

大型廃棄物保管庫の揚重設備及び架台設置に係る実施計画の変更について
2020年11月19日（第5回面談）

大型廃棄物保管庫橋形クレーンの
耐震性についての計算書（案）

評価結果は，評価が完了次第記載

目 次

| | |
|----------------------|----|
| 1. 概要 | 1 |
| 2. 一般事項 | 1 |
| 2.1 配置事項 | 1 |
| 2.2 構造計画 | 2 |
| 2.3 評価方針 | 3 |
| 2.4 適用基準 | 4 |
| 2.5 記号の説明 | 5 |
| 2.6 計算精度と数値の丸め方 | 8 |
| 3. 評価部位 | 8 |
| 4. 地震応答解析及び構造強度評価 | 9 |
| 4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法 | 9 |
| 4.2 荷重の組合せ及び許容応力 | 9 |
| 4.3 解析モデル及び諸元 | 11 |
| 4.4 設計用地震力 | 13 |
| 4.5 計算方法 | 17 |
| 4.6 計算条件 | 23 |
| 4.7 応力の評価 | 23 |
| 5. 評価結果 | 24 |
| 5.1 評価結果 | 24 |

1. 概要

本資料は、大型廃棄物保管庫橋形クレーン(以下、「クレーン」という。)が設計用地震動に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、貯蔵エリアに保管された使用済吸着塔に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置事項

クレーンは、図 2-1 の位置関係図に示すように、上位クラス施設である大型廃棄物保管庫使用済吸着塔及び吸着塔保管架台の上部に設置されており、クレーンの転倒またはトロリの落下時に使用済吸着塔に波及的影響を及ぼすおそれがある。

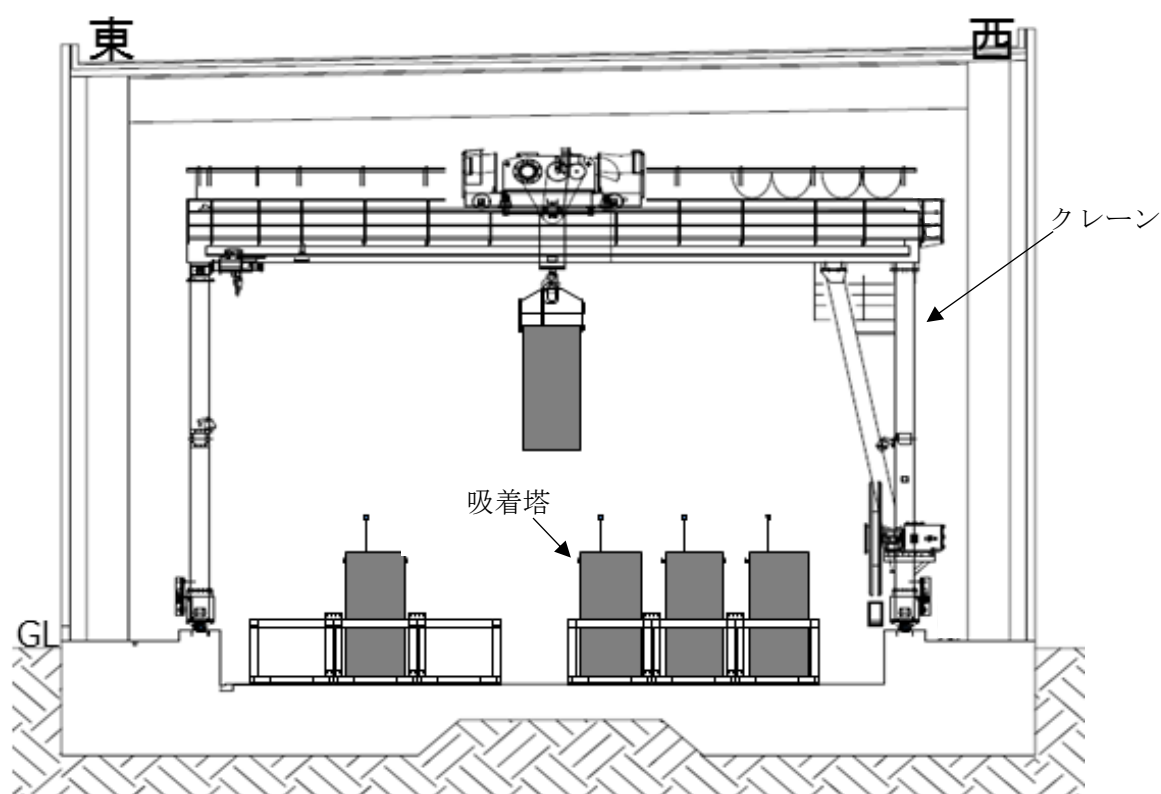


図 2-1 クレーンと使用済吸着塔の位置関係図

2.2 構造計画

クレーンの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 クレーンの構造計画

| 計画の概要 | | 概略構造図 |
|---|----------------------------------|---|
| 基礎・支持構造 | 主体構造 | |
| クレーンは大型廃棄物保管庫に設置された走行レールにより支持される。トロリは、ガーダに設置された横行レールにより支持される。 | クレーン本体 ガーダ トロリ 揺脚 剛脚 | <p>The diagram illustrates the crane's structure. The top view shows a crane body (クレーン本体) with a width of 16.8m, supported by a gantry (ガーダ) and trolley (トロリ). The side view shows the crane body supported by a swing leg (揺脚) and a rigid leg (剛脚). The bottom view shows the crane body supported by a rail (レール) with rail clips (レールクリップ) and a rail attachment bolt (レール取付ボルト). The crane body is supported by a floating prevention device (走行浮上り防止装置) with a floating prevention claw (浮上り防止爪). The gantry is supported by a gantry floating prevention device (横行浮上り防止装置) with a gantry wheel (横行車輪) and a gantry (ガーダ). The crane body is attached to the gantry with an attachment bolt (取付ボルト).</p> |

2.3 評価方針

クレーンの応力評価は、クレーンの3次元梁モデルを用いた応答スペクトル法により解析を行い、その結果を3方向SRSSにて組合せて応力評価することとし、部材評価は引張応力、せん断応力、圧縮応力、曲げ応力、組合せ応力の5つを評価する。

評価については、「2.2 構造計画」にて示すクレーンの部位を踏まえ、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」に示す方法にて設計用地震動に基づく応力等が許容限界内に収まることを「5. 評価結果」に示す。

