際は、回転フレーム等と干渉しないよう、追設グレーチングおよび追設梁は取外す運用とする。

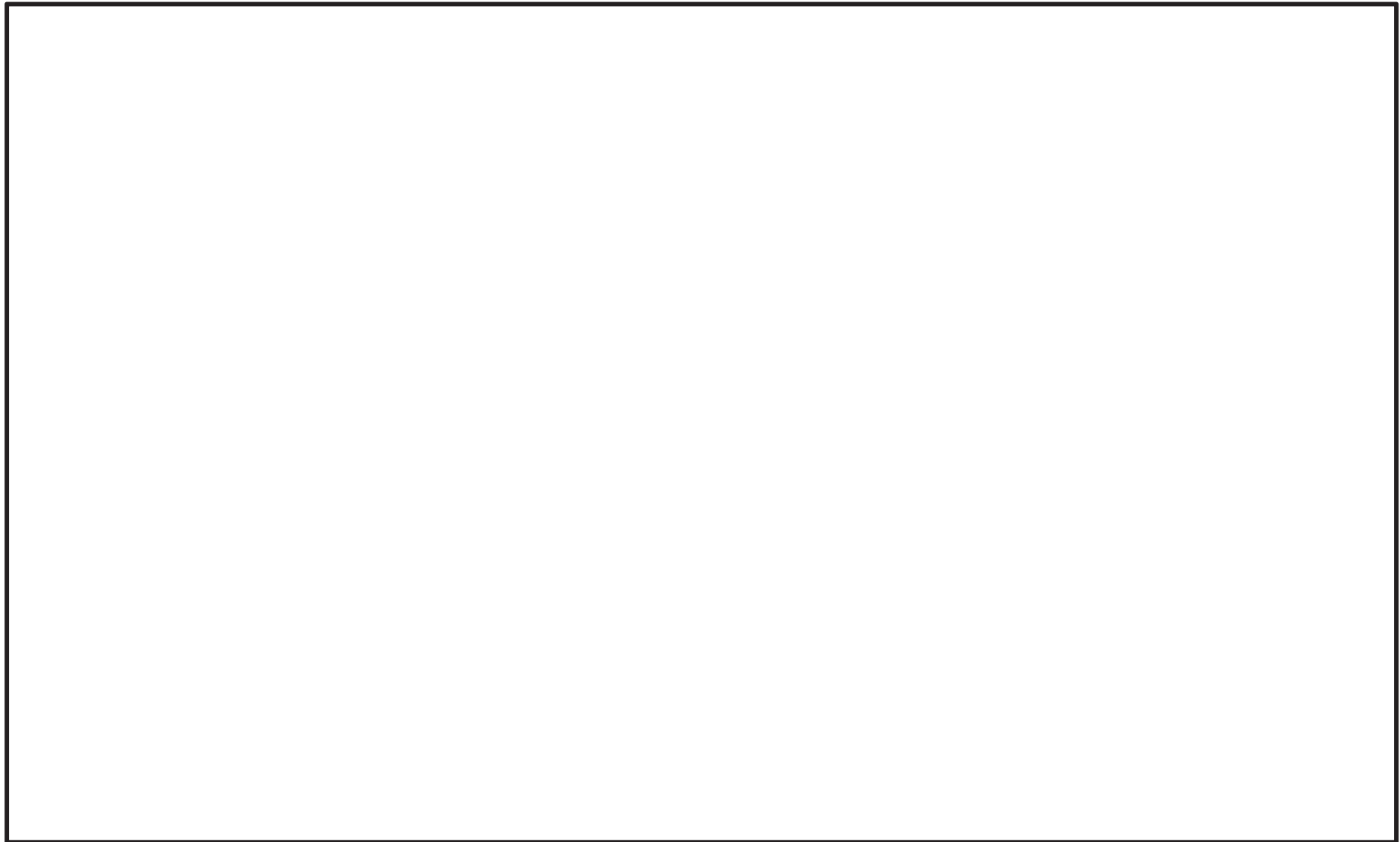


図 5-1 コリウムバッファー概略図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 6. 耐震評価における CRD 自動交換機の評価条件

