

大型廃棄物保管庫の揚重設備および架台設置に係る実施計画の変更について
2023年8月8日

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）

1. 概要

本資料は、大型廃棄物保管庫に設置するクレーンが弾性設計用地震動 S_d 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および使用済吸着塔保管架台（以下、「保管架台」という。）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 配置概要

使用済吸着塔保管時において、クレーンは、図 2-1 の位置関係図に示すように、貯蔵エリア上を運搬することから、上位クラスである使用済吸着塔および保管架台に対して倒壊や転倒、トロリの落下により波及的影響を及ぼすおそれがある。

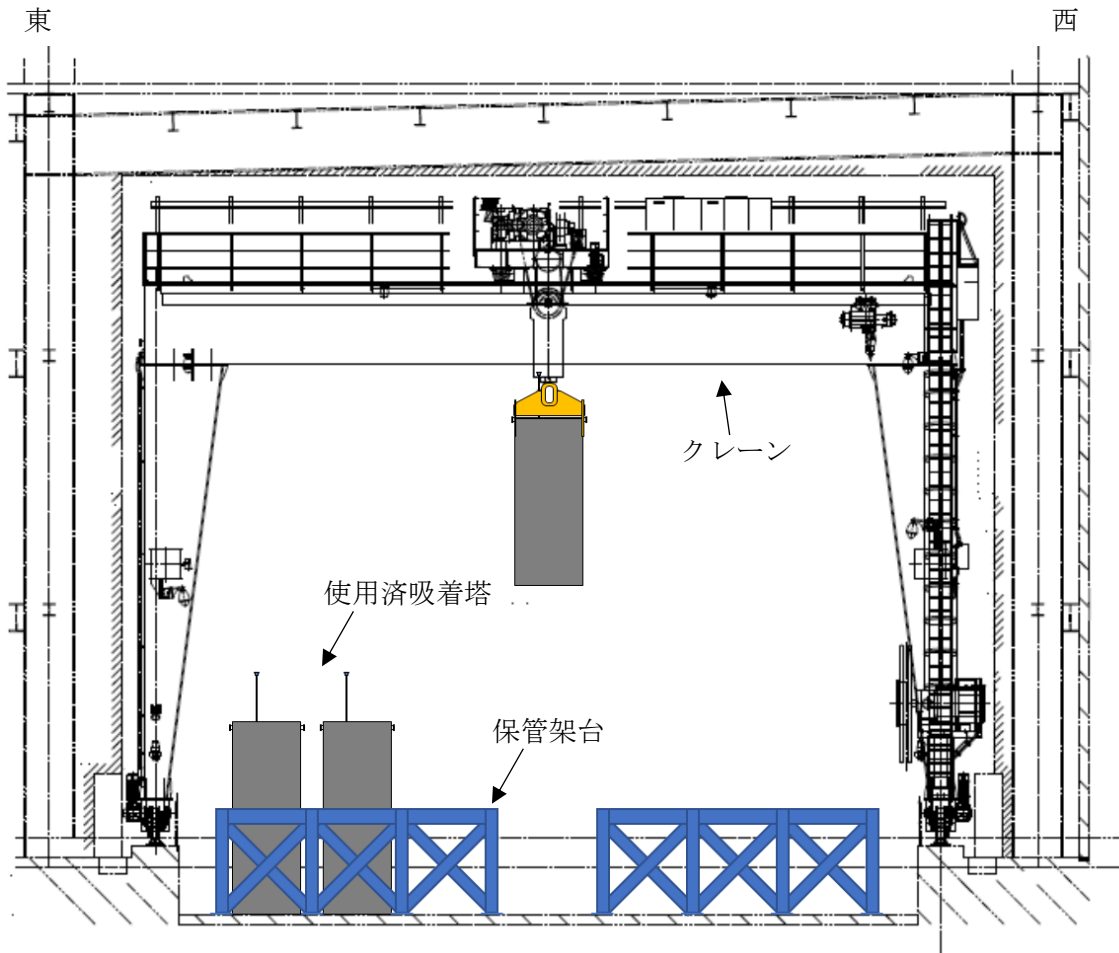


図 2-1 クレーンと使用済吸着塔の位置関係図

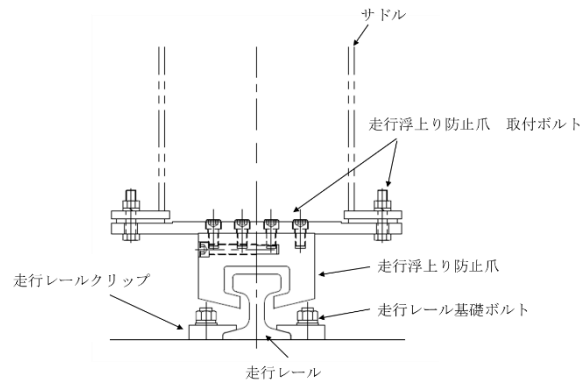
※保管架台については構造検討中

2.2 構造計画

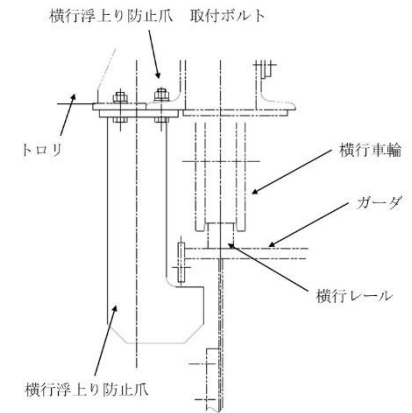
クレーンの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 クレーンの構造計画

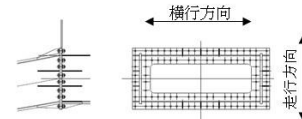
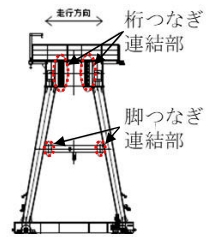
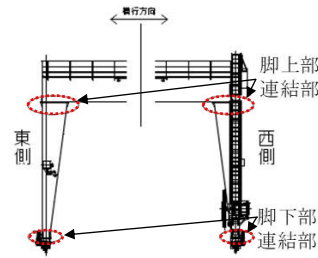
計画の概要		概略構造図	
基礎・支持構造	主体構造		
クレーンは大型廃棄物保管庫に設置された走行レールにより支持され、トロリはガーダに設置された横行レールにより支持される。	クレーン本体 ガーダ トロリ サドル 剛脚 桁つなぎ 脚つなぎ		
			(単位 : mm)



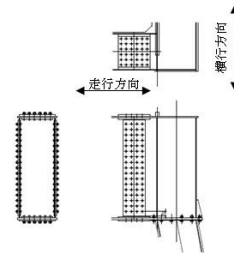
走行浮上り防止治具



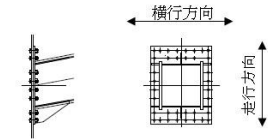
横行浮上り防止治具



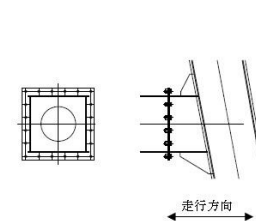
脚上部連結部



桁つなぎ連結部



脚下部連結部



脚つなぎ連結部

2.3 評価方針

クレーンの応力評価は、「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、「4.3 解析モデル及び諸元」および「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく弾性設計用地震動 S_d による応力等が、許容限界の範囲内に収まることを「4.1 地震応答解析および構造強度評価方法」に示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「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。

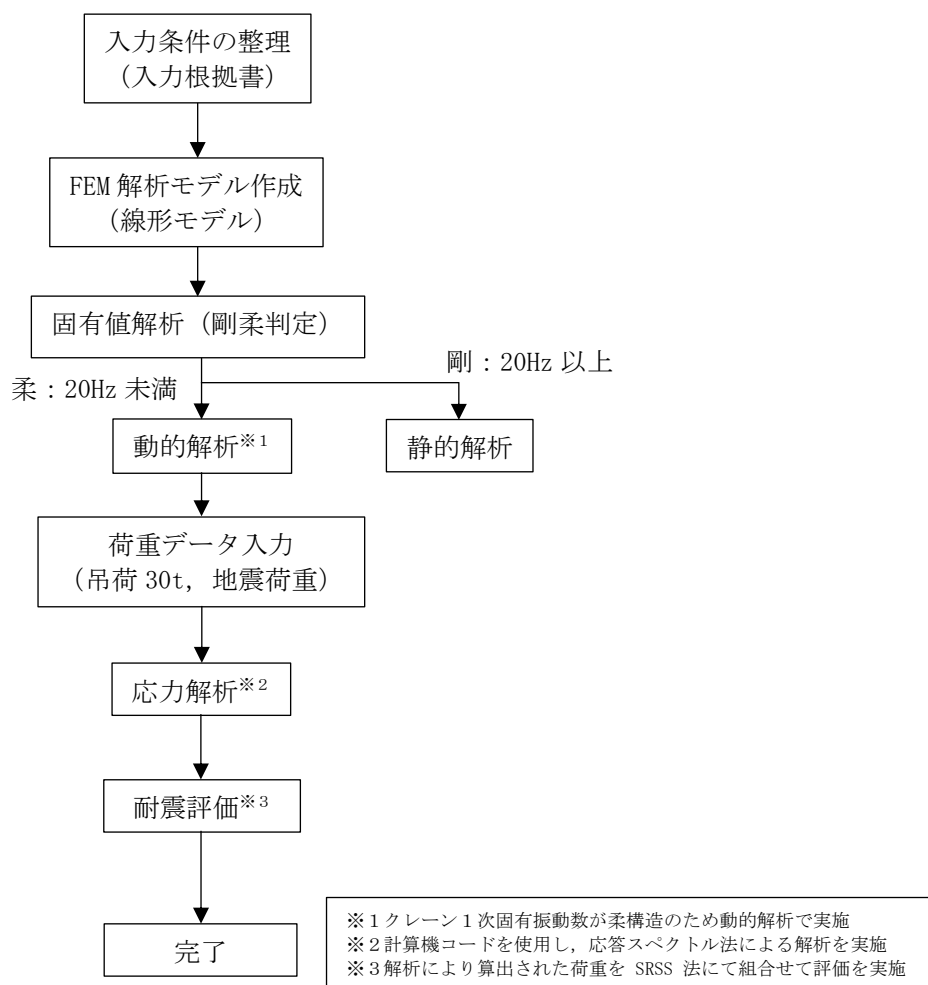


図 2-2 クレーンの耐震評価フロー

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 NC1-2005/2007) (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 (JEAG4601・補-1984, JEAG4601-1987 および JEAG4601-1991 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月および平成3年6月)
- (3) 日本産業規格 (日本規格協会)
- (4) 鋼構造設計規準 (日本建築学会)
- (5) クレーン耐震設計指針 (JCAS1101-2018) (日本クレーン協会)

2.5 評価に適用する確認用地震動

現実的な評価では、確認用地震動は Ss900 としているが、以下の施設・設備の特徴を考慮すると、Ss900 に対する使用済吸着塔および保管架台への波及的影響は低いいため、確認用地震動は Sd450 とする。

- (1) クレーンの運搬ルートは、保管中の使用済吸着塔の上を通過しないことを基本とし、通常停止位置 (ホームポジション) が、保管中の使用済吸着塔に干渉する位置ではない。
- (2) 貯蔵エリア (北) (中) での保管では、使用済吸着塔とクレーン通常停止位置の離隔が十分確保されている。
- (3) 使用済吸着塔を保管した後は、原則としてクレーンが移動することはない。

2.6 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

本資料で表示する数値の丸め方は、表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 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
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	t	—	—	整数位 ^{*1}
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}
断面係数	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}
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 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	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位 ^{*3}

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 付録材料図表および JIS 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、「4.1 地震応答解析および構造強度評価方法」に示す条件に基づき、クレーンの倒壊や転倒、トロリの落下により、使用済吸着塔および保管架台が損傷することを防止するため、クレーン本体、連結ボルト、走行／横行浮上り防止治具、走行レール取付部材を対象に実施する。クレーンの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 地震応答解析および構造強度評価

4.1 地震応答解析および構造強度評価方法

(1) クレーン本体及びトロリは、各々走行レールおよび横行レール上に載っているため、地震時は走行／横行方向に対して、水平方向の荷重が最大静止摩擦力を上回る場合に車輪－レール間ですべりが発生する。

よって、走行方向は全体荷重の 3 割、横行方向はトロリ・吊荷に対して 3 割の荷重を考慮する。なお、走行・横行ともに車輪 4 個のうち摩擦を受けるのは駆動輪の 2 個であるが、保守的に 4 個の車輪で摩擦を受けることとする。

(2) すべりを考慮した荷重の算定にあたっては、地震応答解析より得られる鉛直荷重（最大値）に最大静止摩擦係数（ $\mu=0.3$ ）を乗じた摩擦力をすべり判定値として地震応答解析より得られる水平荷重と比較し、すべり判定値を最大とした水平荷重がクレーンに作用するものとする。

(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、連結ボルト、走行／横行浮上り防止治具、走行レール取付部材		
評価ケース No.		1	2	3
トロリ位置	中央	●		
	東側		●	
	西側			●

(4) クレーンの評価は応答スペクトル法を用いるものとし、解析結果より、各ケースにて求められた水平 2 方向と鉛直の力およびモーメントを SRSS にて組合せ、応力評価を実施する。

4.2 荷重の組合せおよび許容応力

4.2.1 荷重の組合せおよび供用状態

クレーン本体、連結ボルト、走行／横行浮上り防止治具、走行レール取付部材の評価における荷重の組合せおよび供用状態について表 4-2 に示す。

4.2.2 許容応力

クレーン本体、連結ボルト、走行／横行浮上り防止治具、走行レール取付部材の許容応力を表 4-3 に示す。

表 4-2 荷重の組合せおよび供用状態

耐震クラス	荷重の組合せ	供用状態
C (Sd450)	D+P _D +M _b +S _d	Cs

注) 波及的影響評価では、供用状態 Ds を適用とするが、
本評価においては保守的に供用状態 Cs を適用する。

表 4-3 許容応力 (その他の支持構造物)

供用状態	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	
	引張	圧縮	曲げ	せん断	引張	せん断
Cs	1.5ft	1.5fc	1.5fb	1.5fs	1.5ft	1.5fs

注) 応力の組合せが考えられる場合は、組合せ応力に対しても評価を行う。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

使用材料の許容応力評価条件を表 4-4 に示す。

表 4-4(1) 許容応力評価条件

部材名		材 料	周辺環 境温度 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	min(S _y , 0.7S _u) (MPa)
クレーン本体		SM570* ¹ (16mm < t ≤ 40mm)	54			
連結ボルト		F10T* ²	54			
		S10T* ²	54			
走行浮上り 防止治具	爪	SS400* ¹ (100mm < t)	54			
	取付 ボルト	12.9T* ²	54			
		8.8T* ²	54			
横行浮上り 防止治具	爪	SM570* ¹ (16mm < t ≤ 40mm)	54			
	取付 ボルト	12.9T* ²	54			
走行レール 取付部材	レール クリップ	FCD450* ²	54			
		SS400* ¹ (16mm < t ≤ 40mm)	54			
	基礎 ボルト	SS400* ¹ (16mm < t ≤ 40mm)	54			

*1 Sy 値・Su 値は JSME 付録材料表 Part5 表 8 および表 9 に記載の値より算出

*2 Sy 値・Su 値は JIS 記載値より算出

表 4-4(2) 許容応力評価条件

評価部位	材 料	周辺環 境温度 (°C)	定格荷重 (N)	安全率	許容荷重 (N)
ワイヤロープ	SWRH 62A	54			
フック	S35C	54			

4.3 解析モデルおよび諸元

解析モデルを図 4-1 に、機器諸元を表 4-5、表 4-6 および表 4-7 に示す。

- (1) クレーンの鋼材は、断面形状に基づき断面特性を設定した3次元梁モデルとする。
- (2) ガーダ上のトロリ位置は、中央および両端部にある場合の3モデルを作成。
- (3) クレーンの質量として、クレーン本体、トロリ（吊荷含む）を考慮する。
- (4) トロリの質量は、吊荷の重量や高さによって重心位置が変動するためトロリ中心の頂部に設定し、吊荷はガーダ中心高さと同じレベルでトロリに吊られていると仮定しモデル化する。なお、吊荷の振れは評価上考慮しない。
- (5) クレーンに付属する構造物（補巻用レール、梯子等）の質量は見込むが、強度メンバには含めない。
- (6) 拘束条件として、クレーンは走行駆動輪により走行・横行・上下NS・EW・UD方向を拘束し、走行従動輪にて横行・上下EW・UD方向を拘束する。また、トロリは横行駆動輪によりNS・EW・UD方向を拘束し、横行従動輪にてNS・UD方向を拘束する。
- (7) 解析コードは、「NASTRAN」を使用し、固有値及び荷重を求める。

表 4-5 機器諸元 (質量)

		質量(t)
クレーン	クレーン本体 (トロリ含む)	95.9
	吊荷	30.0

表 4-6(1) クレーン本体部材機器諸元 (断面特性)

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		ポアソン比
	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)	ν (-)
ガーダ									
桁つなぎ									
脚上部									
脚下部									
脚つなぎ									
サドル									

表 4-7 ボルトの諸元

名称	型式	断面積
		(mm ²)
走行浮上り防止爪取付ボルト	M20	314
横行浮上り防止爪取付ボルト	M20	314
連結ボルト	M24	452
走行レール基礎ボルト	M24	452