クレーンの耐震評価フローを図2-2に示す。

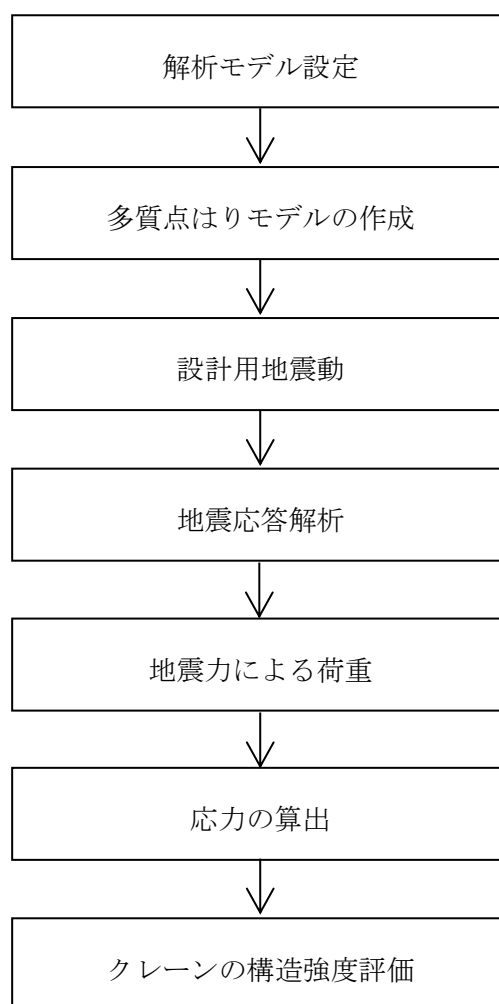


図 2-2 クレーンの耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2005年版 (2007年追補版含む。)) JSME S NC 1-2005/2007) (日本機械学会 2007年9月) (以下「設計・建設規格」という。)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 (JEAG 4601・補-1984, JEAG 4601-1987 及び JEAG 4601-1991 追補版) (日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和59年9月, 昭和62年8月及び平成3年6月)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術規程 (JEAC 4601-2008) (日本電気協会 原子力規制委員会 平成20年12月)

2.5 記号の説明

| 記号 | 記号の説明 | 単位 |
|-----------------|---|-----------------|
| A ₁ | R ₁ 軸方向の力を受ける断面積 | mm ² |
| A ₂ | R ₂ 軸方向の力を受ける断面積 | mm ² |
| A ₃ | R ₃ 軸方向の力を受ける断面積 | mm ² |
| A ₄ | 走行浮上り防止装置爪の断面積 | mm ² |
| A ₅ | 横行浮上り防止装置爪の断面積 | mm ² |
| A ₆ | 走行レールレールクリップの断面積 | mm ² |
| Ab ₁ | 連結ボルトの断面積 | mm ² |
| Ab ₂ | 走行浮上り防止装置取付ボルトの断面積 | mm ² |
| Ab ₃ | 横行浮上り防止装置取付ボルトの断面積 | mm ² |
| Ab ₄ | 走行レール取付ボルトの断面積 | mm ² |
| D | 死荷重 | N |
| l ₁ | 走行浮上り防止装置爪とレールの接触幅 | mm |
| l ₂ | レール接触面から爪接合部までの距離 | mm |
| M ₁ | R ₁ 軸廻りのモーメント | N・mm |
| M ₂ | R ₂ 軸廻りのモーメント | N・mm |
| M ₃ | R ₃ 軸廻りのモーメント | N・mm |
| M ₄ | 走行浮上り防止装置爪に作用する P ₂ による曲げモーメント | N・mm |
| M ₅ | 横行浮上り防止装置爪に作用する P ₁ による曲げモーメント | N・mm |
| M ₆ | 走行レールレールクリップに作用する曲げモーメント(1) | N・mm |
| M ₇ | 走行レールレールクリップに作用する曲げモーメント(2) | N・mm |
| N _b | 高力ボルトに作用する引張力 | N |
| M _d | 機械的荷重 | N |
| P ₁ | クレーンの浮上り荷重 | N |
| P ₂ | 走行浮上り防止装置爪 1 個当たりの荷重 | N |
| P _{b1} | 走行浮上り防止装置取付ボルト 1 本当当たりの荷重 | N |
| P _{b2} | 横行浮上り防止装置取付ボルト 1 本当当たりの荷重 | N |
| P _t | 走行レール取付ボルト 1 本当当たりに作用する引張荷重 | N |
| P _d | 最高使用圧力による荷重 | N |
| Q _b | 連結ボルトに作用するせん断力 | N |
| R ₁ | 水平軸方向の引張力 | N |
| R ₂ | 鉛直軸方向のせん断力 | N |
| R ₃ | 水平軸方向のせん断力 | N |
| S ₁ | 走行レールレールクリップに作用するせん断力(1) | N |
| S ₂ | 走行レールレールクリップに作用するせん断力(2) | N |

| 記号 | 記号の説明 | 単位 |
|-----------------|---|-----------------|
| S _b | 走行レール取付ボルト 1 本あたりに作用するせん断荷重 | N |
| S _B | Bクラスの設備に適用される地震動より求まる地震力又は静的地震力 | N |
| S _u | 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値 | MPa |
| S _y | 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値 | MPa |
| T ₁ | 走行レールレールクリップに作用する引張力(1) | N |
| T ₂ | 走行レールレールクリップに作用する引張力(2) | N |
| Z ₁ | M ₃ を受ける断面係数 | mm ³ |
| Z ₂ | M ₂ を受ける断面係数 | mm ³ |
| Z ₃ | 走行浮上り防止装置爪の断面係数 | mm ³ |
| Z ₄ | 横行浮上り防止装置爪の断面係数 | mm ³ |
| Z ₅ | 走行レールレールクリップの断面係数 | mm ³ |
| Z _{p1} | R ₂ 軸方向の応力を組み合わせる時の M ₁ を受けるねじり断面係数 | mm ³ |
| Z _{p2} | R ₃ 軸方向の応力を組み合わせる時の M ₁ を受けるねじり断面係数 | mm ³ |
| σ ₁ | 本体部材に作用する組合せ軸応力 | MPa |
| σ _{b1} | 本体部材に作用する組合せ曲げ応力 | MPa |
| σ _{b2} | 走行浮上り防止装置爪に作用する曲げ応力 | MPa |
| σ _{b3} | 横行浮上り防止装置爪に作用する曲げ応力 | MPa |
| σ _{b4} | 走行レールレールクリップに作用する曲げ応力 | MPa |
| σ _c | 本体部材に作用する圧縮応力 | MPa |
| σ _{k1} | 本体部材に作用する組合せ応力 | MPa |
| σ _{k2} | 走行浮上り防止装置爪に作用する組合せ応力 | MPa |
| σ _{k3} | 横行浮上り防止装置爪に作用する組合せ応力 | MPa |
| σ _{k4} | 走行レールレールクリップに作用する組合せ応力 | MPa |
| σ _{t1} | 本体部材に作用する引張応力 | MPa |
| σ _{t2} | クレーン本体連結ボルトに作用する引張応力 | MPa |
| σ _{t3} | 走行浮上り防止装置取付ボルト 1 本あたりに作用する引張応力 | MPa |
| σ _{t4} | 横行浮上り防止装置爪に作用する引張応力 | MPa |
| σ _{t5} | 横行浮上り防止装置取付ボルト 1 本あたりに作用する引張応力 | MPa |
| σ _{t6} | 走行レール取付ボルト 1 本あたりに作用する引張応力 | MPa |
| σ _{t7} | 走行レールレールクリップに作用する引張応力 | MPa |
| τ ₁ | 本体部材に作用するせん断応力 | MPa |
| τ ₂ | 走行浮上り防止装置爪に作用するせん断応力 | MPa |
| τ ₃ | 走行レールレールクリップに作用するせん断応力 | MPa |
| τ _{b1} | クレーン本体連結ボルトに作用するせん断応力 | MPa |

| 記号 | 記号の説明 | 単位 |
|-------------|-----------------------------|-----|
| τ_{b2} | 走行レール取付ボルト 1 本あたりに作用するせん断応力 | MPa |