「2. CRD 自動交換機の概要」, 「3. CRD 自動交換機による波及的影響を防止する上位クラス施設」, 「4. 上位クラス施設への波及的影響を防止するための設備対策」及び「5. コリウムバッファの概要」に示した内容を踏まえ、耐震評価における CRD 自動交換機の評価条件を以下に示す。

### 6.1 プラント運転状態

「3. CRD 自動交換機による波及的影響を防止する上位クラス施設」で示したとおり、上位クラス施設である水位計・温度計はプラント運転中に機能が要求される機器であることから、CRD 自動交換機の耐震評価はプラント運転中の状態を考慮する。

### 6.2 機器構成

「6.1 プラント運転状態」で示したとおり、CRD 自動交換機の耐震評価はプラント運転中の状態を考慮することとし、CRD 自動交換機の機器構成は「2. CRD 自動交換機の概要」におけるプラント運転中の機器構成として、プラットホーム（作業架台を含む）、脱着機台車及びコリウムバッファを解析モデルに反映する。

また、「4. 上位クラス施設への波及的影響を防止するための設備対策」で示した固定用サポートにより、プラットホーム及び作業架台を固定した状態を解析モデルに反映する。

## 7. 解析モデルについて

### 7.1 解析モデル諸元

解析モデル諸元を表 7-1 にまとめる。CRD 自動交換機フレーム（プラットホーム、作業架台）の各部材は梁要素を用いてモデル化する。プラットホームの部材であるグレーチング、フロアプレート及び中継端子箱等の搭載物については、設置位置近傍の梁要素に集中マスとして質量を負荷する。また、脱着機台車については搭載物と同様に設置位置近傍の梁要素に集中マスとして質量を負荷しており、コリウムバッファについては追設する鋼材を梁要素としてモデル化し鋼材に固定されるグレーチング部については近傍の梁要素に集中マスとして質量を負荷する。解析モデルの質量を表 7-2 に示す。

境界条件は表 7-1 に示す通り、CRD 自動交換機の構造を踏まえて自重解析（静解析）とスペクトルモーダル解析で異なる境界条件を設定している。

なお、固定用サポート（上部）のピンの長さにくらべ固定用サポート（下部）のピンの長さが長いことから、固定用サポート（下部）のピンは梁要素として解析モデルに反映している。

表 7-1 解析モデル諸元

解析種類		自重解析（静解析）	スペクトルモーダル解析
解析モデル			
境界条件	並進方向	固定用サポート（上部/下部）取付け位置の拘束点において固定ピン軸方向を $X'$ とした局所座標系を設定し、 $X'$ 方向並進バネ、 $Y'$ 方向並進バネおよび $Z$ 方向並進バネを設定する。車輪のみで支持される拘束点において $Z$ 方向並進バネを設定する。	各拘束点において固定ピン軸方向を $X'$ とした局所座標系を設定し、 $X'$ 方向並進バネ、 $Y'$ 方向並進バネおよび $Z$ 方向並進バネを設定する。
	回転方向	固定用サポート（上部/下部）取付け位置の固定ピン軸方向を $X'$ とした局所座標系を設定し、 $Y'$ 軸周り回転バネおよび $Z$ 軸周り回転バネを設定する。	各拘束点において固定ピン軸方向を $X'$ とした局所座標系を設定し、 $Y'$ 軸周り回転バネおよび $Z$ 軸周り回転バネを設定する。
備考		自重はプラットフォームの6つの車輪、固定用サポート（上部）、固定用サポート（下部）で支持することとして境界条件を設定する。	UD 上向き方向や NS、EW 方向の地震荷重に対して車輪による拘束は期待できないため、地震荷重は固定用サポート（上部）、固定用サポート（下部）のみで支持することとして境界条件を設定する。

表 7-2 解析モデル質量

機器名	質量 (kg)	備考
プラットフォーム		
作業架台		
脱着機台車		
コリウムバッファ		
固定用サポート (上部)		
固定用サポート (下部)		