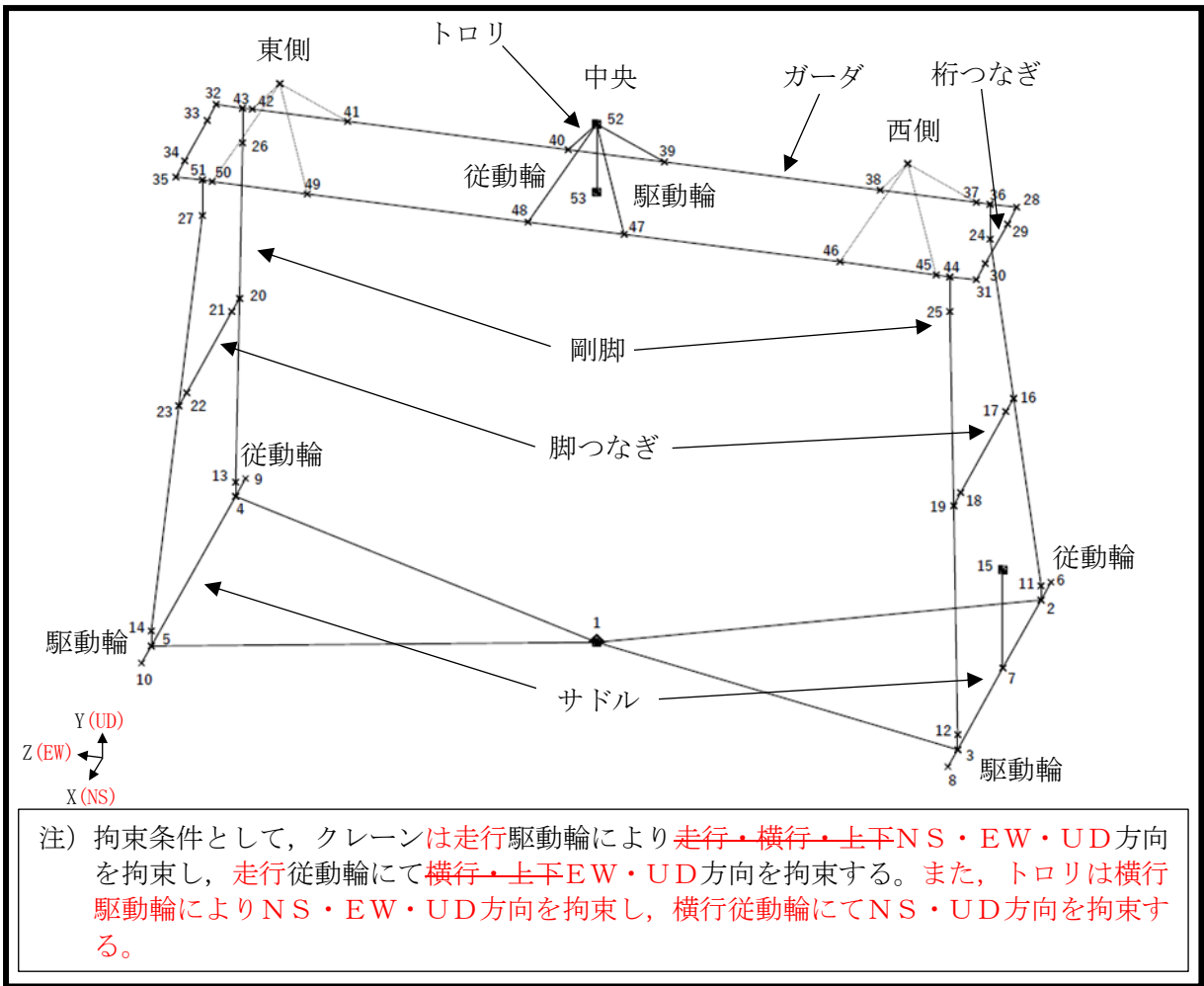


図 4-1 クレーン解析モデル図

4.4 固有周期

各解析ケースにおける固有値解析の結果を表 4-8 に示す。また、振動モード図を図 4-2 に示す。

表 4-8(1) 固有値解析結果 (評価ケース No.1 (トロリ位置 : 中央, 加振方向 : NS 方向))

次数	固有周期 [s]	刺激係数*		
		水平方向		鉛直方向
		NS	EW	
1次				
2次				
3次				
4次				

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及び加振方向を示すベクトルの積から算出した値を示す。

表 4-8(2) 固有値解析結果 (評価ケース No.1 (トロリ位置 : 中央, 加振方向 : EW 方向))

次数	固有周期 [s]	刺激係数*		
		水平方向		鉛直方向
		NS	EW	
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				

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及び加振方向を示すベクトルの積から算出した値を示す。

表 4-8(3) 固有値解析結果 (評価ケース No.1 (トロリ位置 : 中央, 加振方向 : 鉛直))

次数	固有周期 [s]	刺激係数*		
		水平方向		鉛直方向
		NS	EW	
1次				
2次				
3次				
4次				

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及び加振方向を示すベクトルの積から算出した値を示す。

表 4-8(4) 固有値解析結果（評価ケース No.2（トロリ位置：東側，加振方向：NS 方向））

次数	固有周期 [s]	刺激係数*		
		水平方向		鉛直方向
		NS	EW	
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				

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及び加振方向を示すベクトルの積から算出した値を示す。

表 4-8(5) 固有値解析結果（評価ケース No.2（トロリ位置：東側，加振方向：EW 方向））

次数	固有周期 [s]	刺激係数*		
		水平方向		鉛直方向
		NS	EW	
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				

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及び加振方向を示すベクトルの積から算出した値を示す。

表 4-8(6) 固有値解析結果（評価ケース No.2（トロリ位置：東側，加振方向：鉛直））

次数	固有周期 [s]	刺激係数*		
		水平方向		鉛直方向
		NS	EW	
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				

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及び加振方向を示すベクトルの積から算出した値を示す。

表 4-8(7) 固有値解析結果 (評価ケース No.3 (トロリ位置 : 西側, 加振方向 : NS 方向))

次数	固有周期 [s]	刺激係数*		
		水平方向		鉛直方向
		NS	EW	
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				

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及び加振方向を示すベクトルの積から算出した値を示す。

表 4-8(8) 固有値解析結果 (評価ケース No.3 (トロリ位置 : 西側, 加振方向 : EW 方向))

次数	固有周期 [s]	刺激係数*		
		水平方向		鉛直方向
		NS	EW	
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				

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及び加振方向を示すベクトルの積から算出した値を示す。

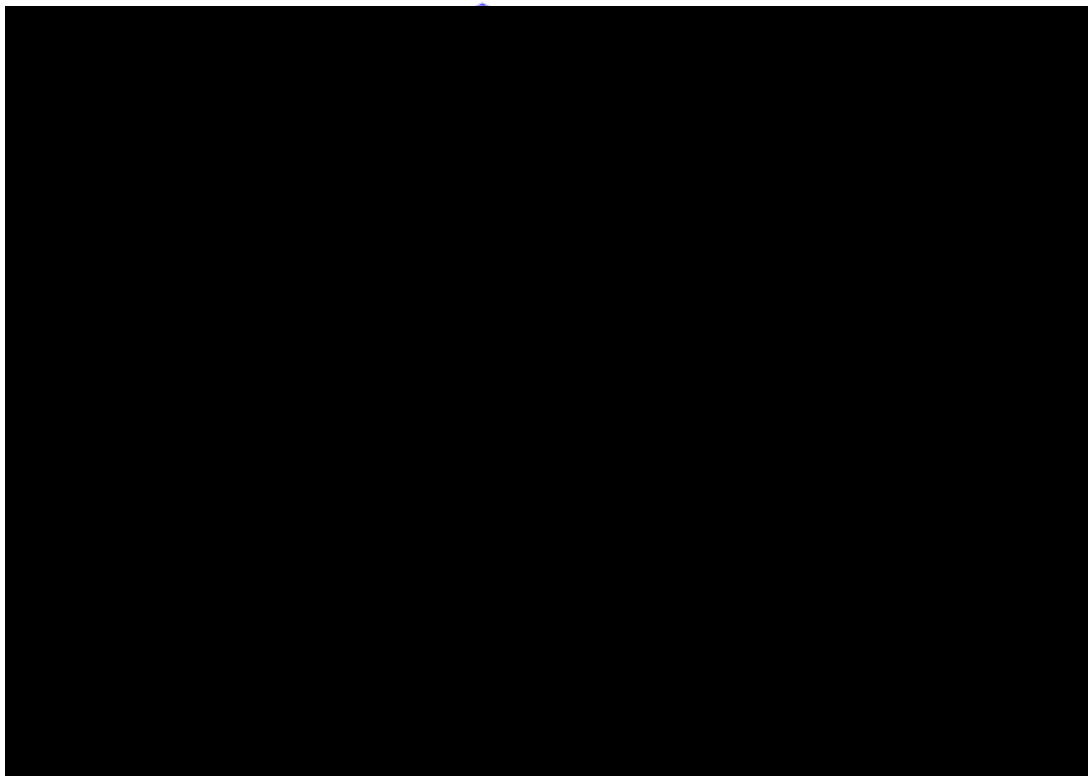
表 4-8(9) 固有値解析結果 (評価ケース No.3 (トロリ位置 : 西側, 加振方向 : 鉛直))

次数	固有周期 [s]	刺激係数*		
		水平方向		鉛直方向
		NS	EW	
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				

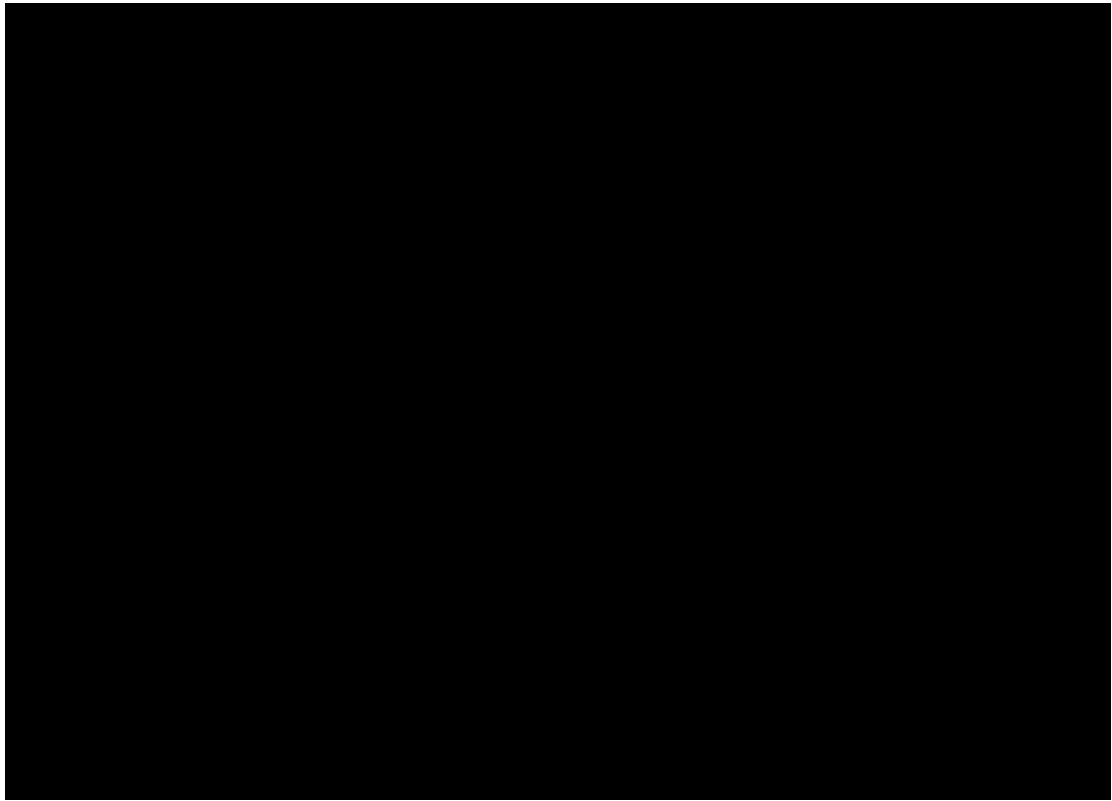
注記* : 刺激係数は, モード質量を正規化し, 固有ベクトルと質量マトリックス及び加振方向を示すベクトルの積から算出した値を示す。



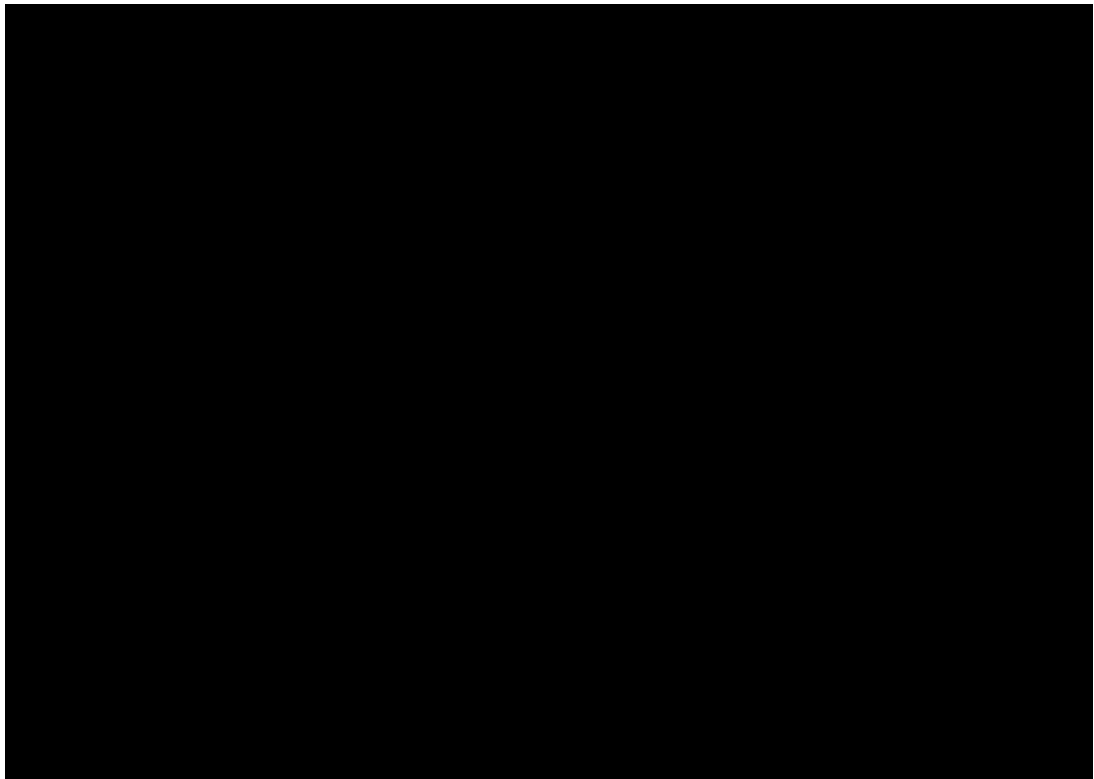
NS 方向最小固有値モード (トロリ位置 : 中央, 加振方向 : NS 方向)



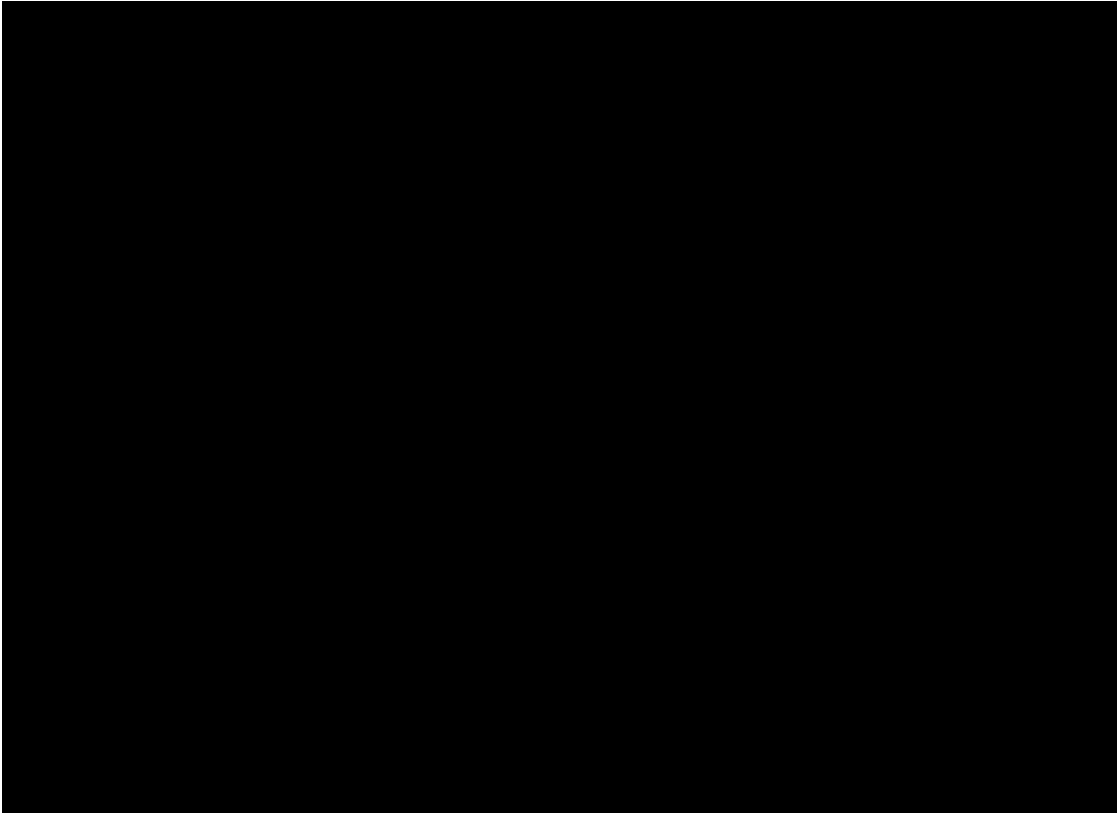
EW 方向最小固有値モード (トロリ位置 : 中央, 加振方向 : NS 方向)