注 : 「設計・建設規格」とは, 発電用原子力設備規格 (設計・建設規格 (2005 年版 (2007 追補版含む。)) J S M E S N C 1 - 2005/2007) (日本機械学会 2007 年 9 月) をいう。

2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-9 に示すとおりである。

表 2-9 表示する数値の丸め方

| 数値の種類 | 単位 | 処理桁 | 処理方法 | 表示桁 |
|--------------------|-----------------|------------|------|-------------------------|
| 温度 | ℃ | — | — | 整数位 |
| 質量 | kg | — | — | 整数位 |
| 長さ | mm | — | — | 整数位 ^{*1} |
| 面積 | mm ² | 有効数字 5 桁目 | 四捨五入 | 有効数字 4 桁目 ^{*2} |
| 体積 | mm ³ | 有効数字 5 桁目 | 四捨五入 | 有効数字 4 桁目 ^{*2} |
| モーメント | N・mm | 有効数字 5 桁目 | 四捨五入 | 有効数字 4 桁目 ^{*2} |
| 力 | N | 有効数字 5 桁目 | 四捨五入 | 有効数字 4 桁目 ^{*2} |
| 算出応力 | MPa | 小数点以下第 1 位 | 切上げ | 整数位 |
| 許容応力 ^{*3} | MPa | 小数点以下第 1 位 | 切捨て | 整数位 |

注記 *1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

クレーンの耐震評価は、クレーン本体の転倒またはトロリの落下により、使用済吸着塔が損傷することを防止するため、クレーン本体、浮上り防止装置、走行レールクリップ及び走行レールクリップ取付ボルト（以下、（走行レール取付部材）という。）を選定して実施する。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

クレーンの応力評価に用いる地震荷重及び荷重評価に用いる加速度を算定するための地震応答解析について以下に示す。

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) クレーンと建屋との接合部分である車輪部はレール上に載っており固定されておらず、滑りが発生する構造であるが、クレーンを構成する部材をはり要素にてモデル化した多質点はりモデルに、車輪・レール間のすべり条件は考慮しない応答スペクトル法による解析を適用する。
- (2) 解析コードは「NASTRAN」を使用する。なお、固有値解析及び応力評価に用いる解析コード「NASTRAN」の検証及び妥当性確認等の概要については、参考資料「耐震安全解析に用いるコード (NASTRAN) について」に示す。
- (3) 表 4-1 に示すケースにて吊荷質量を考慮した評価を実施する。

表 4-1 評価ケース

| 評価対象 | | クレーン本体, 浮上り量, 吊具 | | |
|-----------|-----|---------------------|---|---|
| 評価ケース No. | | 1 | 2 | 3 |
| トロリ位置 | 中央側 | ● | | |
| | 揺脚側 | | ● | |
| | 剛脚側 | | | ● |

- (4) 応答スペクトル法による解析の結果より各ケースにて求められた水平 2 方向と鉛直の力及びモーメントを 3 方向 SRSS にて組合せ応力評価を実施する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

クレーン本体、浮上り防止装置及び走行レール取付部材の評価における荷重の組合せ及び許容応力状態について、表 4-2 に示す。

4.2.2 許容応力

クレーン本体、浮上り防止装置及び走行レール取付部材の許容応力を表 4-3 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

クレーン本体、浮上り防止装置及び走行レール取付部材の使用材料の許容応力評価条件を表 4-4 に示す。

表 4-2 荷重の組合せ

| 施設区分 | | 機器名称 | 耐震設計上の 重要度分類 | 機器等の区分 | 荷重の組合せ | 許容応力状態 |
|-------------|----------------|------|-----------------|---------------|-----------------|------------------|
| 放射性廃棄物の廃棄施設 | 放射性廃棄物 取扱設備 | クレーン | B | その他の 支持構造物 | $D+P_d+M_d+S_B$ | B _A S |

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 (ボルト以外) | | | 許容限界 (ボルト等) |
|------------------|-----------------|-------|-------|----------------|
| | 1次応力 | | | 1次応力 |
| | せん断 | 曲げ | 組合せ | 引張 |
| B _A S | 1.5fs | 1.5fb | 1.5ft | 1.5ft |

表 4-4 許容応力評価条件

| 部材名 | | 材 料 | 周囲環境 温度 (°C) | S_y | S_u | $\min(S_y, 0.7S_u)$ |
|---------------|-------------|-----|--------------------|-------|-------|---------------------|
| クレーン本体 | | 評価中 | | | | |
| 連結ボルト | | | | | | |
| 走行浮上り 防止装置 | 爪 | | | | | |
| | 取付 ボルト | | | | | |
| 横行浮上り 防止装置 | 爪 | | | | | |
| | 取付 ボルト | | | | | |
| 走行レール 取付部材 | 取付 ボルト | | | | | |
| | レール クリップ | | | | | |

4.3 解析モデル及び諸元

- (1) クレーンの解析モデルは、クレーン本体をはり要素でモデル化した多質点はりモデルである。解析モデルを図 4-1 に、機器諸元を表 4-5 及び表 4-6 に示す。

表 4-5 機器諸元 (質量)

| | | |
|------|---------------------|-------|
| | | 質量(t) |
| クレーン | トロリ (吊荷含む) | 評価中 |
| | フレーム (ガーダ・脚・サドル) | |

表 4-6 機器諸元 (断面性能)

| 部材名 | 縦弾性 係数 | 断面積 | せん断断面積 | | 断面係数 | | ねじり断面係数 | |
|-------------|------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | E (MPa) | A ₁ (mm ²) | A ₂ (mm ²) | A ₃ (mm ²) | Z ₁ (mm ³) | Z ₂ (mm ³) | Z _{p1} (mm ³) | Z _{p2} (mm ³) |
| ガーダ | 評価中 | | | | | | | |
| 桁つなぎ | | | | | | | | |
| 剛脚・揺脚 | | | | | | | | |
| 剛脚ステー, 脚つなぎ | | | | | | | | |
| 剛脚ステーつなぎ | | | | | | | | |
| サドル | | | | | | | | |