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 7.2 部材の断面形状および断面特性

主要な部材の位置を図 7-1 に、コリウムバッファの設置に伴い追設した部材を図 7-2 に示す。また、これら部材の断面形状及び断面特性を表 7-3 に示す。

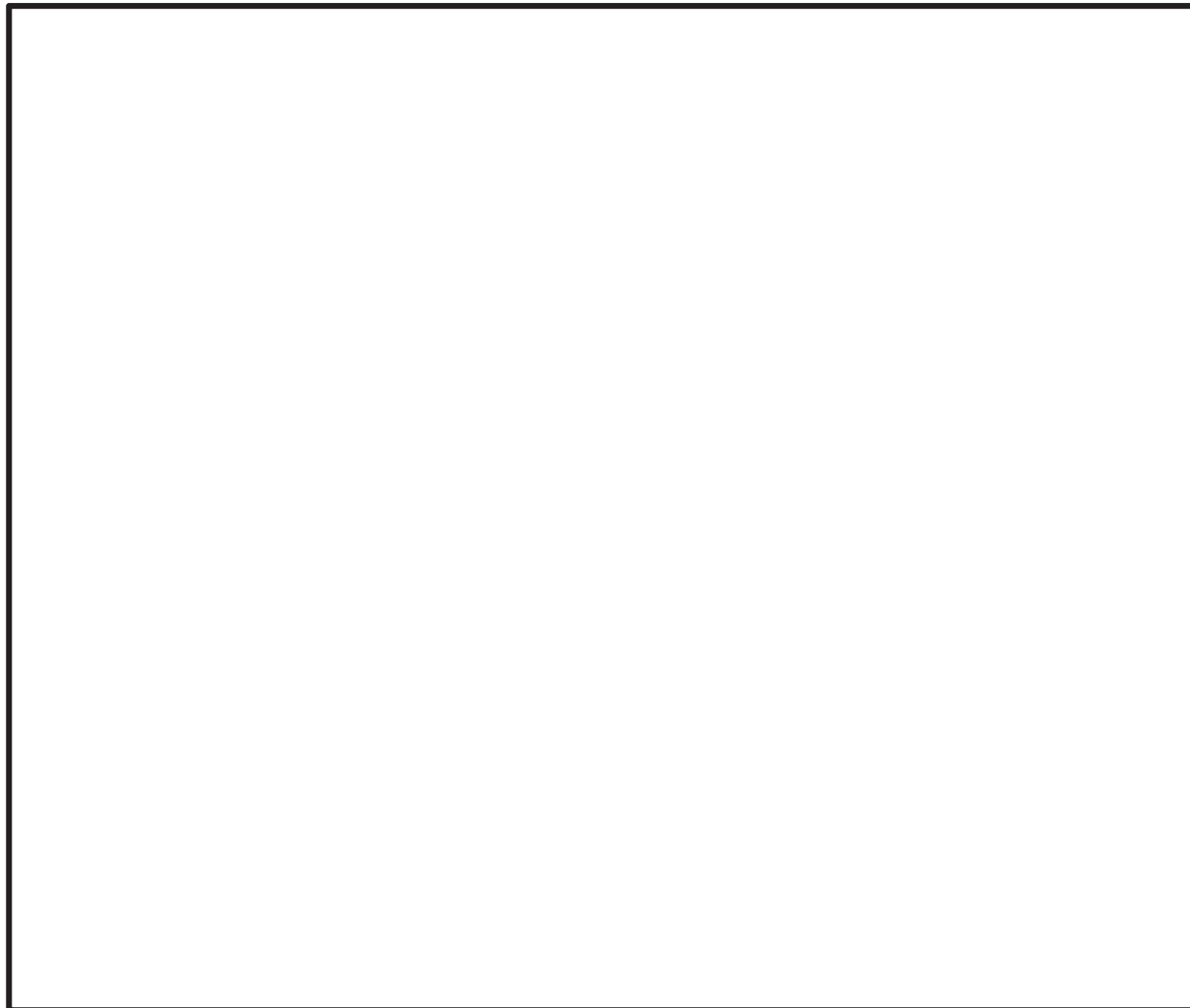