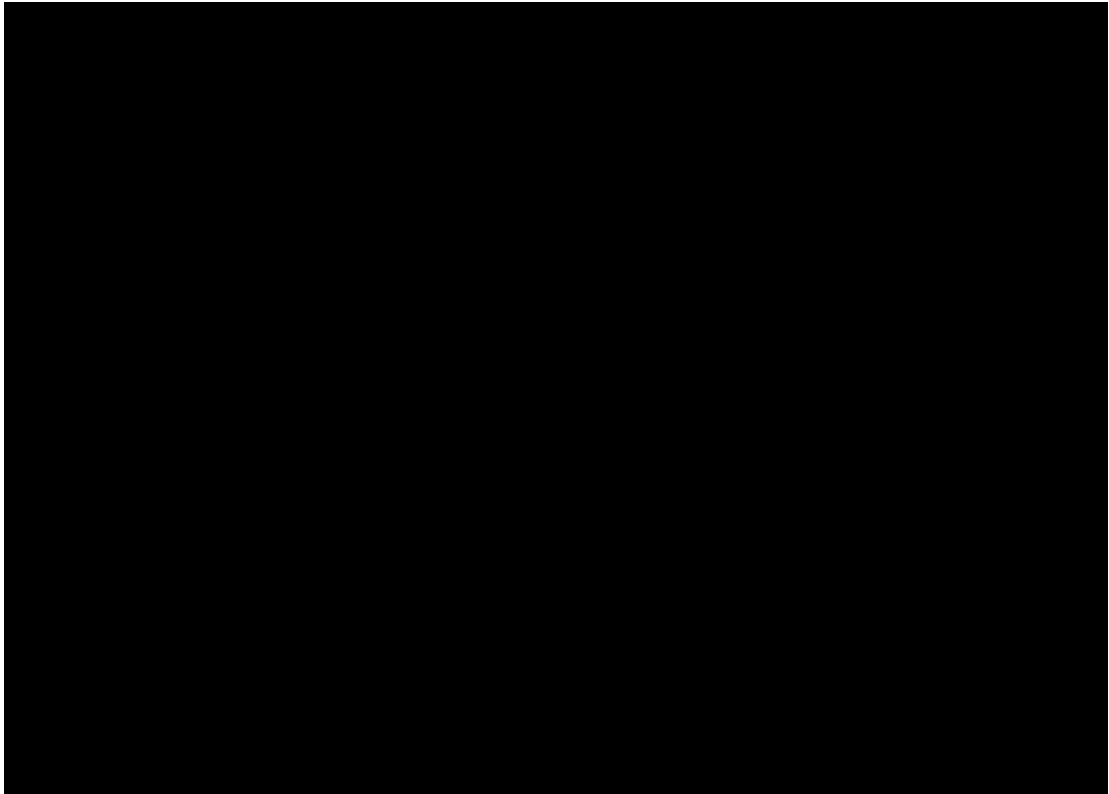
鉛直方向最小固有値モード（トロリ位置：中央，加振方向：NS 方向）



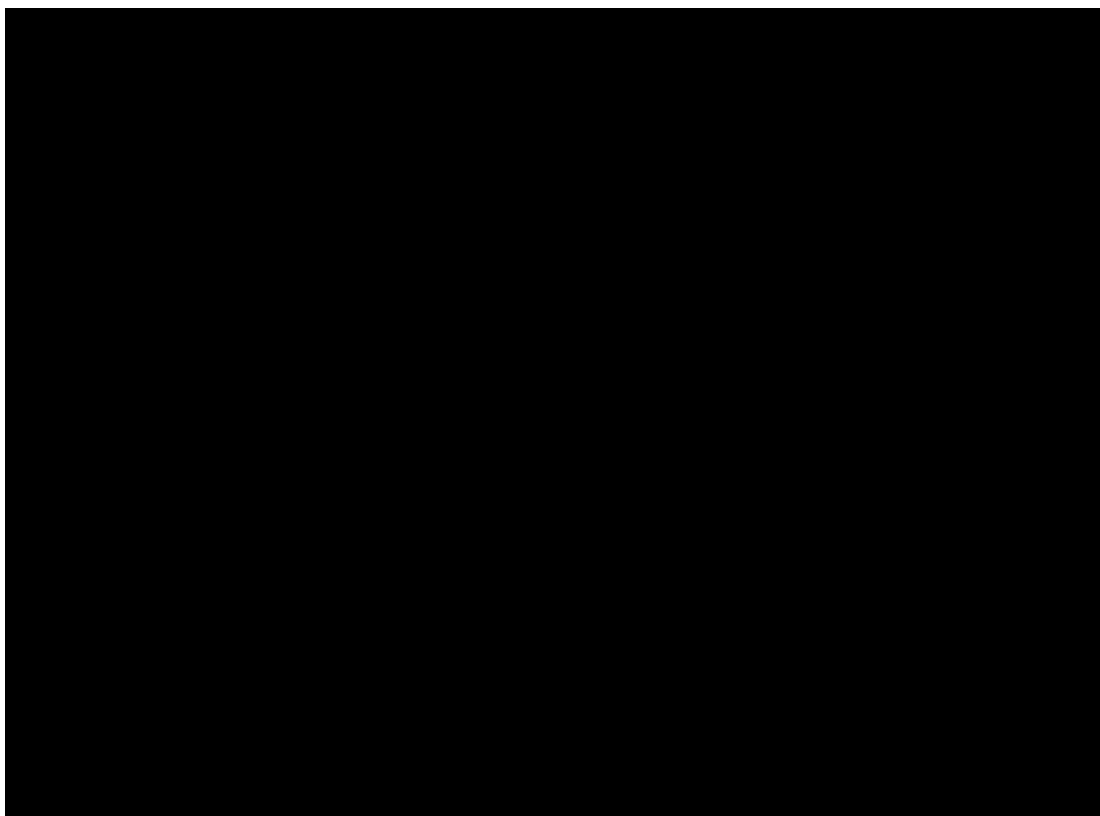
NS 方向最小固有値モード（トロリ位置：中央，加振方向：EW 方向）



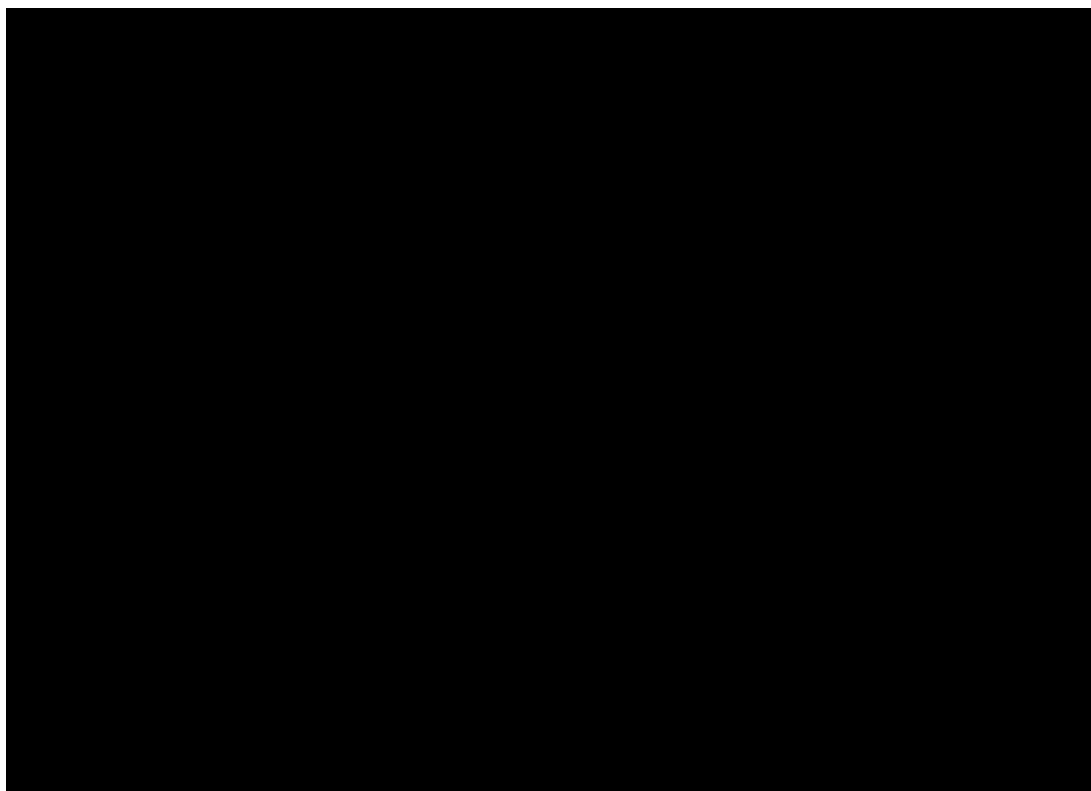
EW 方向最小固有値モード (トロリ位置 : 中央, 加振方向 : EW 方向)



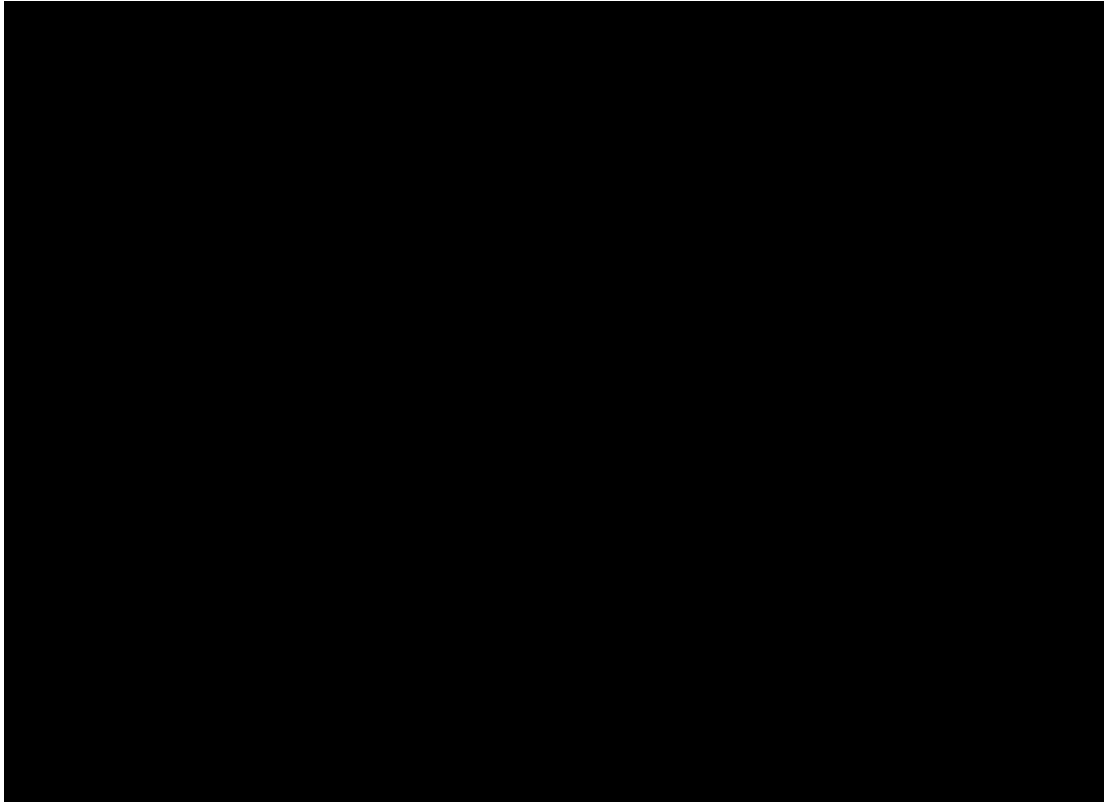
鉛直方向最小固有値モード (トロリ位置 : 中央, 加振方向 : EW 方向)



NS 方向最小固有値モード（トロリ位置：中央，加振方向：鉛直方向）

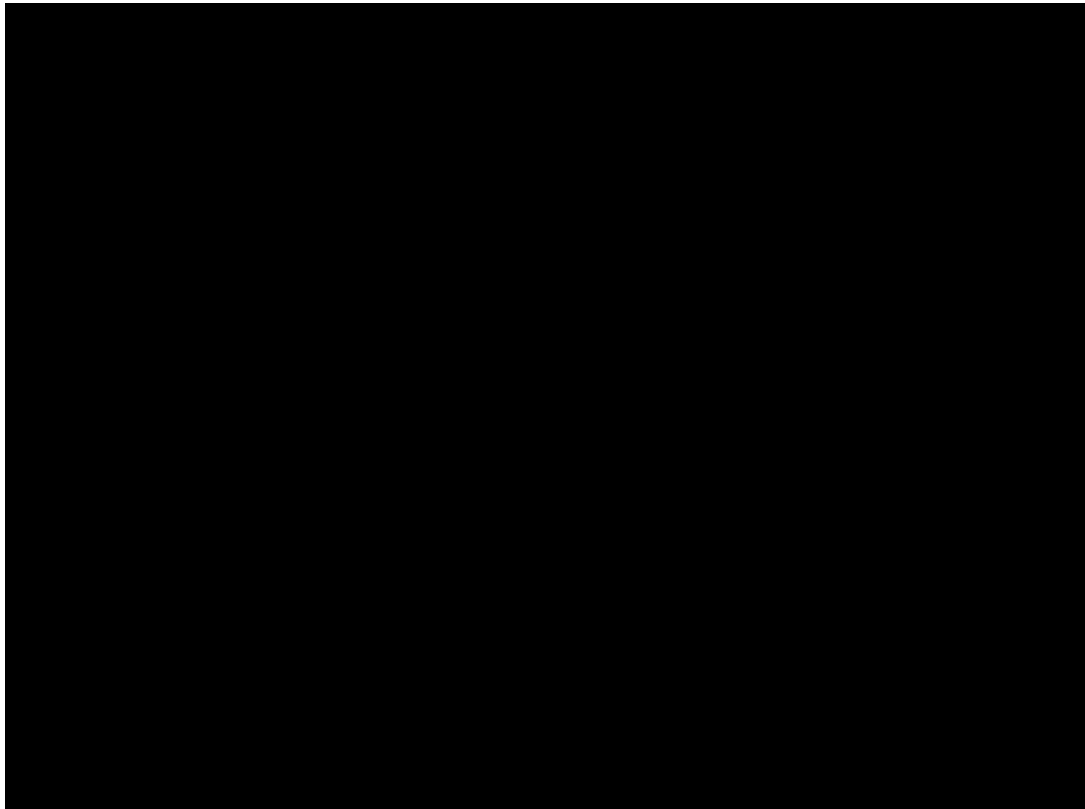


EW 方向最小固有値モード（トロリ位置：中央，加振方向：鉛直方向）

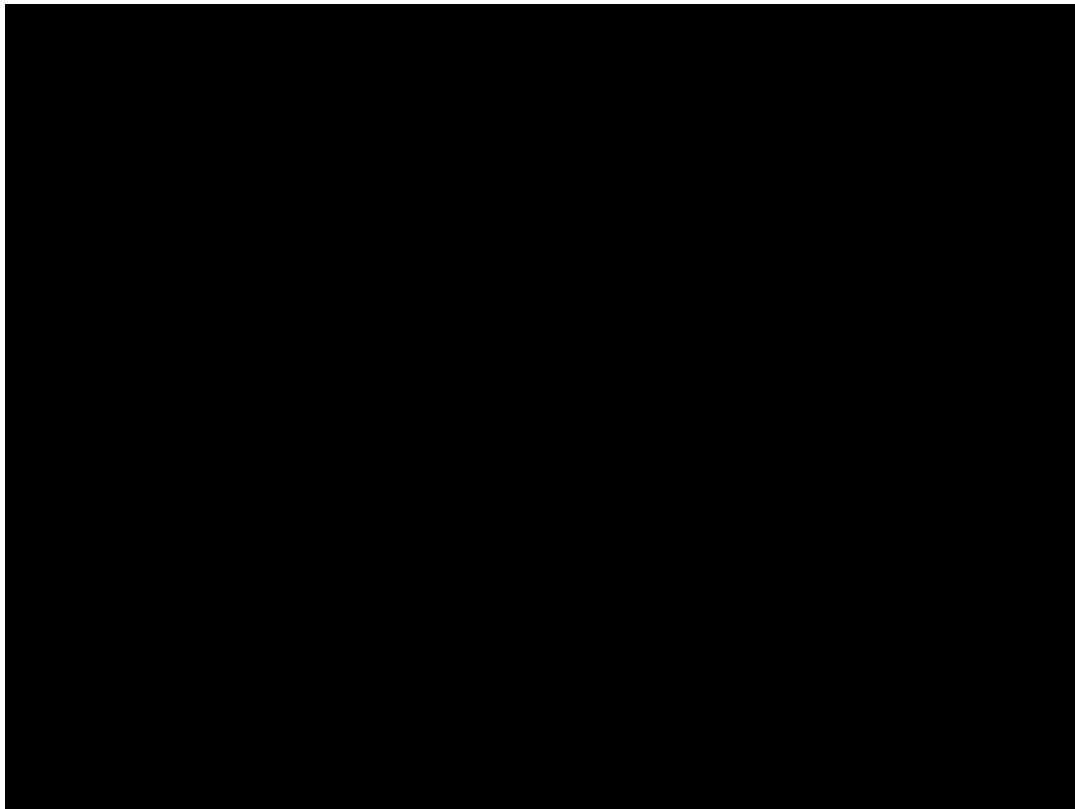


鉛直方向最小固有値モード（トロリ位置：中央，加振方向：鉛直方向）

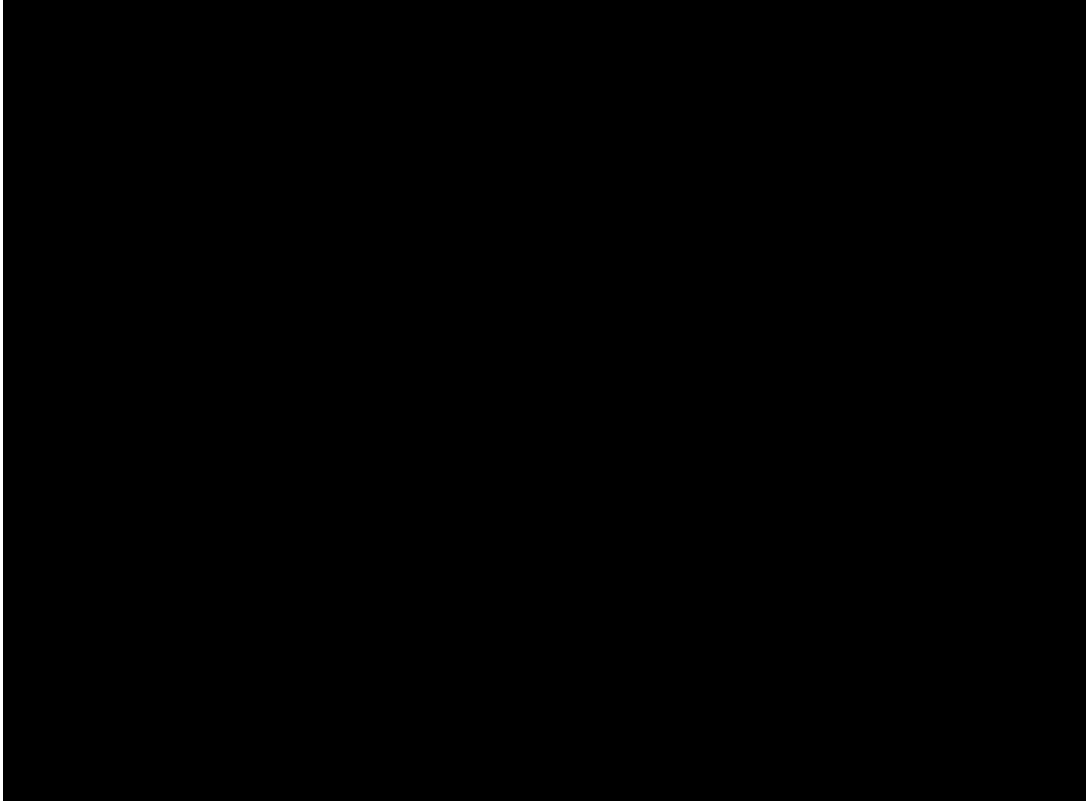
図 4-2(1) 振動モード図（評価ケース No.1（トロリ位置：中央，吊荷：有））