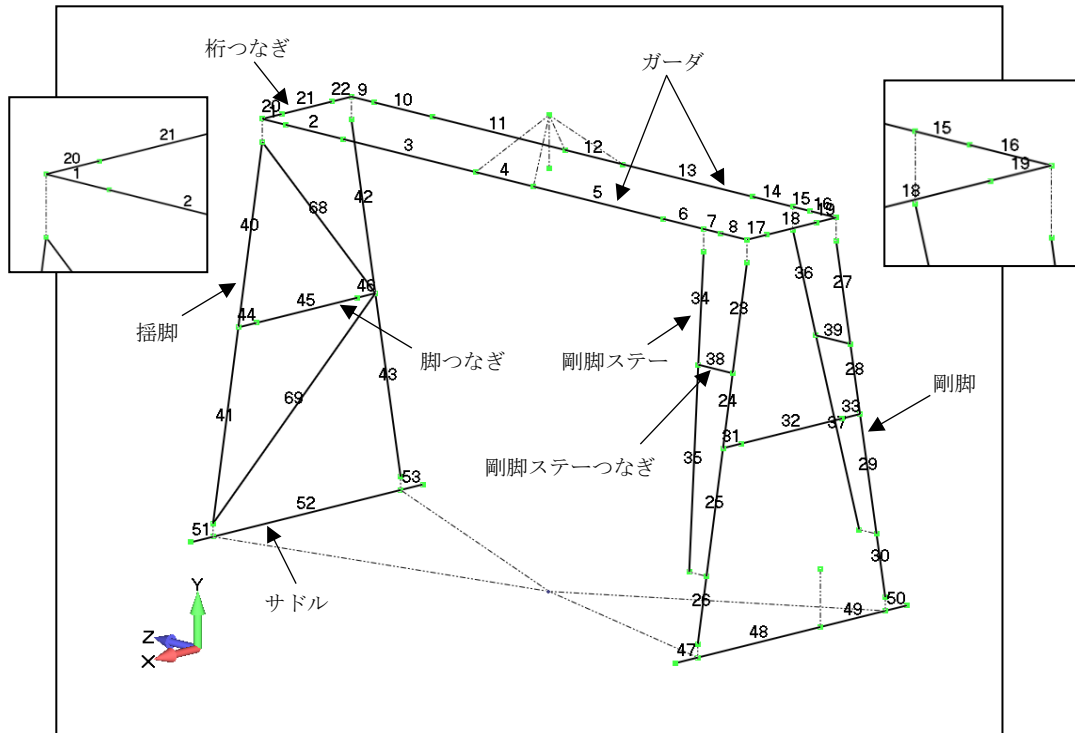
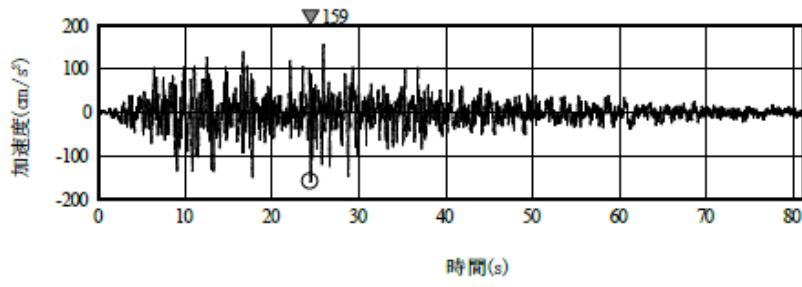


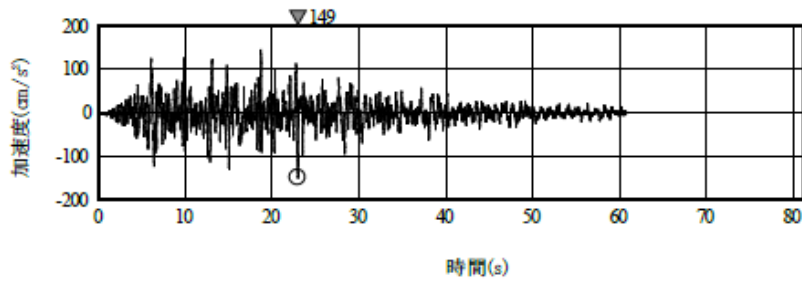
図 4-1 クレーン解析モデル図

4.4 設計用地震力

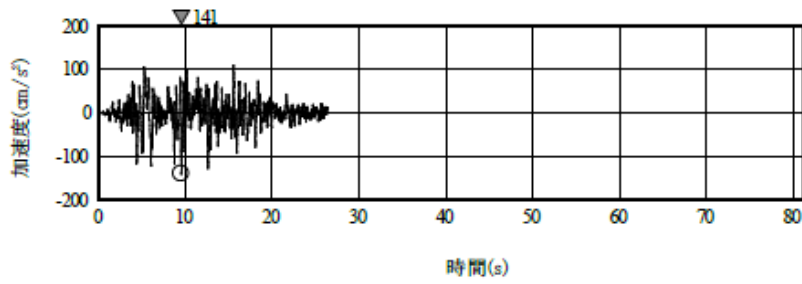
- (1) 耐震計算に用いる設計用地震力は、大型廃棄物保管庫の時刻歴地震動から求められた床応答スペクトル（弾性設計用地震動 $S_d \times 1/2$ ）を適用する。据付けレベルは、大型廃棄物保管庫クレーン設置位置（T. P. 26, 685m）を適用する。
- (2) 時刻歴波の入力位置は、クレーン設置高さ T. P. 26, 685m とする。
- (3) 水平方向の地震波の入力は、大型廃棄物保管庫に設置された建屋方向を踏まえて、クレーン走行方向にはNS方向、横行方向にEW方向を入力することにより評価を実施する。
- (4) 水平方向地震動と鉛直方向地震動の同時入力により解析を実施する。
- (5) 床応答加速度は、建屋の固有周期のシフトを考慮して周期方向に±10%拡幅したものをを用いている。