図 7-1 主要梁の位置および記号



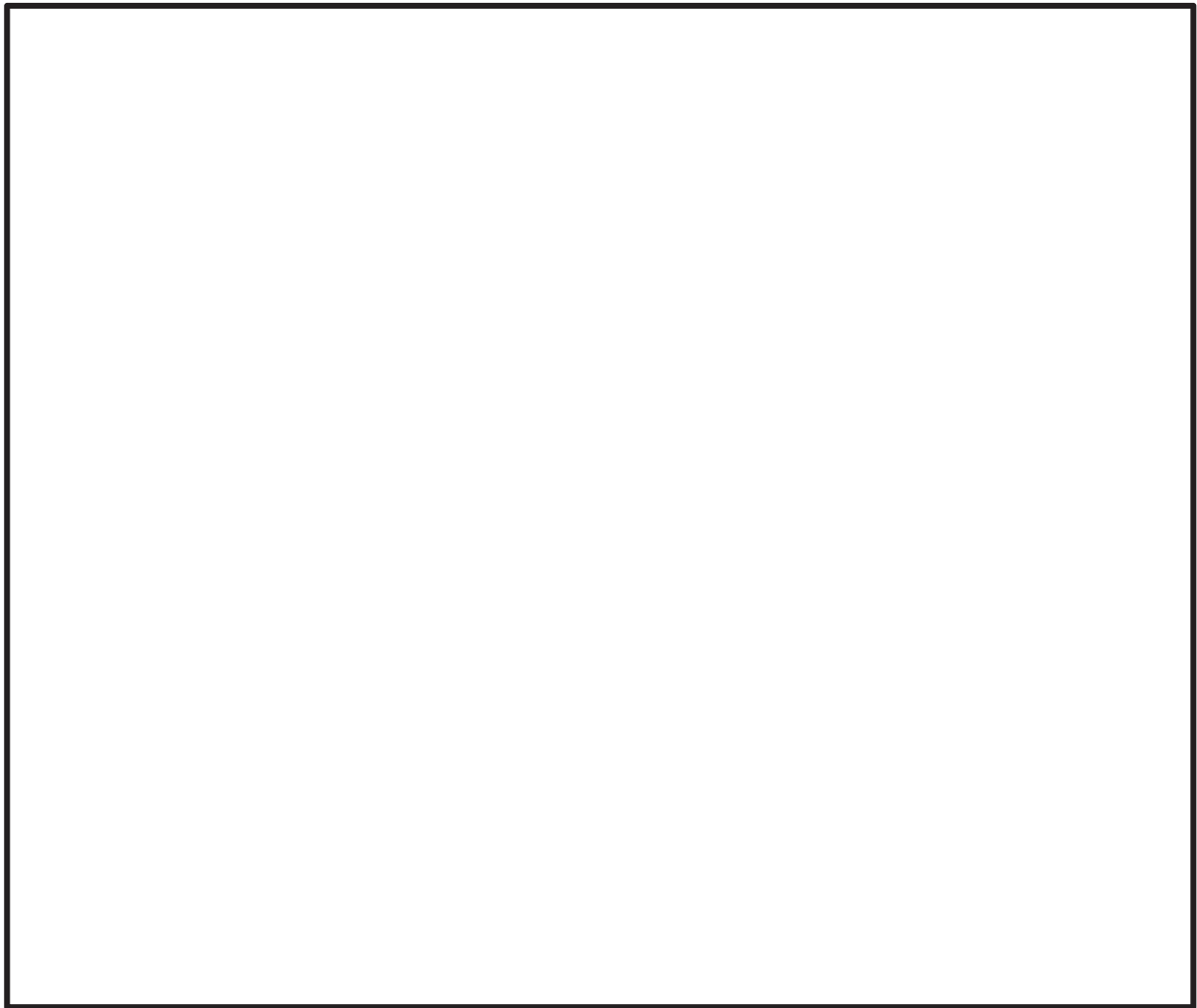


図 7-2 コリウムバッファー追設梁の位置および記号

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 7-3 断面形状及び断面特性 (1/2)