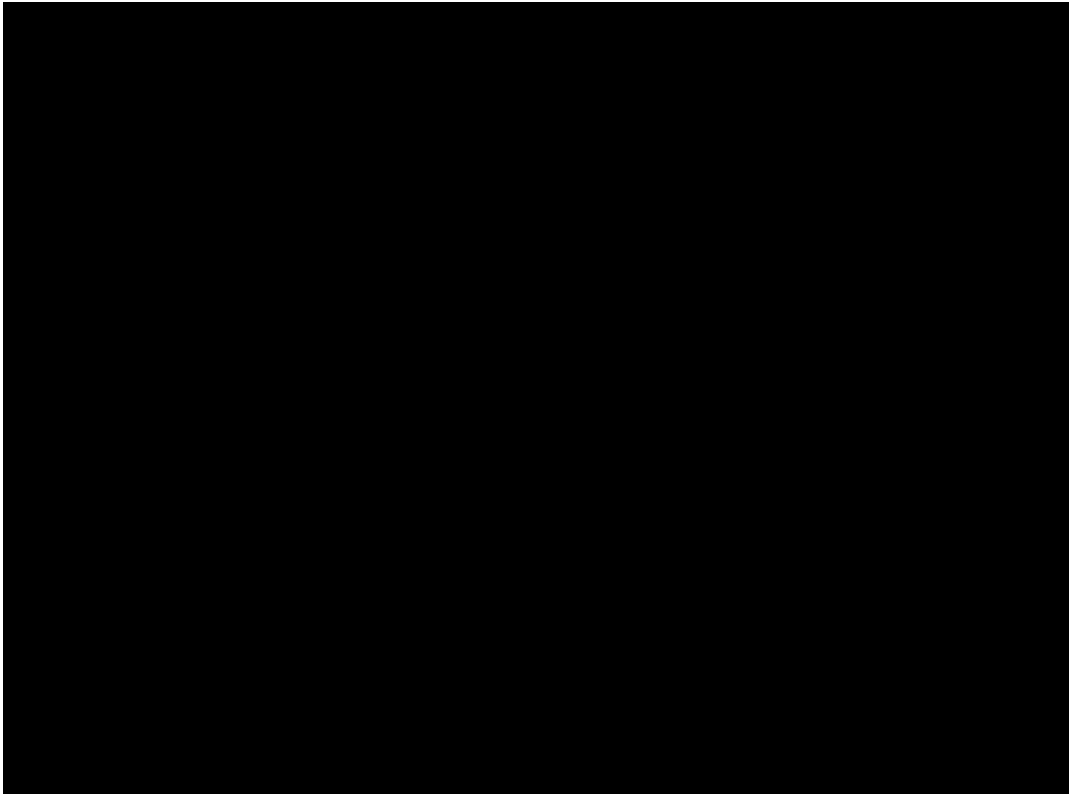
NS 方向最小固有値モード (トロリ位置 : 東, 加振方向 : NS 方向)



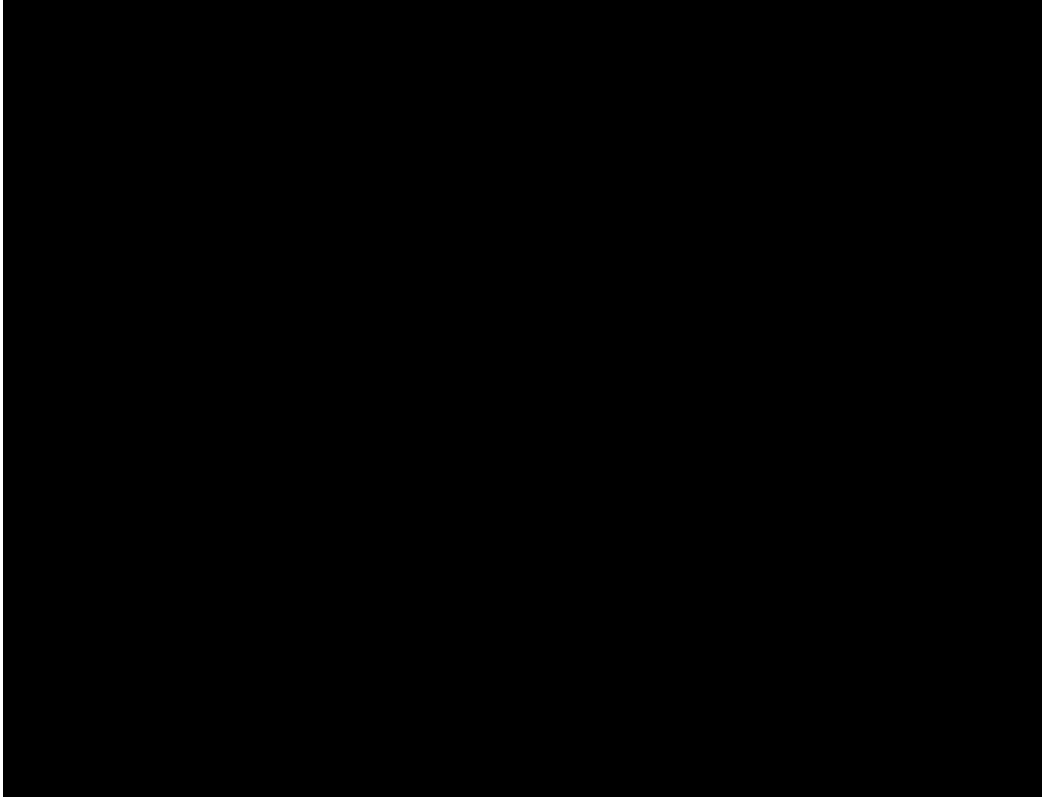
EW 方向最小固有値モード (トロリ位置 : 東, 加振方向 : NS 方向)