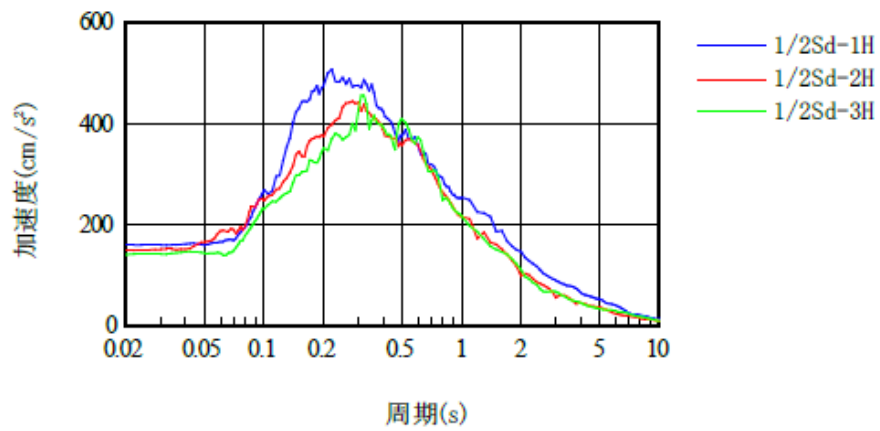
(a) 加速度波形 1/2Sd-1H



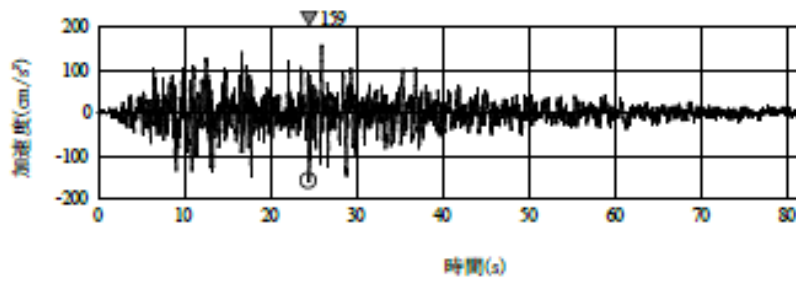
(b) 加速度波形 1/2Sd-2H



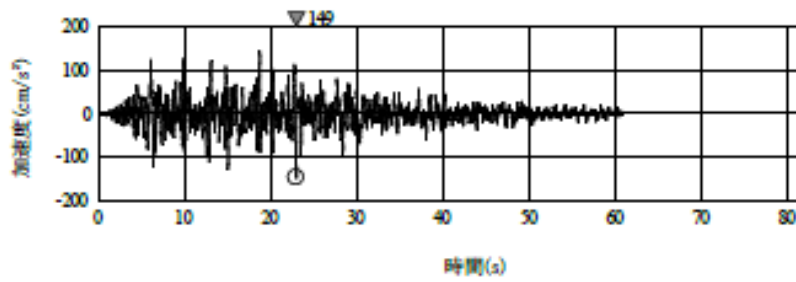
(c) 加速度波形 1/2Sd-3H



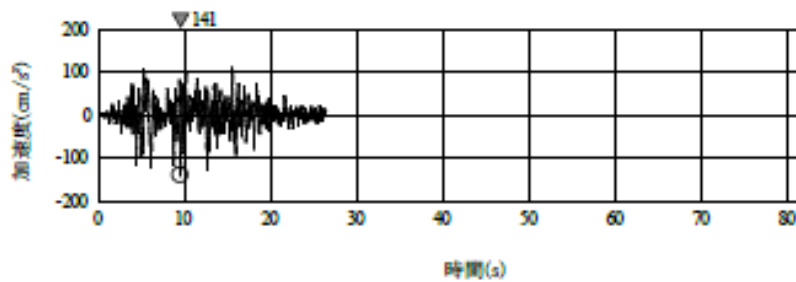
(1FL T.P. 26.685m, 1/2Sd, NS 方向)



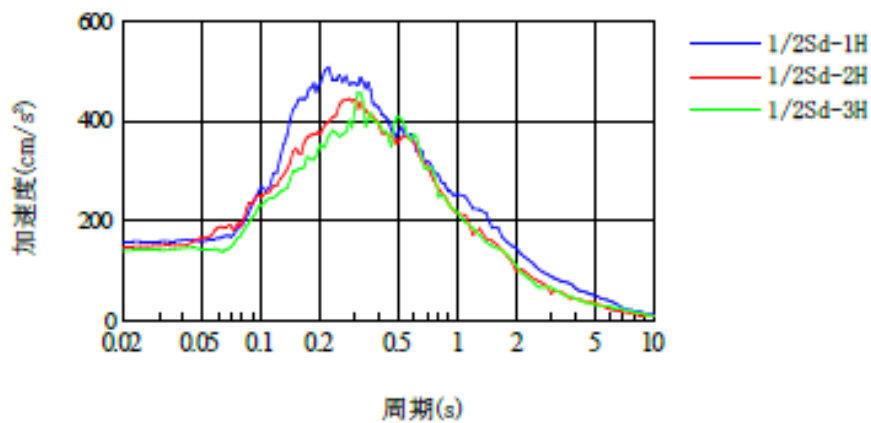
(a) 加速度波形 1/2Sd-1H



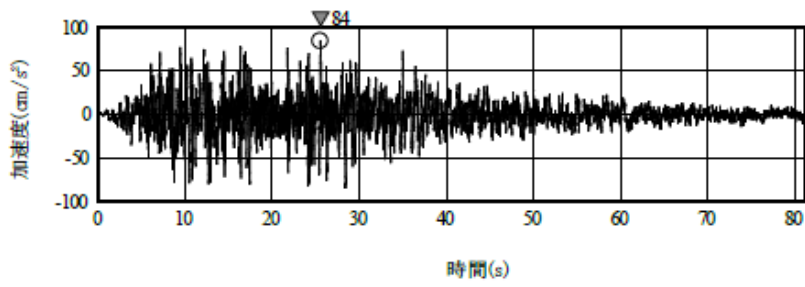
(b) 加速度波形 1/2Sd-2H



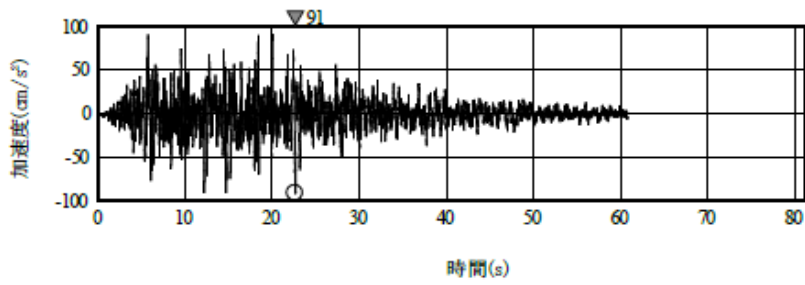
(c) 加速度波形 1/2Sd-3H



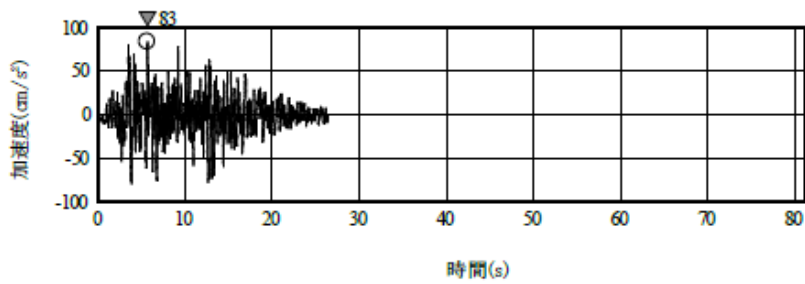
(1FL T.P. 26.685m, 1/2Sd, EW 方向)