記号	材質	断面形状	断面積 A (mm <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント I <sub>z</sub> (mm <sup>4</sup> )	断面二次 モーメント I <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )
a					
b					
c					
d					
e					
f					

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 7-3 断面形状及び断面特性 (2/2)

記号	材質	断面形状	断面積 A (mm <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント I <sub>z</sub> (mm <sup>4</sup> )	断面二次 モーメント I <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )
g					
h					
i					
j					
k					
m					

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

### 7.3 固有値解析結果

固有値解析の結果を表 7-4 に示す。また、図 7-3～図 7-5 に刺激係数の大きな振動モード図を方向毎に 3 つずつ示す。

表7-4 固有値解析結果

次数	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*		
			水平方向		鉛直方向
			NS 方向	EW 方向	
1 次	水平(NS)方向				
2 次	水平(NS)方向				
3 次	水平(EW)方向				
4 次	水平(NS)方向				
5 次	水平(EW)方向				
6 次	鉛直方向				
7 次	鉛直方向				
8 次	鉛直方向				
9 次	鉛直方向				
10 次	水平(EW)方向				
11 次	鉛直方向				
12 次	鉛直方向				
13 次	鉛直方向				
14 次	鉛直方向				
15 次	水平(NS)方向				
16 次	水平(NS)方向				
17 次	水平(NS)方向				
18 次	水平(NS)方向				
19 次	水平(NS)方向				
20 次	鉛直方向				
21 次	鉛直方向				
22 次	鉛直方向				
23 次	水平(NS)方向				

注記\*：刺激係数は、モード質量を正規化し固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



図 7-3(a) 8 次固有周期 振動モード図 (鉛直方向卓越モード)



図 7-3(b) 12 次固有周期 振動モード図 (鉛直方向卓越モード)

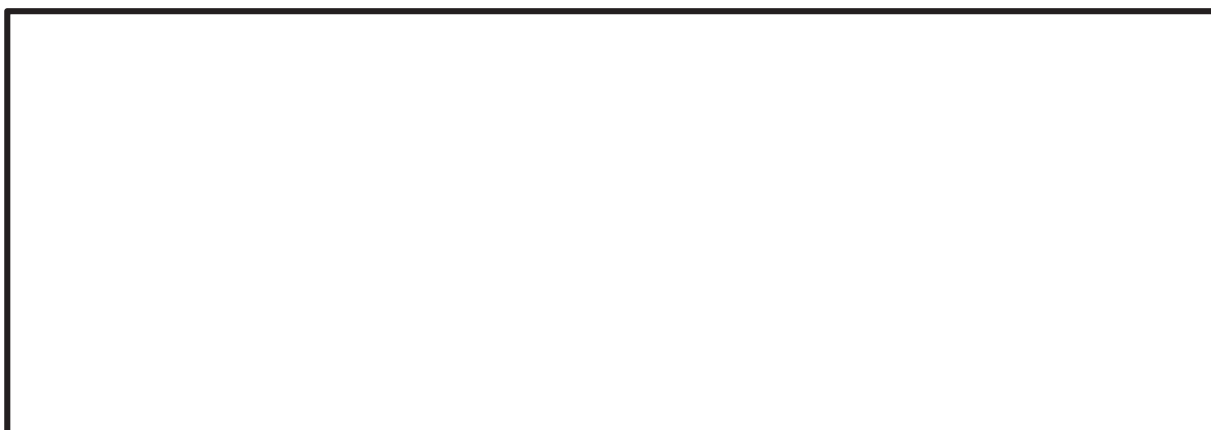


図 7-3(c) 13 次固有周期 振動モード図 (鉛直方向卓越モード)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



図 7-4(a) 15 次固有周期 振動モード図 (水平 (NS) 方向卓越モード)