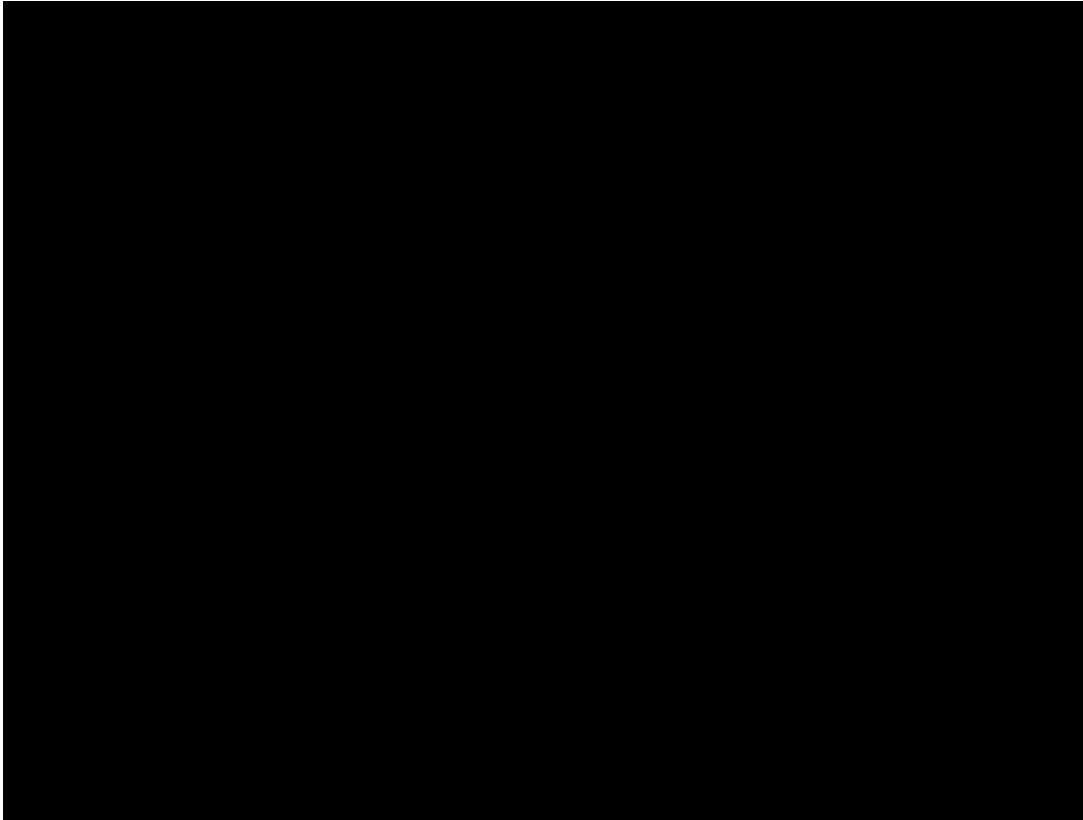
鉛直方向最小固有値モード（トロリ位置：東，加振方向：NS 方向）



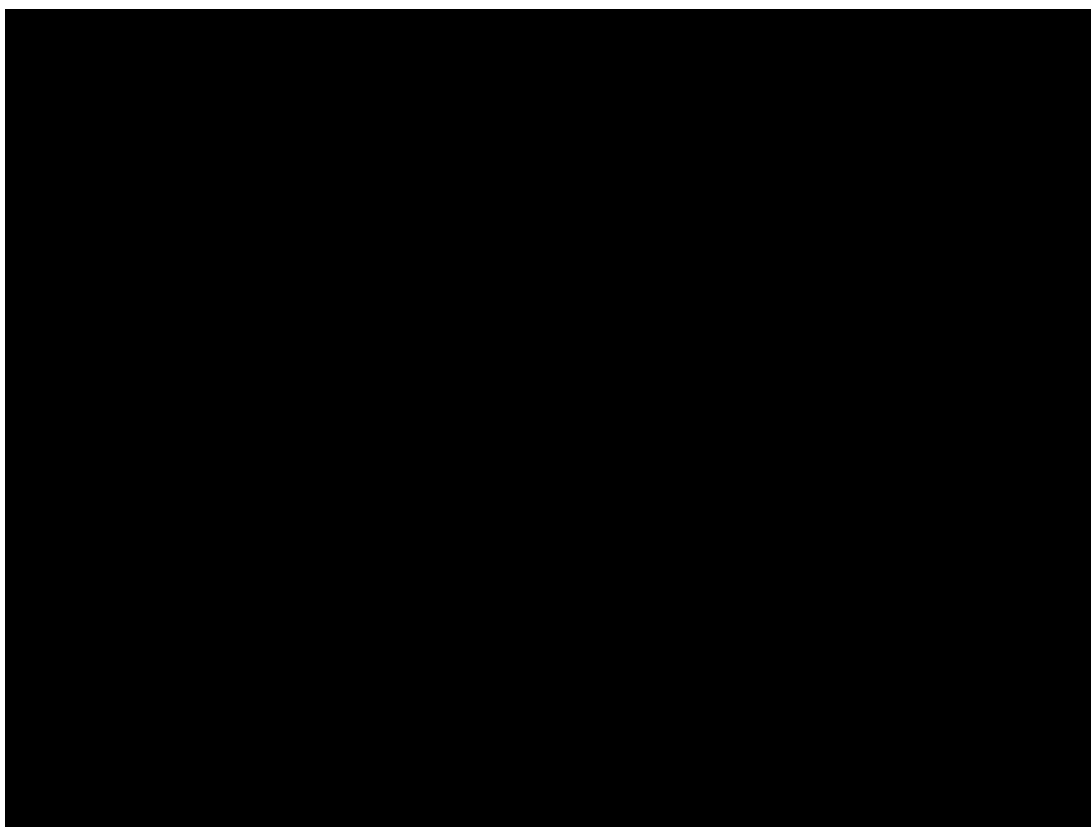
NS 方向最小固有値モード（トロリ位置：東側，加振方向：EW 方向）



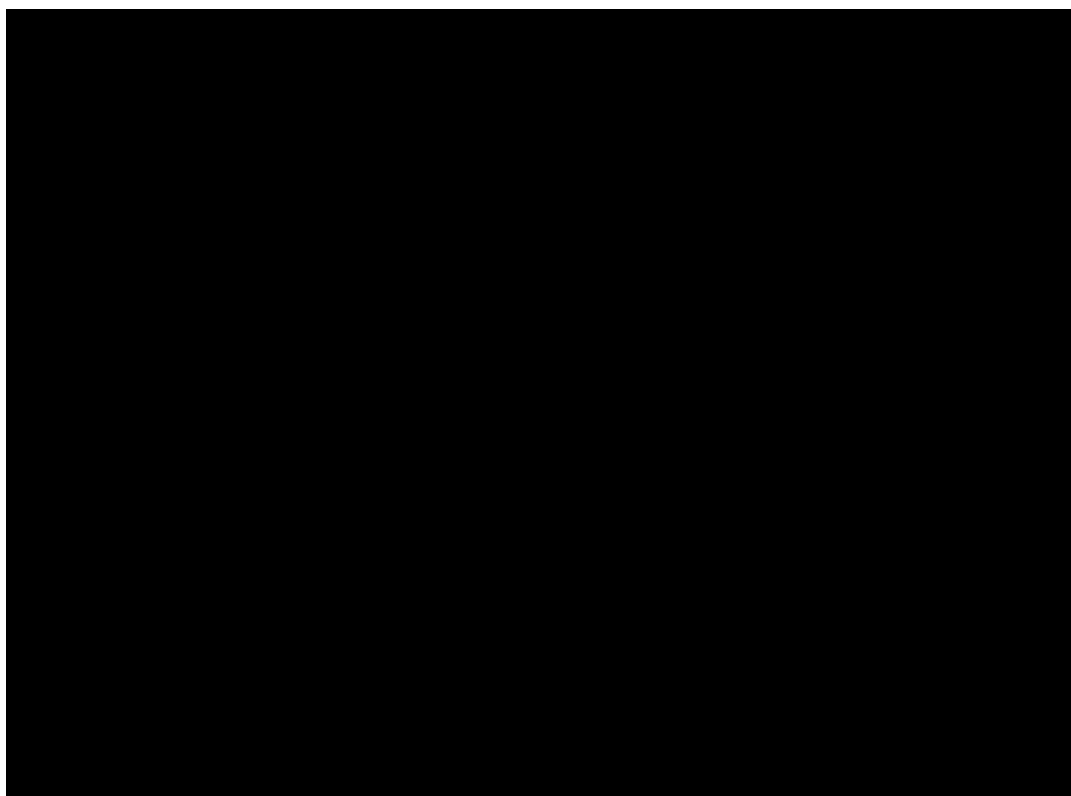
EW 方向最小固有値モード（トロリ位置：東側，加振方向：EW 方向）



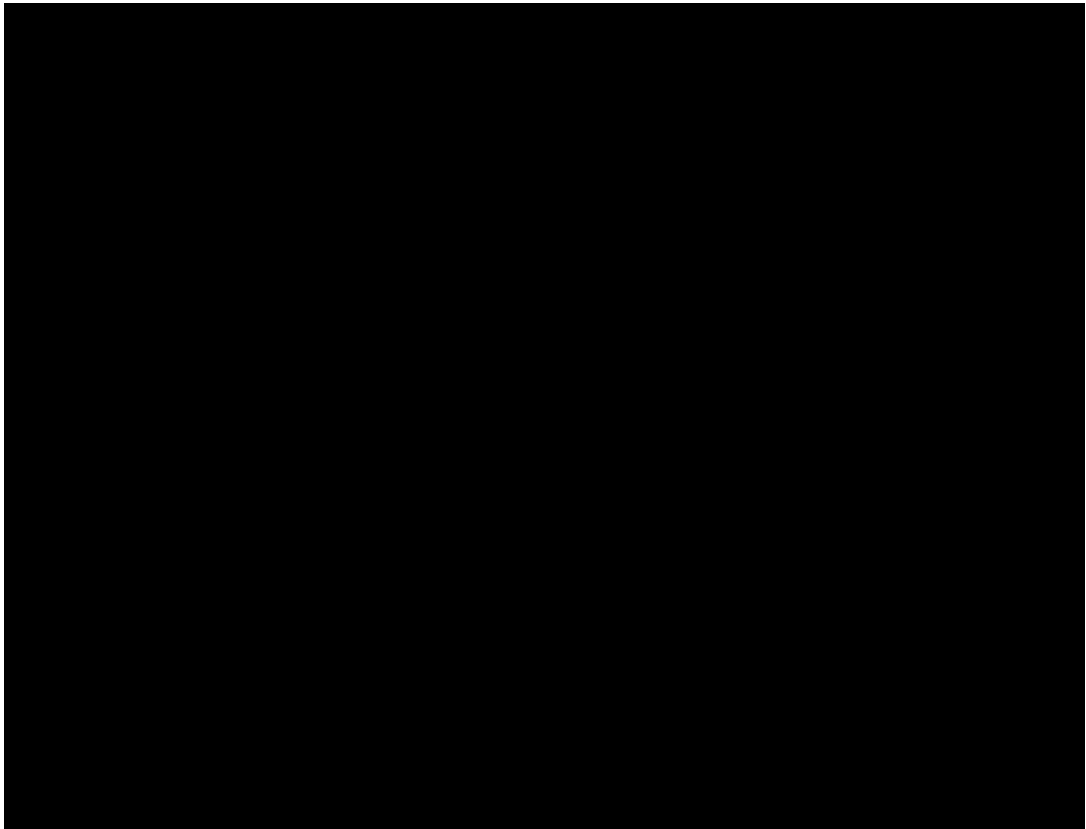
鉛直方向最小固有値モード（トロリ位置：東側，加振方向：EW 方向）



NS 方向最小固有値モード（トロリ位置：東側，加振方向：鉛直方向）

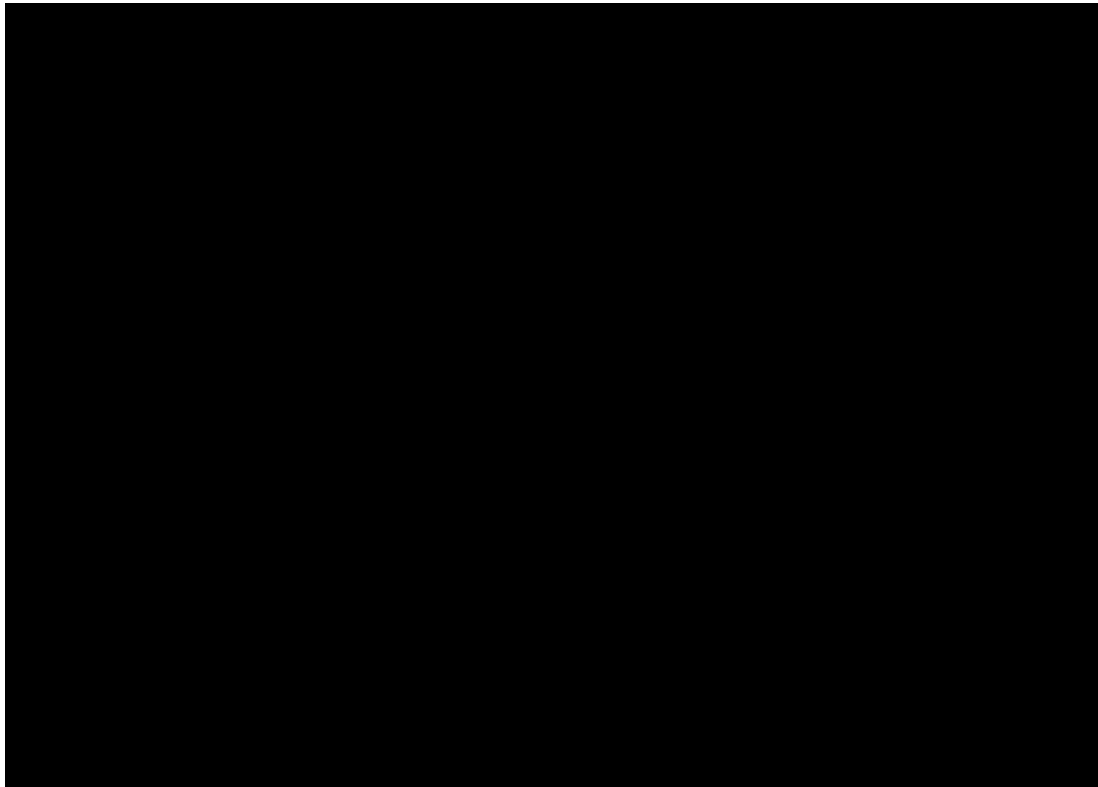


EW 方向最小固有値モード（トロリ位置：東側，加振方向：鉛直方向）

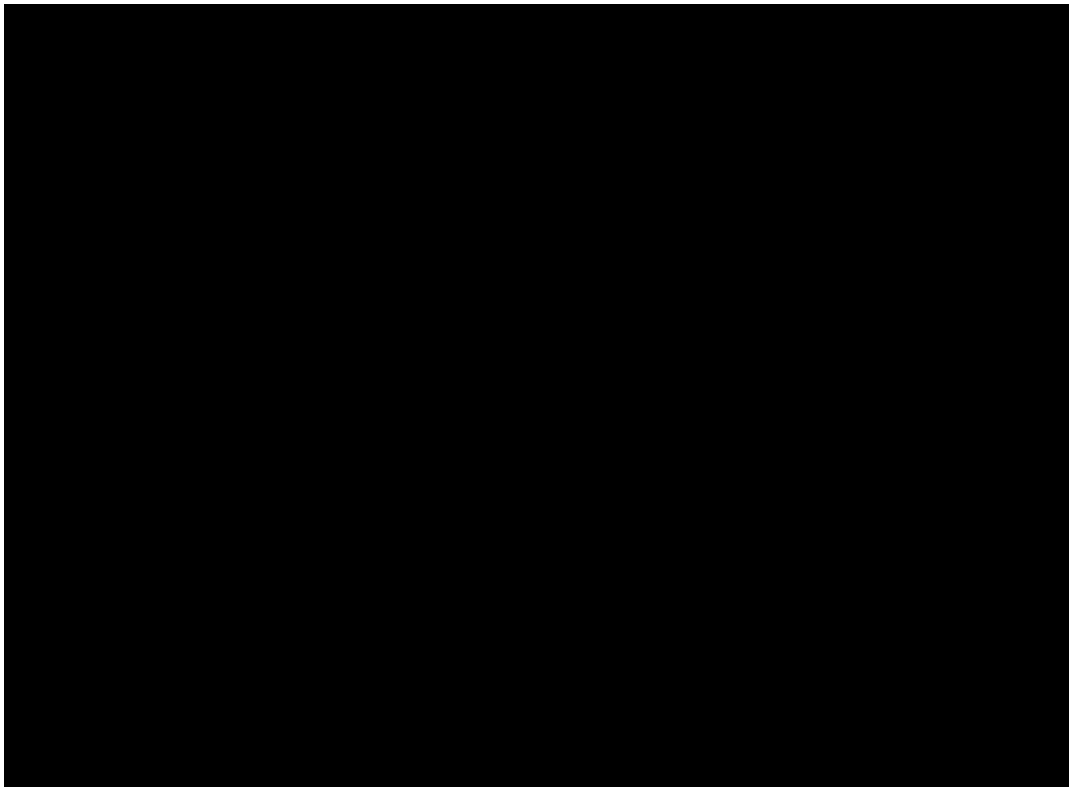


鉛直方向最小固有値モード（トロリ位置：東側，加振方向：鉛直方向）

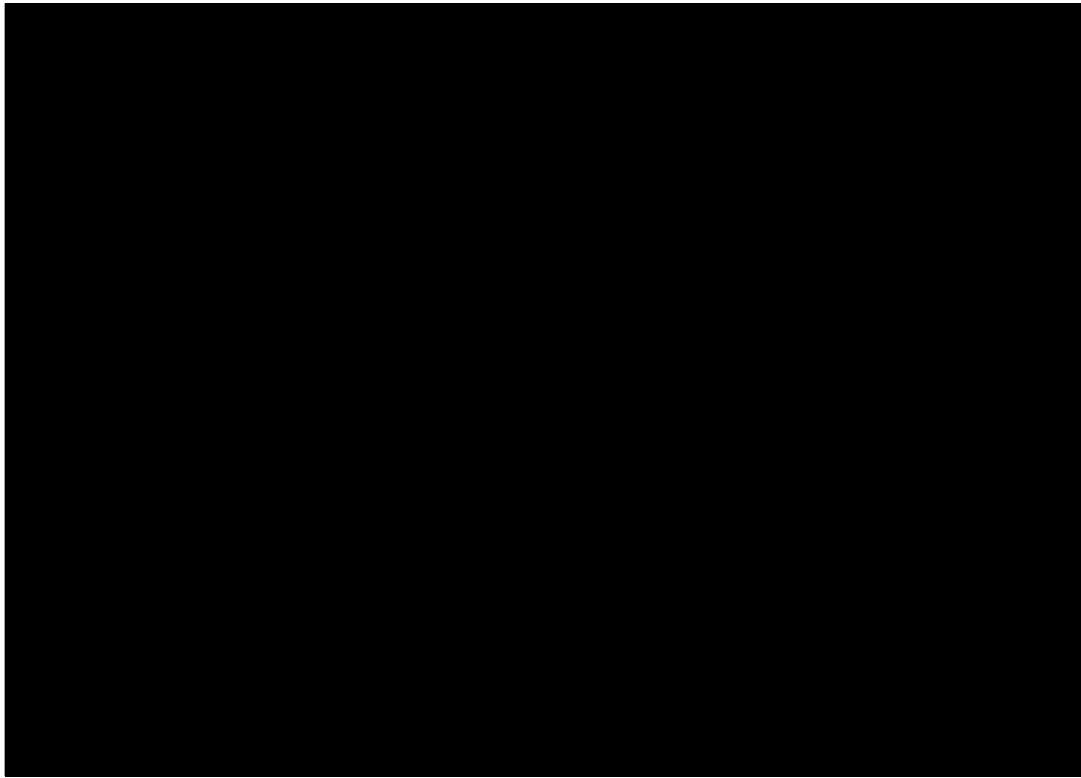
図 4-2(2) 振動モード図（評価ケース No. 2（トロリ位置：東側，吊荷：有））



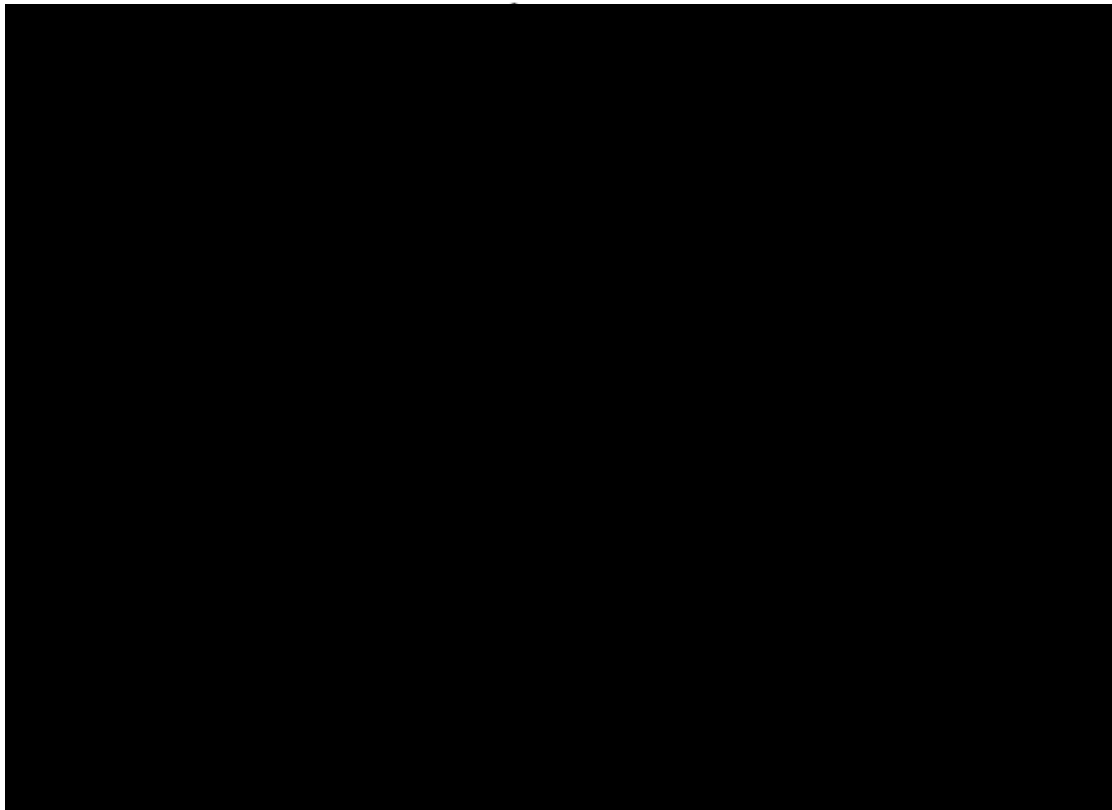
NS 方向最小固有値モード (トロリ位置 : 西側, 加振方向 : NS 方向)



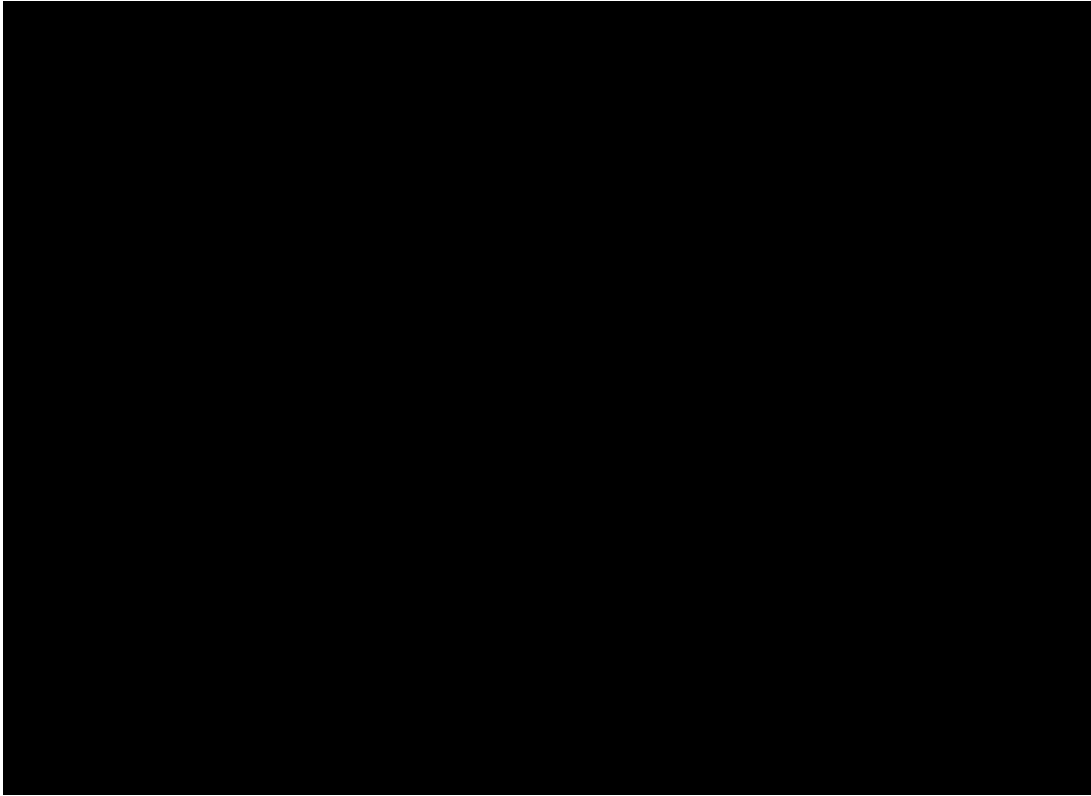
EW 方向最小固有値モード (トロリ位置 : 西側, 加振方向 : NS 方向)