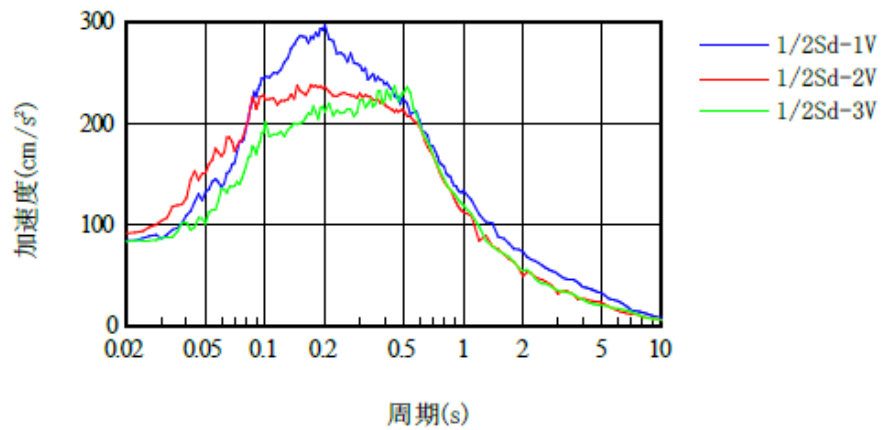
(a) 加速度波形 1/2Sd-1V



(b) 加速度波形 1/2Sd-2V



(c) 加速度波形 1/2Sd-3V



(1FL T.P. 26.685m, 1/2Sd, UD 方向)

4.5 計算方法

固有値解析の結果として、トロリ位置ごとの固有振動数を表 4-8 に、地震応答解析の結果として、クレーン本体の評価に必要な曲げモーメント、ねじりモーメント及びせん断力の最大値、浮上り防止装置の評価に必要な爪 1 個あたりに作用する浮上り力の最大値、走行レール取付部材の評価に必要な 1 車輪当たりの鉛直上向き荷重及び走行直角方向荷重の最大値を表 4-9 に示す。

浮上り防止装置の評価については、クレーンの転倒を拘束するため、サドル及びトロリ下面に図 4-2 に示すような浮上り防止装置が取付けられ、クレーンが浮上った場合には爪が引っ掛かり、浮上りによる転倒または落下を防止する構造となっている。浮上りの発生により、爪及び取付ボルトに荷重が作用するため、応力評価を実施する。

表 4-8 固有値解析結果

| トロリ位置 | 固有振動数 | | |
|-------|-----------|-----------|-----------|
| | X [Hz] | Y [Hz] | Z [Hz] |
| 中央 | 評価中 | | |
| 揺脚側 | | | |
| 剛脚側 | | | |

表 4-9 応答解析結果

| 評価対象 | 種類 | 解析結果 |
|--------------|----------------------------|------|
| クレーン本体の評価 | 水平軸まわり曲げモーメント | 評価中 |
| | 鉛直軸まわり曲げモーメント | |
| | ねじりモーメント | |
| | 水平方向せん断力 | |
| | 鉛直方向せん断力 | |
| 浮上り防止装置の評価 | 走行浮上り防止装置爪 1 個あたりに作用する浮上り力 | 評価中 |
| | 横行浮上り防止装置爪 1 個あたりに作用する浮上り力 | |
| 走行レール取付部材の評価 | 走行車輪 1 輪当たりの水平方向荷重 | 評価中 |
| | 走行車輪 1 輪当たりの鉛直方向荷重 | |

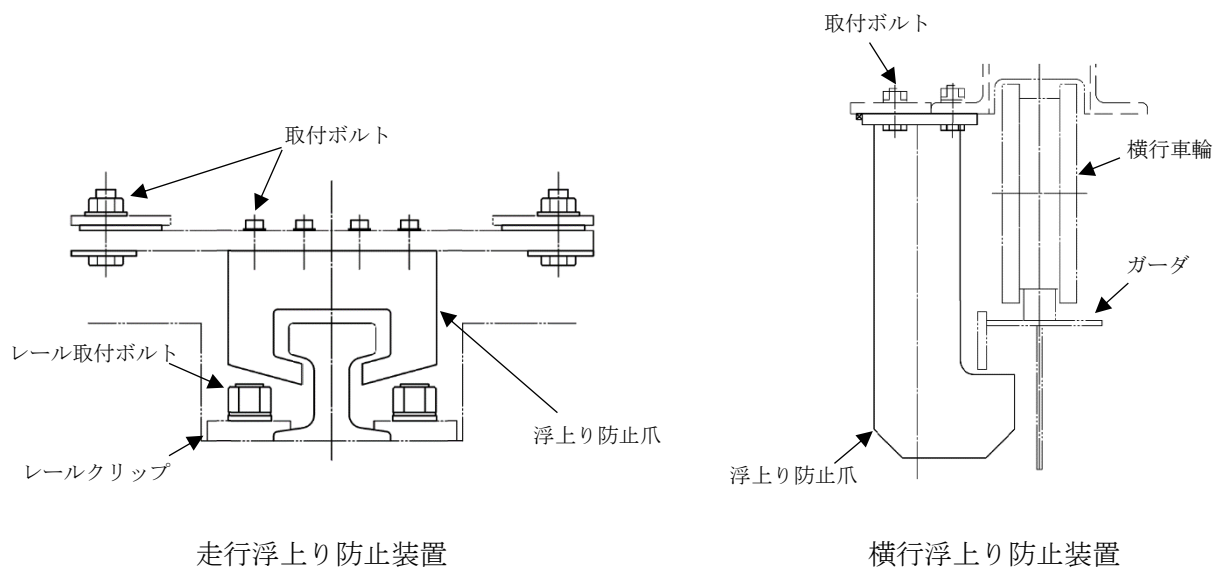


図 4-2 浮上り防止装置

4.5.1 応力の計算方法

4.5.1.1 クレーン本体の応力

(1) 引張, 圧縮応力

$$\sigma_{t1}, \sigma_c = \frac{R_1}{A_1}$$

(2) 曲げ応力

$$\sigma_{b1} = \frac{M_2}{Z_2} + \frac{M_3}{Z_1}$$

(3) せん断応力

$$\tau_1 = \text{MAX} \left\{ \left(\frac{R_2}{A_2} \right) + \left(\frac{M_1}{Z_{p1}} \right), \left(\frac{R_3}{A_3} \right) + \left(\frac{M_1}{Z_{p2}} \right) \right\}$$