図 7-4(b) 16 次固有周期 振動モード図 (水平 (NS) 方向卓越モード)



図 7-4(c) 17 次固有周期 振動モード図 (水平 (NS) 方向卓越モード)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



図 7-5(a) 3 次固有周期 振動モード図 (水平 (EW) 方向卓越モード)



図 7-5(b) 5 次固有周期 振動モード図 (水平 (EW) 方向卓越モード)



図 7-5(c) 10 次固有周期 振動モード図 (水平 (EW) 方向卓越モード)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 8. 旋回用レールの評価について

旋回用レールは図 8-1 及び図 8-2 に示す両端支持梁による評価モデルを用いて評価を実施している。

図 8-3 に示すように、旋回用レールは  $20^\circ$  ピッチで配置されるレールサポートにより支持され、レールクリップによりレールサポート上に固定されている。評価モデル上は、梁の長さをレールサポート 1 スパンあたりの旋回用レールの円弧長に設定している。また、両端の境界条件については、実際の構造を考慮すると両端固定相当と考えるが、レールに発生する曲げモーメントが大きくなるよう両端支持としている。さらに、評価モデルで考慮している断面形状は主要な断面形状（レール+補強型鋼）ではなく、断面係数が小さくなる断面形状（レール継ぎ目板+補強型鋼）を設定することでより保守的な評価としている。

なお、評価モデルは直線の梁としているが、実際は図 8-3 に示す通り、レールサポート 1 スパンあたり曲率半径による偏心が 39.5mm ある。しかし、評価断面の幅 200mm に対して偏心は小さく、偏心による影響は無視できると考える。

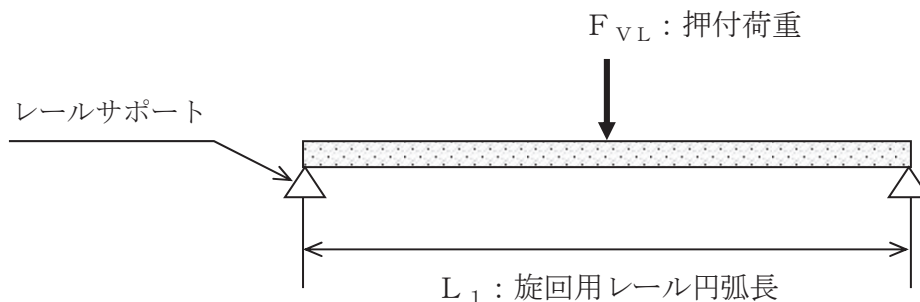
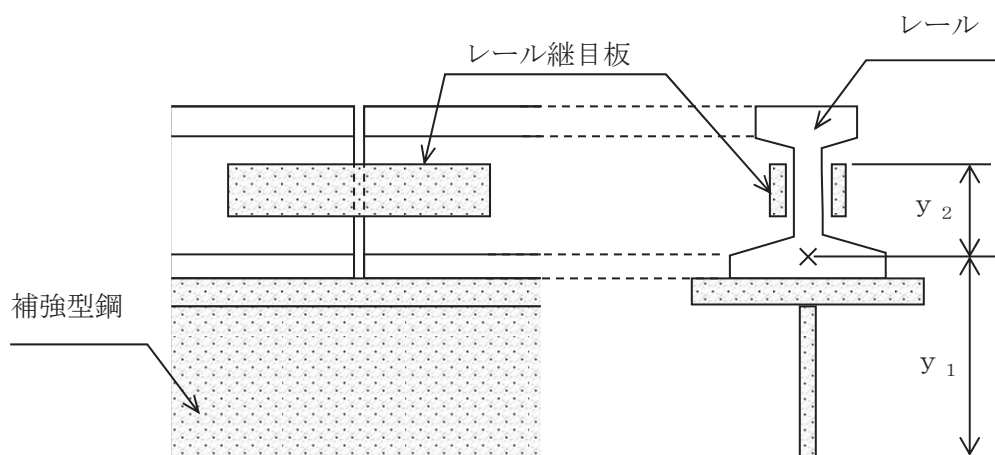