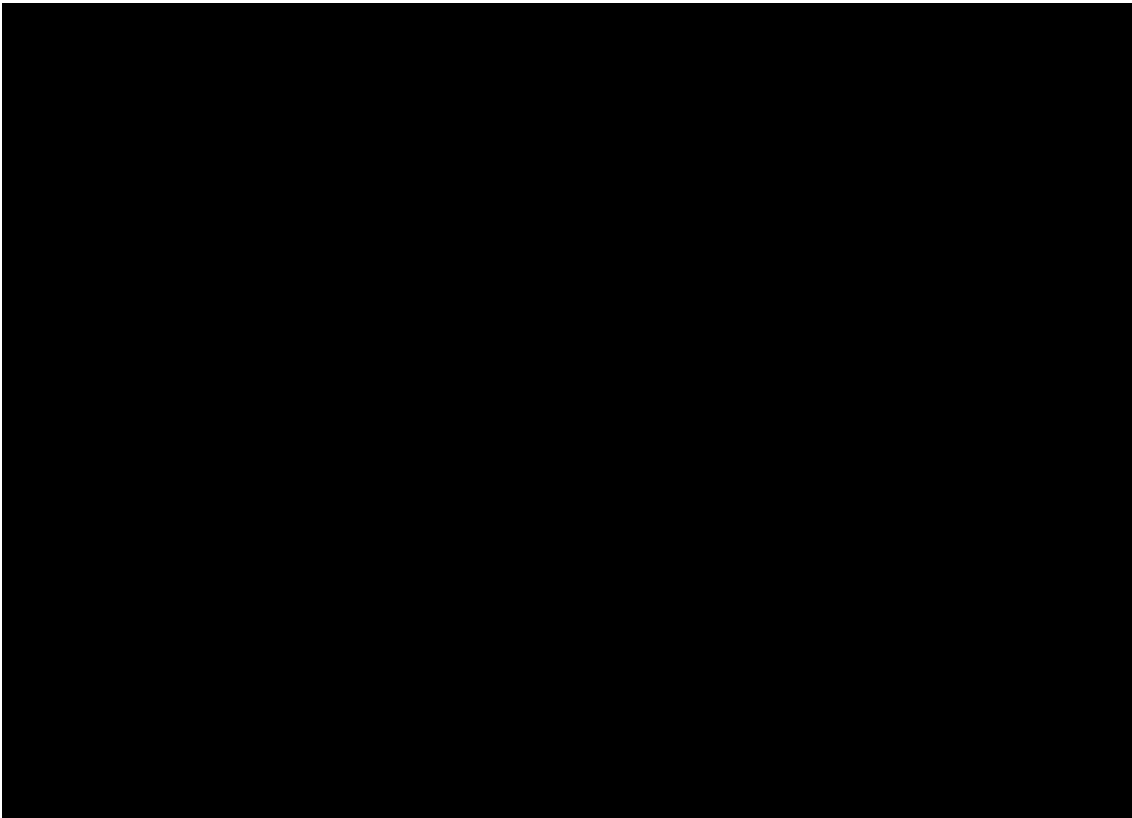
鉛直方向最小固有値モード（トロリ位置：西側，加振方向：NS 方向）



NS 方向最小固有値モード（トロリ位置：西側，加振方向：EW 方向）



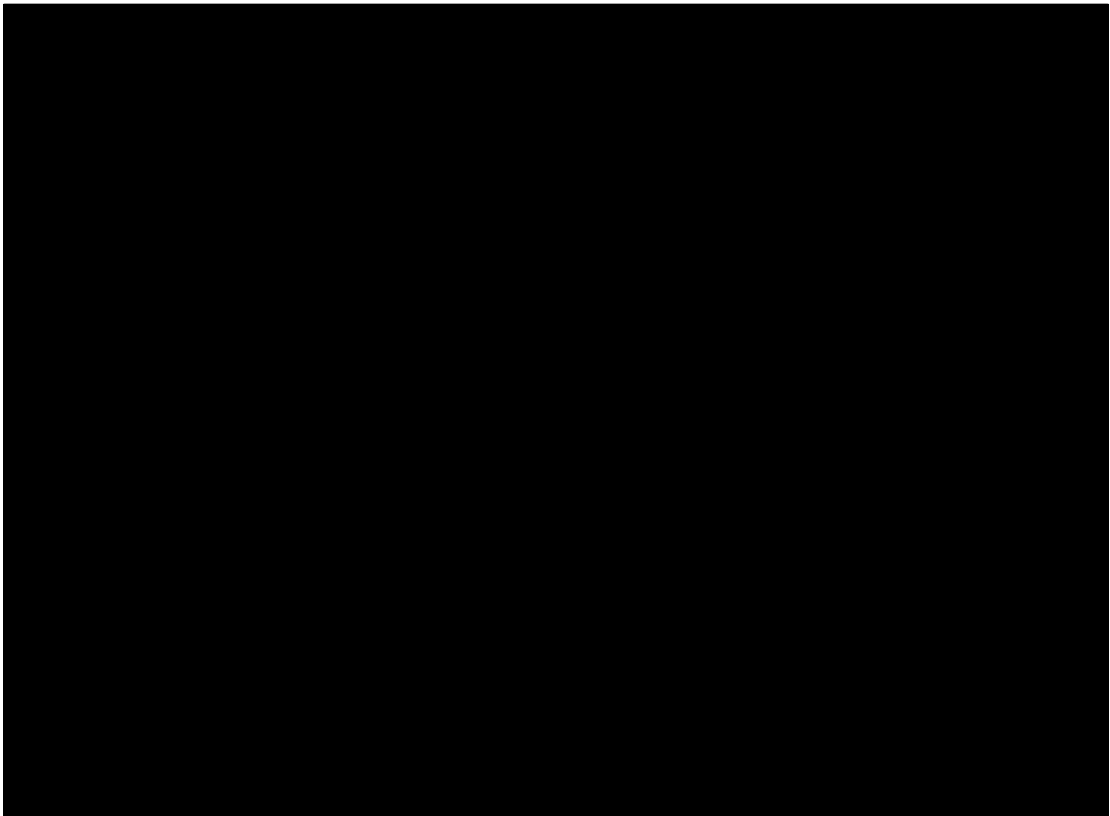
EW 方向最小固有値モード (トロリ位置 : 西側, 加振方向 : EW 方向)



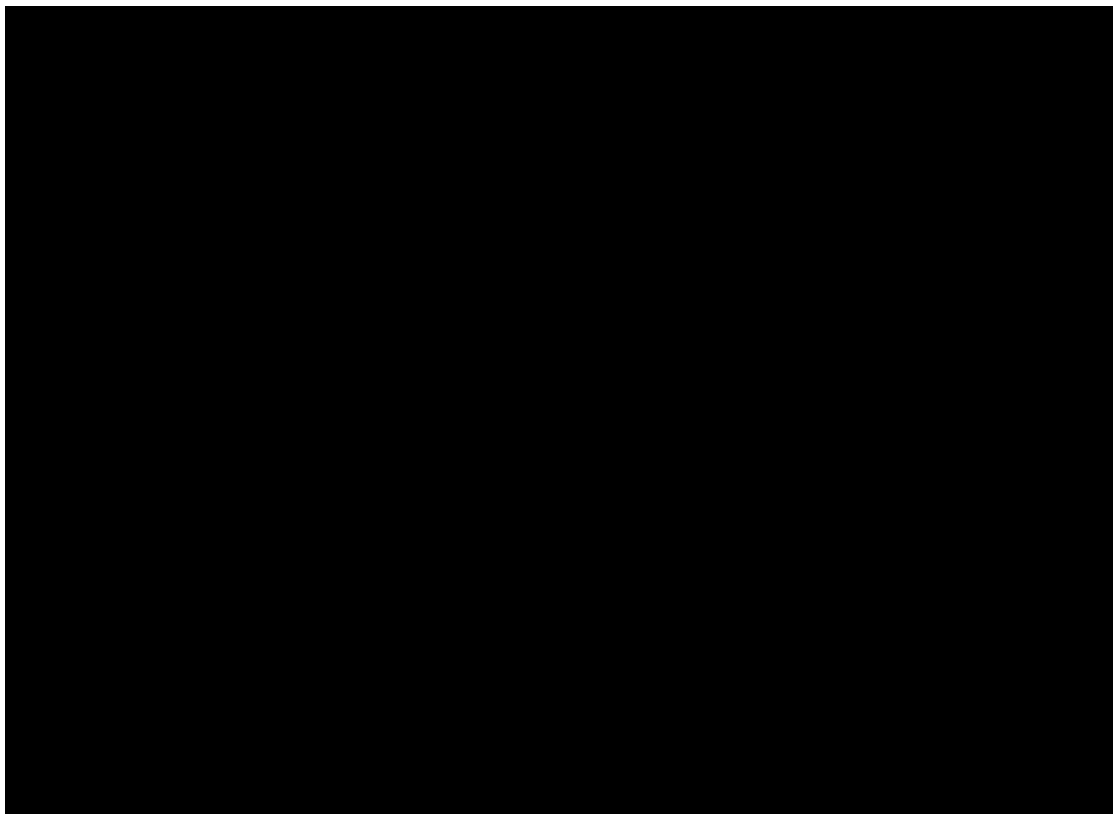
鉛直方向最小固有値モード (トロリ位置 : 西側, 加振方向 : EW 方向)



NS 方向最小固有値モード（トロリ位置：西側，加振方向：鉛直方向）



EW 方向最小固有値モード（トロリ位置：西側，加振方向：鉛直方向）

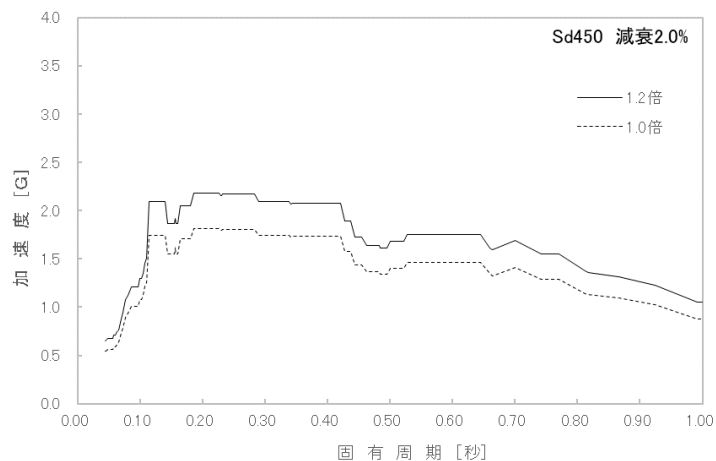


鉛直方向最小固有値モード（トロリ位置：西側，加振方向：鉛直方向）

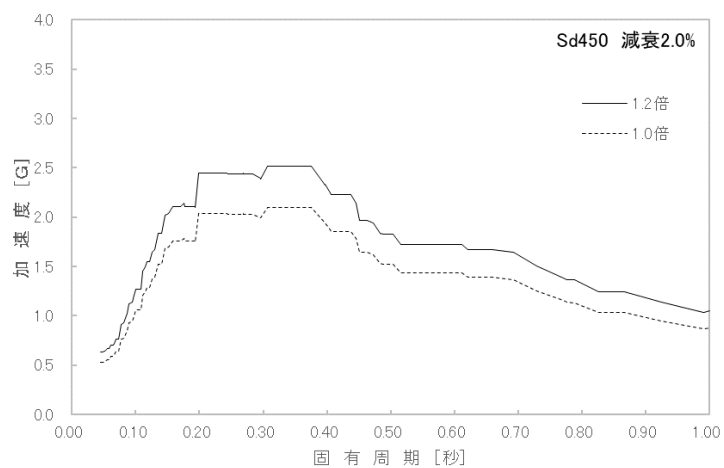
図 4-2(3) 振動モード図（評価ケース No. 3（トロリ位置：西側，吊荷：有））

4.5 設計用地震力

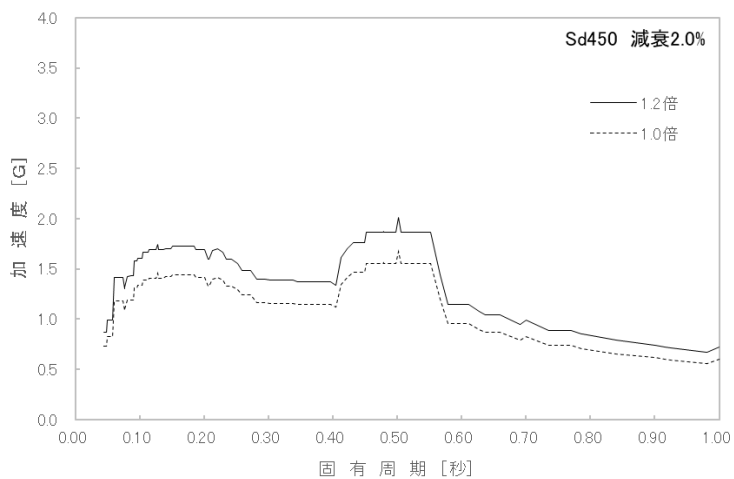
- (1) 耐震計算に用いる地震力は、図 4-3 に示す大型廃棄物保管庫の床応答スペクトル（弾性設計用地震動 S_d ）を適用する。据付けレベルは、大型廃棄物保管庫クレーン設置位置（T.P. 約 26m）を適用する。
- (2) 建屋の地震応答解析から得られた時刻歴応答加速度の入力位置は、クレーン設置高さ T.P. 約 26m とする。
- (3) 床応答スペクトルは、建屋の固有周期のシフトを考慮して周期方向に±10%拡幅したものをを用いる。
- (4) 床応答スペクトルの減衰定数は、**既往研究を踏まえ**水平 2%，鉛直 2%を適用する。
- (5) 床応答スペクトルは建屋の耐震補強による影響を考慮した裕度（1.2 倍）を持たせる。



(1FL T.P. 約 26m, Sd450, NS 方向, ±10%拡幅)



(1FL T.P. 約 26m, Sd450, EW 方向, ±10%拡幅)



(1FL T.P. 約 26m, Sd450, UD 方向, ±10%拡幅)

図 4-3 大型廃棄物保管庫 床応答スペクトル

4.6 応力の評価手法

4.6.1 クレーン本体の応力評価

クレーン本体の引張応力、圧縮応力、曲げ応力、せん断応力および組合せ応力が、下記許容引張応力 f_t 、許容圧縮応力 f_c 、許容曲げ応力 f_b 、許容せん断応力 f_s 以下であること。

	弾性設計用地震動 Sd による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$
許容圧縮応力 f_c	a. 圧縮材の有効細長比が限界細長比以下の場合 $\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F}{v} \cdot 1.5$ b. 圧縮材の有効細長比が限界細長比を超える場合 $0.277 \cdot F \cdot \left(\frac{\Lambda}{\lambda} \right)^2 \cdot 1.5$
許容曲げ応力 f_b	$\text{Min} \left(\frac{0.433 \cdot E \cdot A_f}{I_b \cdot h}, \frac{F}{1.5} \right) \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_s	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \cdot 1.5$

ただし、

$$\lambda = \frac{\ell_k}{i} \dots\dots\dots (4.6.1.1)$$

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6 \cdot F}} \dots\dots\dots (4.6.1.2)$$

$$v = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \dots\dots\dots (4.6.1.3)$$

4.6.2 連結ボルトの応力評価

連結ボルトの引張応力およびせん断応力が、下記許容引張応力 f_{ts} および許容せん断応力 f_{so} 以下であること。

	弾性設計用地震動 Sd による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{ts}	$\text{Min}(1.4 \cdot f_{to} - 1.6\tau, f_{to})$
許容せん断応力 f_{so}	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \cdot 1.5$

ただし、

$$f_{to} = \frac{F}{2} \cdot 1.5 \dots\dots\dots (4.6.2.1)$$

4.6.3 走行／横行浮上り防止治具の応力評価

4.6.3.1 走行／横行浮上り防止爪の応力評価

走行／横行浮上り防止爪の組合せ応力が，下記許容引張応力 f_t 以下であること。

	弾性設計用地震動 Sd による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$

4.6.3.2 走行／横行浮上り防止爪取付ボルトの応力評価

走行／横行浮上り防止爪取付ボルトの引張応力およびせん断応力が，下記許容引張応力 f_{ts} および許容せん断応力 f_{so} 以下であること。

	弾性設計用地震動 Sd による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{ts}	$Min(1.4 \cdot f_{to} - 1.6\tau, f_{to})$
許容せん断応力 f_{so}	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \cdot 1.5$

ただし，

$$f_{to} = \frac{F}{2} \cdot 1.5 \dots\dots\dots (4.6.3.2.1)$$

4.6.4 走行レール取付部材の応力評価

4.6.4.1 走行レールクリップの応力評価

走行レールクリップの曲げ応力が，下記許容曲げ応力 f_b 以下であること。

	弾性設計用地震動 Sd による 荷重との組合せの場合
許容曲げ応力 f_b	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$

4.6.4.2 走行レール基礎ボルトの応力評価

走行レール基礎ボルトの引張応力およびせん断応力が，下記許容引張応力 f_{ts} および許容せん断応力 f_{so} 以下であること。

	弾性設計用地震動 Sd による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{ts}	$Min(1.4 \cdot f_{to} - 1.6\tau, f_{to})$
許容せん断応力 f_{so}	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \cdot 1.5$

ただし，

$$f_{to} = \frac{F}{2} \cdot 1.5 \dots\dots\dots (4.6.4.2.1)$$

4.6.5 ワイヤロープおよびフックの評価

ワイヤロープおよびフックの支持荷重が許容荷重以下であること。

4.6.16 応力の評価方法

材料および許容応力を表 4-9 に示す。

表 4-9(1) 材料および許容応力

評価部位		使用材料	応力の種類	許容応力	単位
クレーン本体		SM570 (16mm < t ≤ 40mm)	引張	390	MPa
			せん断	225	MPa
			圧縮	361	MPa
			曲げ	390	MPa
			組合せ	390	MPa
連結ボルト		F10T	引張	511	MPa
			せん断	393	MPa
		S10T	せん断	393	MPa
走行浮上り防止治具	爪	SS400 (100mm < t)	組合せ	199	MPa
	取付ボルト	12.9T	引張	624	MPa
			せん断	480	MPa
			8.8T	引張	424
せん断	326	MPa			
横行浮上り防止治具	爪	SM570 (16mm < t ≤ 40mm)	組合せ	390	MPa
	取付ボルト	12.9T	引張	624	MPa
走行レール取付部材	レールクリップ	FCD450	曲げ	272	MPa
		SS400 (16mm < t ≤ 40mm)	曲げ	229	MPa
	基礎ボルト	SS400 (16mm < t ≤ 40mm)	引張	103	MPa
			せん断	132	MPa
			引張 -(A1J)	8.112 × 10⁴	N
			せん断 (A1J)	5.678 × 10⁴	N
組合せ (A1J)	$\left(\frac{p}{p_a}\right)^2 + \left(\frac{q}{q_a}\right)^2 \leq 1$	=			

表 4-9(2) 材料および許容荷重

ワイヤロープ	SWRH 62A	支持荷重	3.086 × 10 ⁶	N
フック	S35C	支持荷重	1.535 × 10 ⁶	N

5. 評価結果

算出応力評価結果は、表 5-1 に示すとおり、~~全て許容応力以下であること~~弾性設計用地震動 Sd に対して十分な強度を有していることを確認した。

表 5-1(1) 算定応力の評価

評価部位		使用材料	応力の種類	算出応力	許容応力	単位
クレーン本体		SM570 (16mm < t ≤ 40mm)	引張	31	390	MPa
			せん断	53	225	MPa
			圧縮	31	361	MPa
			曲げ	175	390	MPa
			組合せ	188	390	MPa
連結ボルト		F10T	引張	271	511	MPa
			せん断	32	393	MPa
		S10T	せん断	41	393	MPa
走行浮上り防止治具	爪	SS400 (100mm < t)	組合せ	79	199	MPa
	取付ボルト	12. 9T	引張	107	624	MPa
			せん断	25	480	MPa
		8. 8T	引張	78	424	MPa
			せん断	50	326	MPa
横行浮上り防止治具	爪	SM570 (16mm < t ≤ 40mm)	組合せ	162	390	MPa
	取付ボルト	12. 9T	引張	275	624	MPa
走行レール取付部材	レールクリップ	FCD450	曲げ	84	272	MPa
		SS400 (16mm < t ≤ 40mm)	曲げ	37	229	MPa
	基礎ボルト	SS400 (16mm < t ≤ 40mm)	引張	44	103	MPa
			せん断	89	132	MPa
			引張(AIJ)	2.001×10^4	8.112×10^4	N
			せん断(AIJ)	4.008×10^4	5.678×10^4	N
			組合せ(AIJ)	0.6	$\left(\frac{p}{p_a}\right)^2 + \left(\frac{q}{q_a}\right)^2 \leq 1$	=

表 5-1(2) 算定荷重の評価

評価部位	使用材料	応力の種類	算出荷重	許容荷重	単位
ワイヤロープ	SWRH 62A	支持荷重	1.042×10^6	3.086×10^6	N
フック	S35C	支持荷重	1.042×10^6	1.535×10^6	N

6. 応力の計算方法（数値は各応力の裕度の最も小さい箇所を記載）

6.1 クレーン本体の応力

クレーン本体部材に加わる荷重は応答スペクトル解析により求める。クレーン本体部材の応力は図 6-1 を用いて計算する。

(1) 引張応力： σ_{t1}

$$\sigma_{t1} = \blacksquare \dots\dots\dots (6.1.1)$$

σ_{t1} ：クレーン本体部材に作用する引張応力 \blacksquare (MPa)