(4) 組合せ応力

$$\sigma_1 = \sigma_{t1} + \sigma_{b1}$$

$$\tau_1 = \text{MAX} \left\{ \left(\frac{R_2}{A_2} \right) + \left(\frac{M_1}{Z_{p1}} \right), \left(\frac{R_3}{A_3} \right) + \left(\frac{M_1}{Z_{p2}} \right) \right\}$$

$$\sigma_{k1} = \sqrt{\sigma_1^2 + 3 \times \tau_1^2}$$

(5) 連結ボルト1本あたりに生じる応力

①引張応力

$$\sigma_{t2} = \frac{N_b}{A_{b1}}$$

②せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{Q_b}{A_{b1}}$$

4.5.1.2 走行浮上り防止装置の応力

(1) 走行浮上り防止装置爪 1 個当たりの荷重

$$P_2 = \frac{P_1}{2}$$

(2) 走行浮上り防止装置爪に生じる応力

①爪にかかる P による曲げモーメント

$$M_4 = P_2 \times l_1$$

②曲げ応力

$$\sigma_{b2} = \frac{M_4}{Z_3}$$

③せん断応力

$$\tau_2 = \frac{P_2}{A_4}$$

④組合せ応力

$$\sigma_{k2} = \sqrt{\sigma_{b2}^2 + 3 \times \tau_2^2}$$

(3) 走行浮上り防止装置取付ボルト 1 本当たりに生じる応力

$$\sigma_{t3} = \frac{P_{b1}}{A_{b2}}$$

4.5.1.3 横行浮上り防止装置の応力

(1) 横行浮上り防止装置爪に生じる応力

①爪にかかるPによる曲げモーメント

$$M_5 = P_1 \times l_2$$

②曲げ応力

$$\sigma_{b3} = \frac{M_5}{Z_4}$$

③引張応力

$$\sigma_{t4} = \frac{P_1}{A_5}$$

④組合せ応力

$$\sigma_{k3} = \sigma_{b3} + \sigma_{t4}$$

(2) 横行浮上り防止装置取付ボルト1本あたりに生じる応力

$$\sigma_{t5} = \frac{P_{b2}}{A_{b3}}$$

4.5.1.4 走行レール取付部材の応力

(1) 取付ボルト1本あたりに生じる応力

①引張応力

$$\sigma_{t6} = \frac{P_t}{A_{b4}}$$

②せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{S_b}{A_{b4}}$$

(2) レールクリップに生じる応力

①引張応力

$$\sigma_{t7} = \frac{T_1}{A_6} + \frac{T_2}{A_6}$$

②曲げ応力

$$\sigma_{b3} = \frac{M_6}{Z_5} + \frac{M_7}{Z_5}$$

③せん断応力

$$\tau_3 = \frac{S_1}{A_6} + \frac{S_2}{A_6}$$

④組合せ応力

$$\sigma_{k4} = \sqrt{\{(\sigma_{t7} + \sigma_{b3})^2 + 3 \times \tau_3^2\}}$$

4.6 計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重は、本計算書の【クレーンの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.7 応力の評価

4.7.1 クレーン本体の応力評価

4.5.1.1(1)

4.5.1.1(4)項で求めたクレーン本体の組合せ応力 σ_{k1} は下記許容組合せ応力 f_t 以下であること。

4.5.1.1(5)項で求めた連結ボルトの引張応力 σ_{t2} は下記許容引張応力 f_t 以下であること。

| | 許容組合せ応力 f_t | 許容引張応力 f_t |
|-----|---------------------------|-------------------------|
| 計算式 | $\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$ | $\frac{F}{2} \cdot 1.5$ |

4.7.2 走行浮上り防止装置の応力評価

4.5.1.2(2)項で求めた走行浮上り防止装置爪に生じる組合せ応力 σ_{k2} は下記許容組合せ応力 f_t 以下であること。

4.5.1.2(3)項で求めた走行浮上り防止装置取付ボルトに生じる引張応力 σ_{t3} は下記許容引張応力 f_t 以下であること。

| | 許容組合せ応力 f_t | 許容引張応力 f_t |
|-----|---------------------------|-------------------------|
| 計算式 | $\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$ | $\frac{F}{2} \cdot 1.5$ |

4.7.3 横行浮上り防止装置の応力評価

4.5.1.3(2)項で求めた横行浮上り防止装置爪に生じる組合せ応力 σ_{k3} は下記許容組合せ応力 f_t 以下であること。

4.5.1.3(3)項で求めた横行浮上り防止装置取付ボルトに生じる引張応力 σ_{t5} は下記許容引張応力 f_t 以下であること。

| | 許容組合せ応力 f_t | 許容引張応力 f_t |
|-----|---------------------------|-------------------------|
| 計算式 | $\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$ | $\frac{F}{2} \cdot 1.5$ |

4.7.4 走行レール取付部材の応力評価

4.5.1.4(1)項で求めた走行レール取付ボルトに生じる引張応力 σ_{t6} は下記許容引張応力 f_t 以下であること。

4.5.1.4(2)項で求めた走行レールレールクリップに生じる組合せ応力 σ_{k4} は下記許容組合せ応力 f_t 以下であること。

| | 許容引張応力 f_t | 許容組合せ応力 f_t |
|-----|-------------------------|---------------------------|
| 計算式 | $\frac{F}{2} \cdot 1.5$ | $\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$ |

5. 評価結果

5.1 評価結果

クレーンの耐震評価結果を次項以降【クレーンの耐震性についての計算結果】に示す。発生値は、許容応力を満足しており、耐震性を有することを確認した。

【クレーンの耐震性についての計算結果】

機器要目

クレーン本体

| A ₁ | A ₂ | A ₃ | A _{b1} | M ₁ | M ₂ | M ₃ | N _b | Q _b |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| (mm ²) | (mm ²) | (mm ²) | (mm ²) | (N・mm) | (N・mm) | (N・mm) | (N) | (N) |
| 評価中 | | | | | | | | |

| R ₁ | R ₂ | R ₃ | Z ₁ | Z ₂ | Z _{p1} | Z _{p2} |
|----------------|----------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| (N) | (N) | (N) | (mm ³) | (mm ³) | (mm ³) | (mm ³) |
| 評価中 | | | | | | |

25

走行浮上り防止装置

| A ₄ | A _{b2} | l ₁ | P ₁ | P _{b1} | Z ₃ |
|--------------------|--------------------|----------------|----------------|-----------------|--------------------|
| (mm ²) | (mm ²) | (mm) | (N) | (N) | (mm ³) |
| 評価中 | | | | | |

横行浮上り防止装置

| A ₅ | A _{b3} | l ₂ | P ₁ | P _{b2} | Z ₁ |
|--------------------|--------------------|----------------|----------------|-----------------|--------------------|
| (mm ²) | (mm ²) | (mm) | (N) | (N) | (mm ³) |
| 評価中 | | | | | |

走行レール取付部材

| | | | | | | |
|--------------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| A ₆ | A _{b4} | M ₆ | M ₇ | P _t | S ₁ | S ₂ |
| (mm ²) | (mm ²) | (N・mm) | (N・mm) | (N) | (N) | (N) |
| 評価中 | | | | | | |

| | | | |
|----------------|----------------|----------------|--------------------|
| S _b | T ₁ | T ₂ | Z ₅ |
| (N) | (N) | (N) | (mm ³) |
| 評価中 | | | |