図 8-1 旋回用レール評価モデル



× : 図心

図 8-2 旋回用レール評価断面詳細



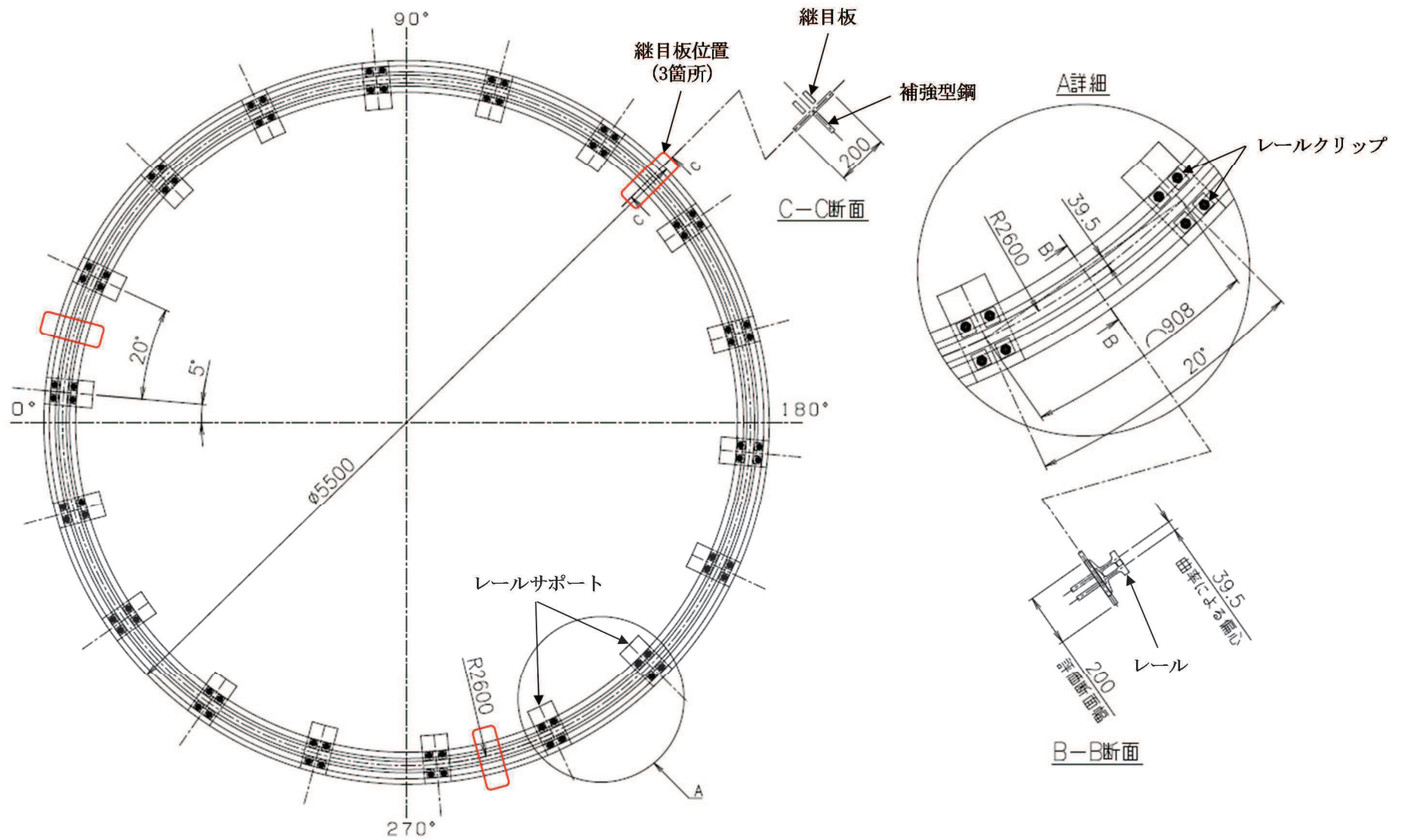


図 8-3 旋回用レール構造詳細