\blacksquare

(2) せん断応力： τ_1

$$\tau_1 = \blacksquare \dots\dots\dots (6.1.2)$$

τ_1 ：クレーン本体部材に作用するせん断応力 \blacksquare (MPa)

\blacksquare

(3) 圧縮応力： σ_{c1}

$$\sigma_{c1} = \blacksquare \dots\dots\dots (6.1.3)$$

σ_{c1} ：クレーン本体部材に作用する圧縮応力 \blacksquare (MPa)

\blacksquare

(4) 曲げ応力： σ_{b1}

$$\sigma_{b1} = \blacksquare \dots\dots\dots (6.1.4)$$

σ_{b1} ：クレーン本体部材に作用する曲げ応力 \blacksquare (MPa)

\blacksquare

6.2 連結ボルトの応力

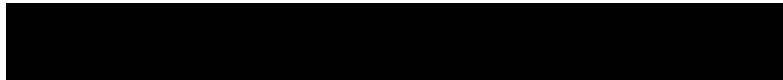
連結ボルトに加わる荷重は応答スペクトル解析により求める。連結ボルトの評価はクレーン本体の部材を連結する「脚上部連結部」「脚下部連結部」「脚つなぎ連結部」「桁つなぎ連結部」の評価を実施する。

- (1) 連結ボルト 1 本あたりに作用する応力（脚上部連結部，脚下部連結部，脚つなぎ連結部，桁つなぎ連結部）

- a. 引張応力： σ_{t2}

$$\sigma_{t2} = \blacksquare \dots\dots\dots (6.2.1)$$

σ_{t2} ：連結ボルト 1 本あたりに作用する引張応力 \blacksquare (MPa)



- b. せん断応力： σ_{s1}

$$\sigma_{s1} = \blacksquare \dots\dots\dots (6.2.2)$$

σ_{s1} ：連結ボルト 1 本あたりに作用するせん断応力 \blacksquare (MPa)



6.3 走行浮上り防止治具の応力

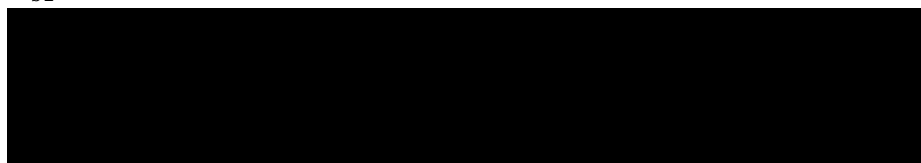
走行浮上り防止治具に加わる荷重は応答スペクトル解析により求める。走行浮上り防止爪の応力を図 6-2, 図 6-3 を用いて計算する。走行浮上り防止爪取付ボルトの応力を図 6-4, 図 6-5 を用いて計算する。

(1) 走行浮上り防止爪(先端)に作用する応力

a. 曲げ応力： σ_{b2}

$$\sigma_{b2} = \blacksquare \dots\dots\dots (6.3.1)$$

σ_{b2} ：走行浮上り防止爪先端に作用する曲げ応力 \blacksquare (MPa)



b. せん断応力： τ_2

$$\tau_2 = \blacksquare \dots\dots\dots (6.3.2)$$

τ_2 ：走行浮上り防止爪先端に作用するせん断応力 \blacksquare (MPa)



c. 組合せ応力： σ_{k2}

$$\sigma_{k2} = \blacksquare \dots\dots\dots (6.3.3)$$

σ_{k2} ：走行浮上り防止爪先端に作用する組合せ応力 \blacksquare (MPa)

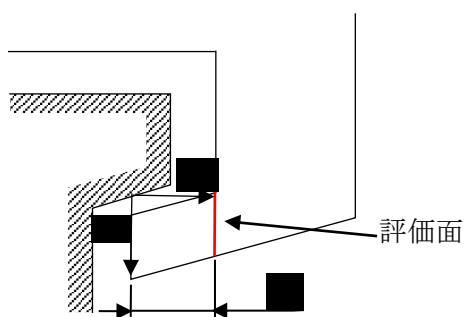


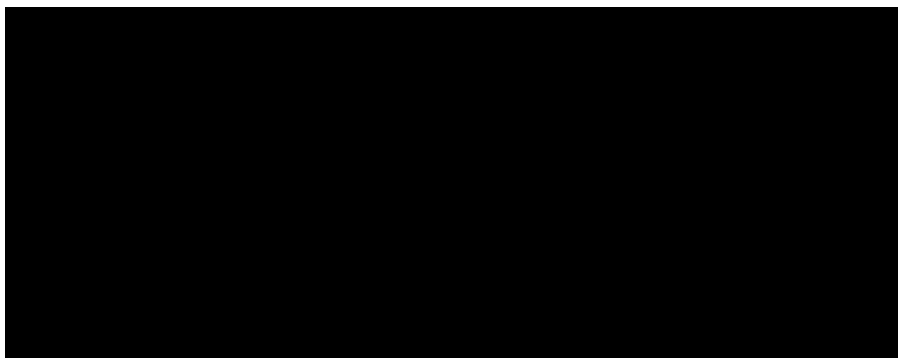
図 6-2 走行浮上り防止爪 (先端)

(2) 走行浮上り防止爪(根本)に作用する応力

a. 曲げ応力： σ_{b3}

$$\sigma_{b3} = \blacksquare \dots\dots\dots (6.3.4)$$

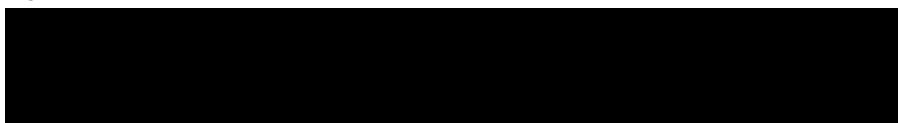
σ_{b3} ：走行浮上り防止爪根本に作用する曲げ応力 \blacksquare (MPa)



b. せん断応力： τ_3

$$\tau_3 = \blacksquare \dots\dots\dots (6.3.5)$$

τ_3 ：走行浮上り防止爪根本に作用するせん断応力 \blacksquare (MPa)



c. 組合せ応力： σ_{k3}

$$\sigma_{k3} = \blacksquare \dots\dots\dots (6.3.6)$$

σ_{k3} ：走行浮上り防止爪根本に作用する組合せ応力 \blacksquare (MPa)

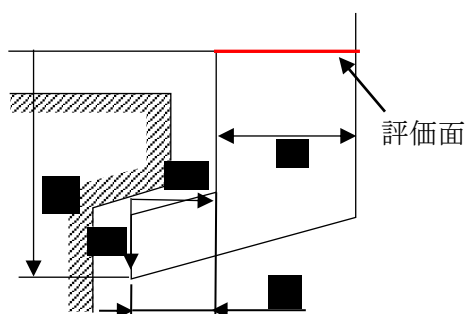


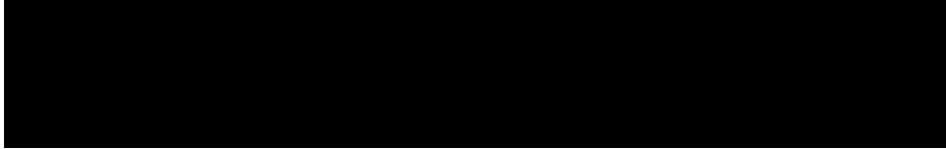
図 6-3 走行浮上り防止爪 (根本)

(3) 走行浮上り防止爪取付ボルト (A) のボルト 1 本あたりに作用する応力

a. 取付ボルト 1 本あたりに作用する引張力 : T_1

$$T_1 = \blacksquare \dots\dots\dots (6.3.7)$$

T_1 : 走行浮上り防止爪取付ボルト (A) 1 本あたりに作用する引張力 \blacksquare (N)



b. 取付ボルト 1 本あたりに作用する引張応力 : σ_{t3}

$$\sigma_{t3} = \blacksquare \dots\dots\dots (6.3.8)$$

σ_{t3} : 走行浮上り防止爪取付ボルト (A) 1 本あたりに作用する引張応力 \blacksquare (MPa)



c. 取付ボルト 1 本あたりに作用するせん断力 : S_1

$$S_1 = \blacksquare \dots\dots\dots (6.3.9)$$

S_1 : 走行浮上り防止爪取付ボルト (A) 1 本あたりに作用するせん断力 \blacksquare (N)



d. 取付ボルト 1 本に作用するせん断応力 : σ_{s2}

$$\sigma_{s2} = \blacksquare \dots\dots\dots (6.3.10)$$

σ_{s2} : 走行浮上り防止爪取付ボルト (A) 1 本あたりに作用するせん断応力 \blacksquare (MPa)

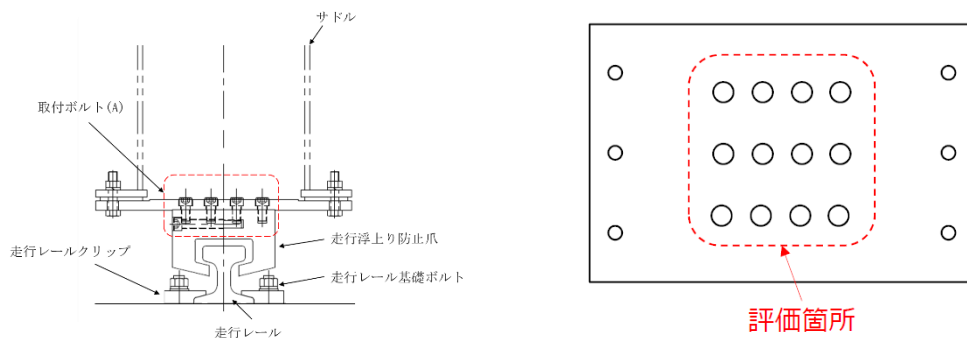


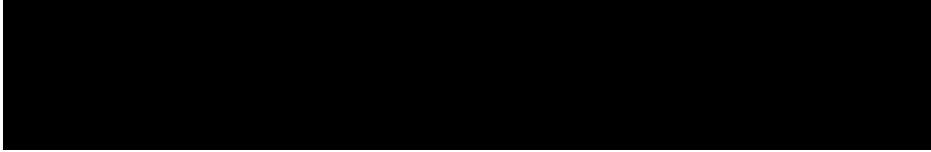
図 6-4 走行浮上り防止爪取付ボルト (A)

(4) 走行浮上り防止爪取付ボルト(B)のボルト1本あたりに作用する応力

a. 取付ボルト1本あたりに作用する引張力： T_2

$$T_2 = \blacksquare \dots\dots\dots (6.3.11)$$

T_2 ：走行浮上り防止爪取付ボルト(B)1本あたりに作用する引張力 \blacksquare (N)



b. 取付ボルト1本あたりに作用する引張応力： σ_{t4}

$$\sigma_{t4} = \blacksquare \dots\dots\dots (6.3.12)$$

σ_{t4} ：走行浮上り防止爪取付ボルト(B)1本あたりに作用する引張応力 \blacksquare (MPa)



c. 取付ボルト1本あたりに作用するせん断力： S_2

$$S_2 = \blacksquare \dots\dots\dots (6.3.13)$$

S_2 ：走行浮上り防止爪取付ボルト(B)1本あたりに作用するせん断力 \blacksquare (N)



d. 取付ボルト1本あたりに作用するせん断応力： σ_{s3}

$$\sigma_{s3} = \blacksquare \dots\dots\dots (6.3.14)$$

σ_{s3} ：走行浮上り防止爪取付ボルト(B)1本あたりに作用するせん断応力 \blacksquare (MPa)

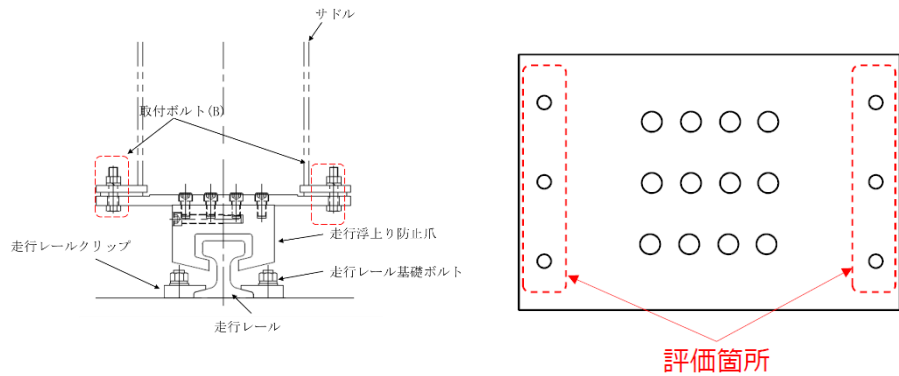


図 6-5 走行浮上り防止爪取付ボルト (B)

6.4 横行浮上り防止治具の応力

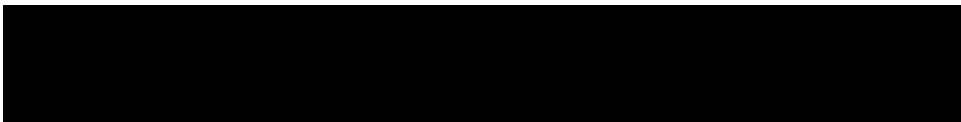
横行浮上り防止治具に加わる荷重は応答スペクトル解析により求める。横行浮上り防止爪の応力を図 6-6, 図 6-7 を用いて計算する。横行浮上り防止爪取付ボルトの応力を図 6-8 を用いて計算する。

(1) 横行浮上り防止爪（先端）に作用する応力

a. 曲げ応力： σ_{b4}

$$\sigma_{b4} = \blacksquare \dots\dots\dots (6.4.1)$$

σ_{b4} ：横行浮上り防止爪先端に作用する曲げ応力 \blacksquare (MPa)



b. せん断応力： σ_{s4}

$$\sigma_{s4} = \blacksquare \dots\dots\dots (6.4.2)$$

σ_{s4} ：横行浮上り防止爪先端に作用するせん断応力 \blacksquare (MPa)



c. 組合せ応力： σ_{k4}

$$\sigma_{k4} = \blacksquare \dots\dots\dots (6.4.3)$$

σ_{k4} ：横行浮上り防止爪先端に作用する組合せ応力 \blacksquare (MPa)

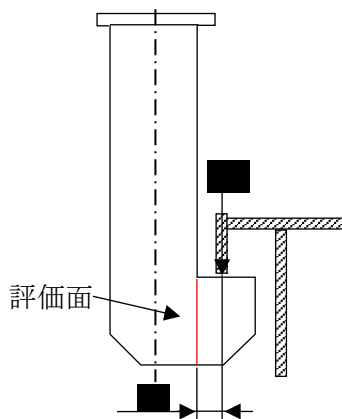
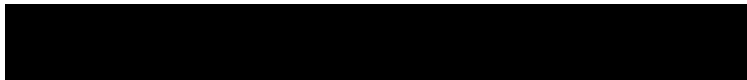


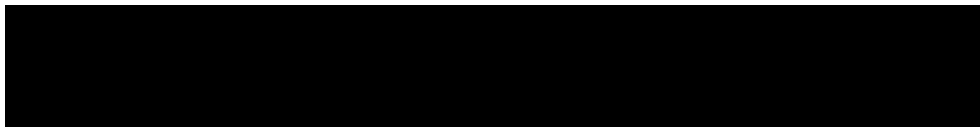
図 6-6 横行浮上り防止爪（先端）

(2) 横行浮上り防止爪（根本）に作用する応力

a. 曲げ応力： σ

$$\sigma_{b5} = \blacksquare \dots\dots\dots (6.4.4)$$

σ_{b5} ：横行浮上り防止爪根本に作用する曲げ応力 \blacksquare (MPa)



b. 引張応力： σ_{t5}

$$\sigma_{t4} = \blacksquare \dots\dots\dots (6.4.5)$$

σ_{t5} ：横行浮上り防止爪根本に作用する引張応力 \blacksquare (MPa)



c. 組合せ応力： σ_{k5}

$$\sigma_{k5} = \blacksquare \dots\dots\dots (6.4.6)$$

σ_{k5} ：横行浮上り防止爪先端に作用する組合せ応力 \blacksquare (MPa)

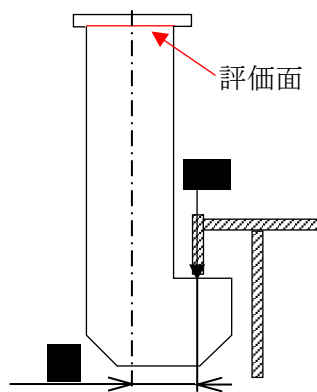


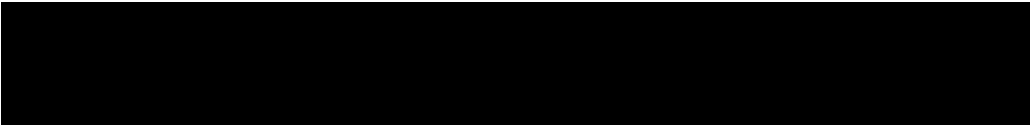
図 6-7 横行浮上り防止爪（根本）

(3) 横行浮上り防止爪取付ボルトに作用する応力

a. 取付ボルト 1 本あたりに作用する荷重： P_2

$$P_2 = \blacksquare \dots\dots\dots (6.4.7)$$

P_2 ：横行浮上り防止爪取付ボルト 1 本あたりに作用する荷重 \blacksquare (N)



b. 引張応力： σ_{t6}

$$\sigma_{t6} = \blacksquare \dots\dots\dots (6.4.8)$$

σ_{t6} ：横行浮上り防止爪取付ボルト 1 本あたりに作用する引張応力 \blacksquare (MPa)