材料物性データ

| クレーン本体 | | 連結ボルト | |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| S _y (MPa) | S _u (MPa) | S _y (MPa) | S _u (MPa) |
| 評価中 | | 評価中 | |

| 走行浮上り防止装置 | | | | 横行浮上り防止装置 | | | |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 爪 | | 取付ボルト | | 爪 | | 取付ボルト | |
| S _y (MPa) | S _u (MPa) | S _y (MPa) | S _u (MPa) | S _y (MPa) | S _u (MPa) | S _y (MPa) | S _u (MPa) |
| 評価中 | | 評価中 | | 評価中 | | 評価中 | |

| 走行レール取付部材 | | | |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 取付ボルト | | レールクリップ | |
| S _y (MPa) | S _u (MPa) | S _y (MPa) | S _u (MPa) |
| 評価中 | | 評価中 | |

結論

| 評価部位 | | 材料 | 応力 | | 算出応力 | 許容応力 |
|-----------|---------|-----|-----|---------------|------|------|
| クレーン本体 | | 評価中 | 組合せ | σ_{k1} | 評価中 | 評価中 |
| 連結ボルト | | | 引張 | σ_{t2} | | |
| 走行浮上り防止装置 | 爪 | | 組合せ | σ_{k2} | | |
| | 取付ボルト | | 引張 | σ_{t3} | | |
| 横行浮上り防止装置 | 爪 | | 組合せ | σ_{k3} | | |
| | 取付ボルト | | 引張 | σ_{t5} | | |
| 走行レール取付部材 | 取付ボルト | | 引張 | σ_{t6} | | |
| | レールクリップ | | 組合せ | σ_{k4} | | |

すべて許容応力以下です。

耐震安全解析に用いるコード (NASTRAN) について

(1) 概要

NASTRAN コードは 1968 年アメリカ航空宇宙局 (NASA) で開発され、1971 年に米国 MacNeal-Schwendler Corporation (MSC 社) から発売された有限要素法に基づく構造解析等の汎用解析コード (MSCNastran) であり、航空宇宙、自動車、造船、重機械、原子力機器、土木・建築など重工業を中心に広く受け入れられている。クレーンでは固有振動解析に利用されている。

(2) 機能

NASTRAN コードは固有振動解析に際して以下の機能を有している。

- ①ある固有振動範囲の設定、あるいは必要固有値個数を設定すればその範囲の多くの固有振動及び必要固有値個数に対応する固有振動を求めることができる。
- ②各振動モードに対する刺激係数、有効質量を算出できる。
- ③引張等の初期応力があれば、この初期応力を考慮した固有振動解析ができる。
- ④スペクトルモード解析の入力データとして固有振動解析結果をそのまま利用できる。
- ⑤使用要素は一次元～三次元の多くの要素が適用できる。
- ⑥質量は集中質量、分布質量が適用できる。

(3) 解析フロー

NASTRAN コードの固有振動解析フローを図 3-16 に示す。

(4) 使用実績

NASTRAN コードは、これまで多くの固有振動解析に対し使用実績がある。

(5) 検証方法

理論値との比較による検証が実施されていることを確認。

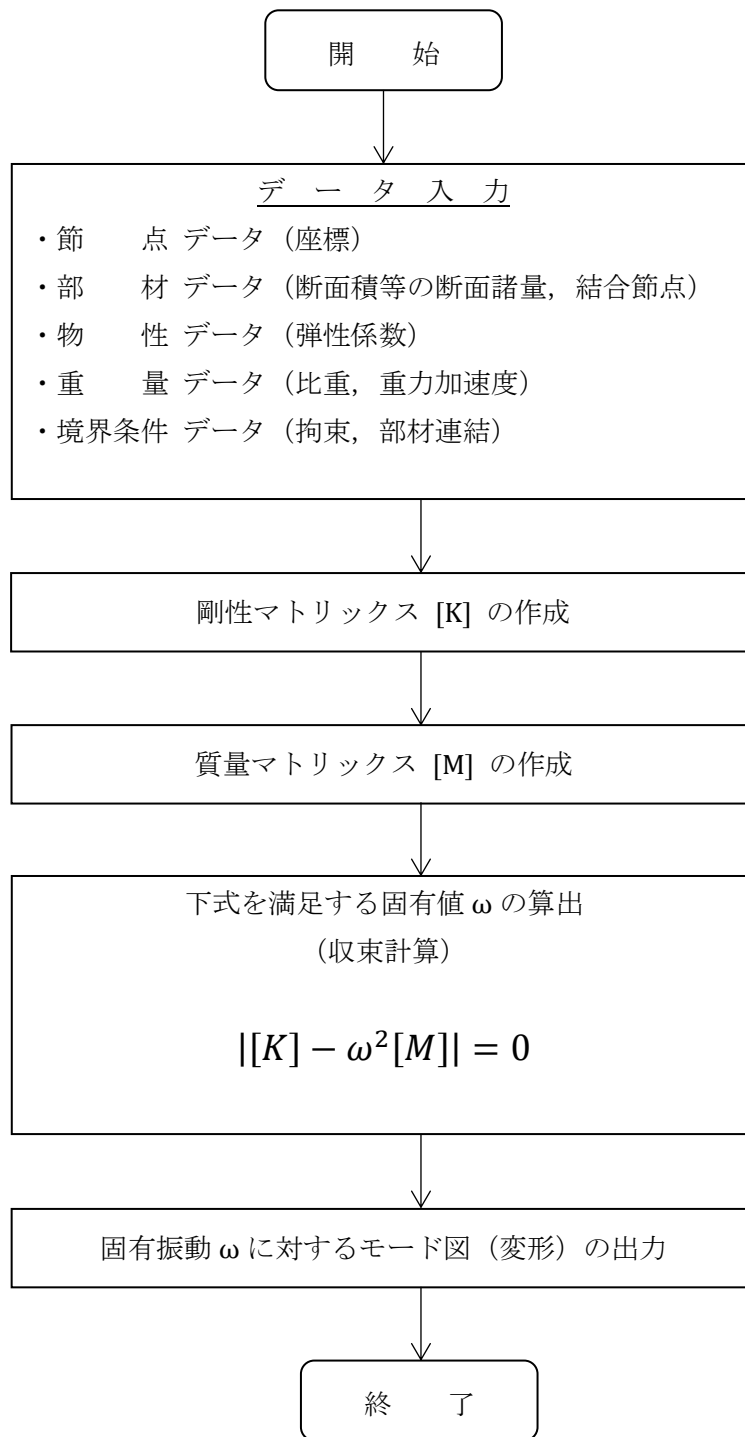


図 3-16 NASTRAN コードの固有振動解析フロー図