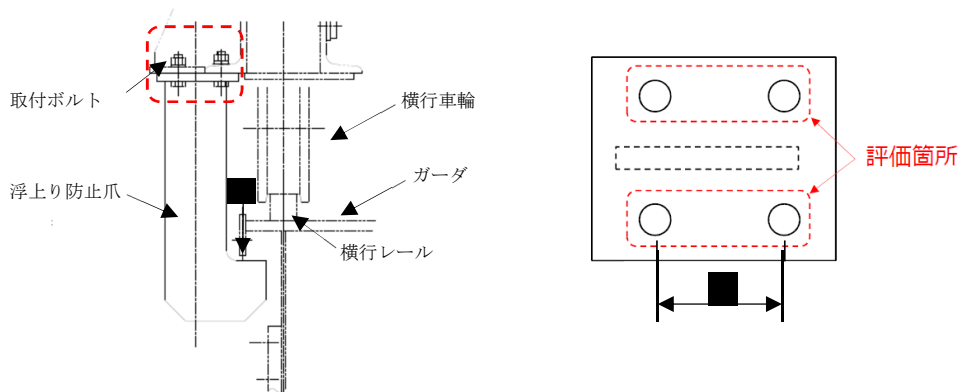
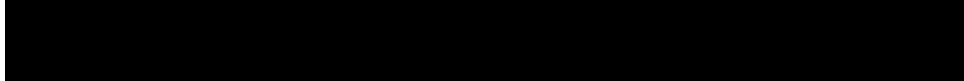


図 6-8 横行浮上り防止爪取付ボルト

6.5 走行レール取付部材の応力

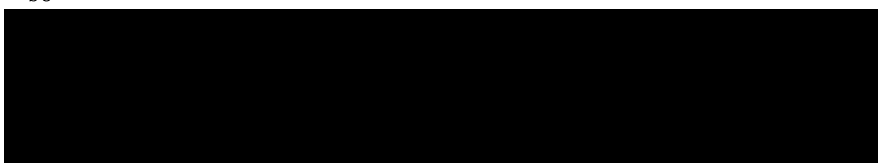
走行レールクリップに加わる荷重は応答スペクトル解析により求める。走行レールクリップの応力は図 6-9, 6-10 を用いて計算する。走行レールクリップ基礎ボルトの応力は図 6-11 を用いて計算する。

- (1) レールクリップ 1 個あたりに作用する応力 (一般部レールクリップ)

- a. 曲げ応力： σ_{b6}

$$\sigma_{b6} = \blacksquare \dots\dots\dots (6.5.1)$$

σ_{b6} ：一般部レールクリップ 1 個あたりに作用する曲げ応力 \blacksquare (MPa)



- (2) レールクリップ 1 個あたりに作用する応力 (連結部レールクリップ)

- a. 曲げ応力： σ_{b7}

$$\sigma_{b7} = \blacksquare \dots\dots\dots (6.5.2)$$

σ_{b7} ：連結部レールクリップ 1 個あたりに作用する曲げ応力 \blacksquare (MPa)

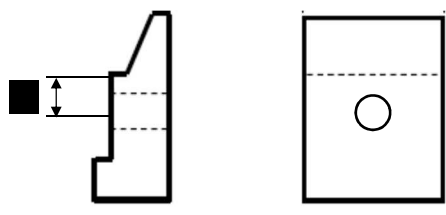
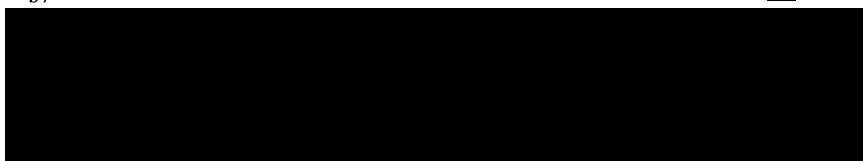


図 6-9 一般部レールクリップ

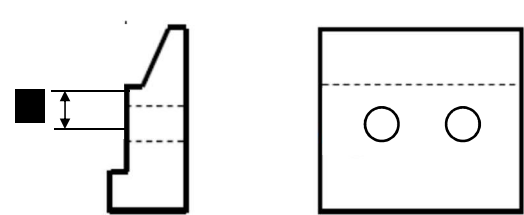


図 6-10 連結部レールクリップ

(3) 走行レールクリップ基礎ボルト 1 個あたりに作用する応力

a. 基礎ボルト 1 本あたりに作用する引張力： T_3

$$T_3 = \blacksquare \dots\dots\dots (6.5.3)$$

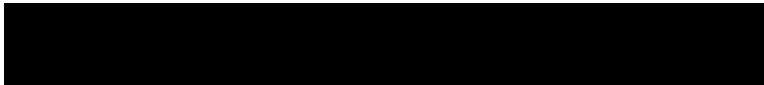
T_3 : 基礎ボルト 1 本あたりに作用する引張力 \blacksquare (N)



b. 基礎ボルト 1 本あたりに作用する引張応力： σ_{t7}

$$\sigma_{t7} = \blacksquare \dots\dots\dots (6.5.4)$$

σ_{t7} : 基礎ボルト 1 本あたりに作用する引張応力 \blacksquare (MPa)



c. 基礎ボルト 1 本あたりに作用するせん断力： S_3

$$S_3 = \blacksquare \dots\dots\dots (6.5.5)$$

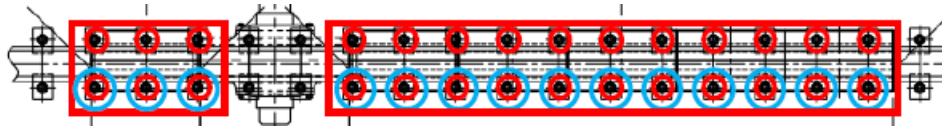
S_3 : 基礎ボルト 1 本あたりに作用するせん断力 \blacksquare (N)



d. 基礎ボルト 1 本あたりに作用するせん断応力： σ_{s5}

$$\sigma_{s5} = \blacksquare \dots\dots\dots (6.5.6)$$

σ_{s5} : 基礎ボルト 1 本あたりに作用するせん断応力 \blacksquare (MPa)



○ : 引張力は赤丸ボルト 28 本で負担する
○ : せん断力は青丸ボルト 14 本で負担する

図 6-11 走行レールクリップ基礎ボルト

6.6 ~~走行レールクリップ基礎ボルトのAIJ評価~~

~~走行レールクリップに加わる荷重は応答スペクトル解析により求める。日本建築学会各種合成構造設計指針・同解説に基づき、荷重の評価およびその他の要件を満足することを確認する。~~

(1) ~~引張力~~

~~p: 走行レールクリップ基礎ボルトに加わる引張力の最大値: [] (N)~~

~~許容引張力: $pa = \min(pa1, pa2)$~~

~~pa1: アンカーボルト降伏により決定される許容引張力 [] (N)~~

~~pa2: コーン状破壊により決定される許容引張力 [] (N)~~

~~$pa > p$ であり引張に対して健全である。~~

(2) ~~せん断力~~

~~q: 走行レールクリップ基礎ボルトに加わるせん断力の最大値: [] (N)~~

~~許容引張力: $qa = \min(qa1, qa2, qa3)$~~

~~qa1: アンカーボルトせん断強度により決定される許容引張力 [] (N)~~

~~qa2: 躯体の支圧強度により決定される許容引張力 [] (N)~~

~~qa3: コーン状破壊により決定される許容引張力 [] (N)~~

~~$qa > q$ でありせん断に対して健全である。~~

(3) ~~組合せ~~

$$\left(\frac{p}{p_{\alpha}}\right)^2 + \left(\frac{q}{q_{\alpha}}\right)^2 \leq []$$

~~$\left(\frac{p}{p_{\alpha}}\right)^2 + \left(\frac{q}{q_{\alpha}}\right)^2 \leq 1$ であり引張とせん断の組み合わせに対して健全である。~~

(4) ~~短期許容せん断力を確保するための有効埋め込み深さ~~

~~$s_{\alpha pa} \times s_{\alpha ca} \leq e_{\alpha t} \times A_c$ であることを確認する。~~

~~$s_{\alpha pa} \times s_{\alpha ca}$: [] (N)~~

~~$s_{\alpha pa}$: 接着系アンカーボルトの引張強度~~

~~$s_{\alpha ca}$: アンカーボルト断面積~~

~~$e_{\alpha t} \times A_c$: [] (N)~~

~~$e_{\alpha t}$: コンクリートの引張強度~~

~~A_c : せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影断面積~~

~~上記より $s_{\alpha pa} \times s_{\alpha ca} \leq e_{\alpha t} \times A_c$ であることを確認~~

~~(5) 有効埋め込み深さ
 $le \geq 4d$ であることを確認する。~~

~~le : 基礎ボルトの有効埋め込み深さ (mm)~~

~~d : 基礎ボルトの径 (mm)~~

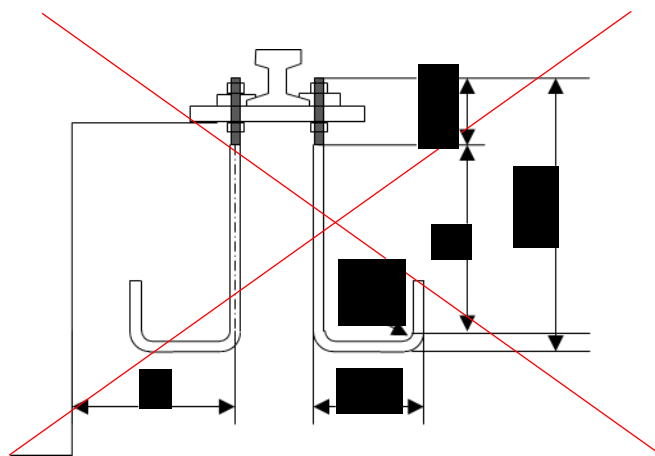
~~上記より $le \geq 4d$ であることを確認~~

~~(6) へりあき寸法
 $e \geq 3d$ であることを確認する。~~

~~e : へりあき寸法 (mm)~~

~~d : 基礎ボルトの径 (mm)~~

~~上記より $e \geq 3d$ であることを確認。~~



~~図6-12 走行レールクリップ基礎ボルト埋込部~~

6.6 吊具の荷重計算方法

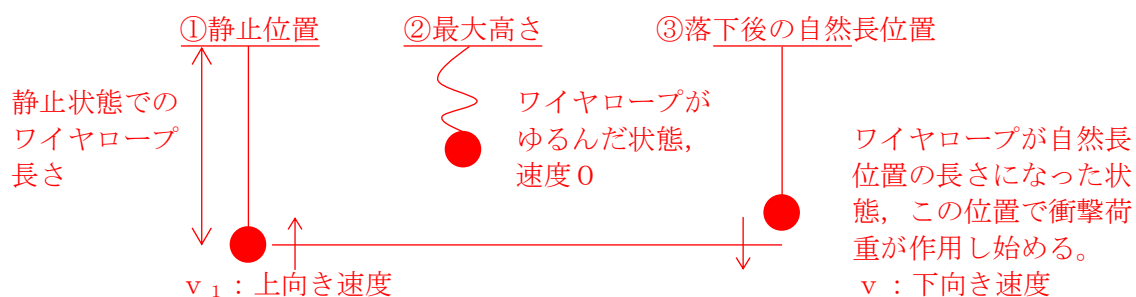
クレーンの吊具荷重を受ける各部分は、クレーン本体、トロリ、ワイヤロープおよびフックで、このうち吊荷を直接吊るもので、損傷・破断により落下に至る可能性があるワイヤロープとフックを評価対象とする。

ワイヤロープおよびフックの計算にあたっては、以下の基本事項で行うものとする。

- ・クレーンおよび吊荷の速度算出にあたっては、クレーン、吊荷質量およびワイヤロープ長さの評価条件を、固有周期と床応答スペクトルの関係から評価が厳しくなるように設定する。
 - ①ワイヤロープ長さは、固有周期に対する床応答特性（加速度）がより厳しくなる長さとする。評価にあたっては、ここでのワイヤロープ長さは吊上げ上端位置とする。
 - ②吊荷の質量は、定格質量で評価を実施する。
- ・ワイヤロープ、フックの荷重は、吊荷を1自由度モデルにより求めた固有周期に対応する加速度、クレーンを4.4項より求めた固有周期に対応する加速度をもとに、吊荷が一度浮上って落下したときの衝撃荷重を算出する。
- ・クレーンと吊荷の位相差が吊荷に及ぼす影響については、吊荷とは逆位相に生じるクレーンの速度を、吊荷に作用する相対速度として考慮する。
- ・衝撃荷重は、吊荷が持っている運動量の保存則を考慮して算出する。
- ・水平方向地震に伴い、吊荷が振り子運動を起こして吊具に遠心力が作用するが、その影響については、軽微であることから、評価においては鉛直方向地震だけを考慮するものとする。

(1) 吊荷の浮上り後の落下速度の算出

吊荷は、図 6-12 に示すように、鉛直方向に浮上り再び自然長位置に戻った瞬間から、吊具の衝撃荷重を与える。

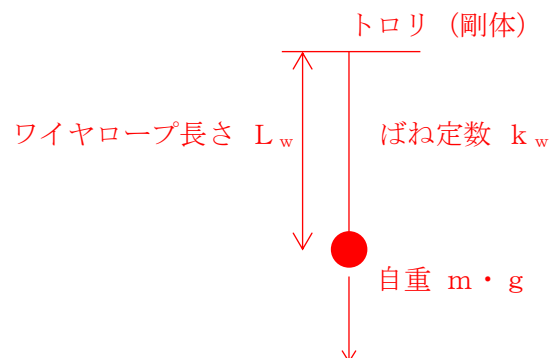


- 下向き速度 v
②, ③まではエネルギー保存則より
下向き速度 v は
 $v < v_1$
となるが、保守的に
 $v = v_1$
として評価を行う。

図 6-12 吊荷の浮上りの様子

(2) 吊荷の固有周期

以下のとおり、トロリを剛体としたときの吊荷の固有周期 T_w を算出する。



$$\text{固有周期: } T_w = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k_w}}$$

ここで、

T_w : ワイヤロープ・吊荷の単振動モデルから計算される吊荷の固有周期
 ■■■■ (s)

m : 吊荷の質量 30000 (kg)

k_w : ワイヤロープのばね定数 ■■■■ (N/mm)

$$\text{ばね定数: } k_w = \frac{A_w \cdot n_w \cdot E_w}{L_w}$$

ここで、

A_w : ワイヤロープ 1 本の断面積 ■■■■ (mm²)

n_w : ワイヤロープ本数 ■ (-)

E_w : ワイヤロープの縦弾性係数 ■■■■ (MPa)

L_w : ワイヤロープ長さ ■■■■ (mm)

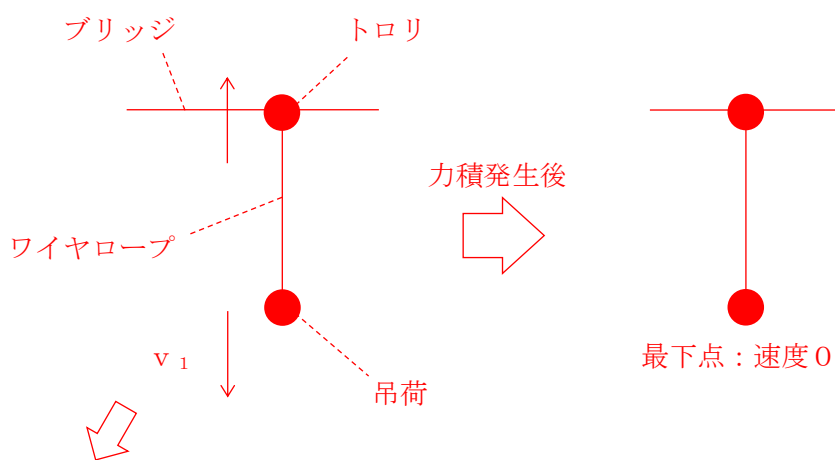
(3) 吊荷に作用する衝撃荷重

以下のとおり、ワイヤロープ、フックに作用する荷重Fを算出する。

図6-13及び図6-14に示すように、ワイヤロープの下端にある吊荷の運動量の変化は吊荷とトロリの質量や固有値が異なることから v_1 と v_2 が同値にならないが、保守的にワイヤロープの減衰がなく完全弾性衝突を仮定して反発係数を1とすれば以下となる。

$$(\text{力積}) : \int_0^{\frac{T_w}{4}} F \cdot \sin\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{t}{T_w}\right) \cdot dt$$

$$(\text{吊荷の運動量の変化}) : m \cdot (v_1 + v_2)$$



相対速度 ($v_1 + v_2$) とする。

図6-13 吊荷落下後の速度変化

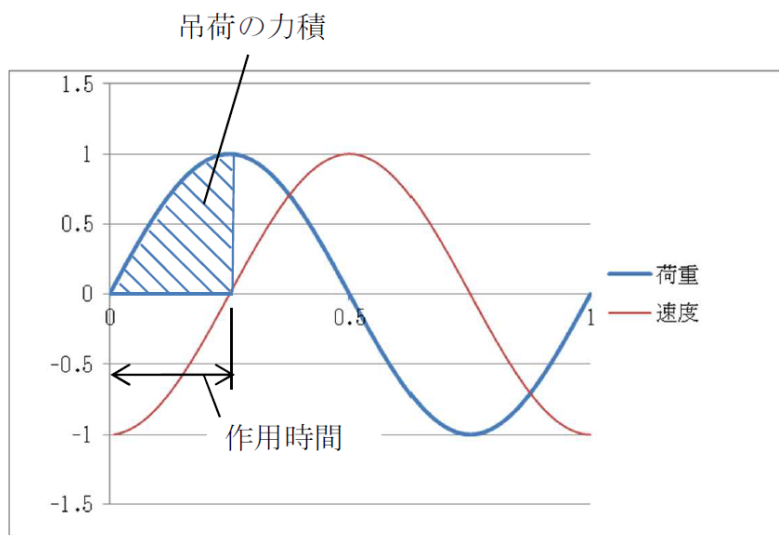


図6-14 吊荷の力積の概念図

吊荷の運動方向が変化する時間については、ワイヤロープが完全弾性体で、吊荷とトロリの運動が自由振動系であることを仮定すれば、吊荷の固有周期 T_w の4分の1となる。

以上から、運動量変化および作用時間をもとに荷重は、自重分を追加して、以下のとおり計算する。

$$F = \frac{2 \cdot \pi \cdot m \cdot (v_1 + v_2)}{T_w} + m \cdot g$$

ここで、

F : 吊荷の浮上り後の落下によりワイヤロープ、フックに発生する荷重 (N)

m : 吊荷の質量 30000 (kg)

T_w : ワイヤロープ・吊荷の単振動モデルから計算される吊荷の固有周期 (s)

v_1 : 吊荷の最大速度 (mm/s)

v_2 : トロリの最大速度 (mm/s)