

本資料のうち、枠囲みの内容は当社の商業機密若しくは防護上の観点又は他社の機密事項を含む可能性があるため公開できません。

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-19-0600-27_改 2
提出年月日	2021年 9月 10日

補足-600-27 海水ポンプ室門型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

女川2号機の海水ポンプ室門型クレーン（Cクラス施設）は、下部に設置された上位クラス施設である原子炉補機冷却海水ポンプ等に対して、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-2-11-2-1 海水ポンプ室門型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-2-11-2-1 海水ポンプ室門型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として、評価に用いた解析手法の適用性、評価用地震動の選定方法等についてまとめたものである。

2. 添付資料

- 添付1 海水ポンプ室門型クレーンの耐震評価の基本方針
- 添付2 海水ポンプ室門型クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用性
- 添付3 先行実績との構造/評価手法比較
- 添付4 海水ポンプ室門型クレーンの地震時挙動に関する補足説明
- 添付5 海水ポンプ室門型クレーン評価用地震動の選定
- 添付6 海水ポンプ室門型クレーンに適用する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7 ワイヤロープの長さや吊荷の速度変化及び発生荷重との関係
- 添付8 地震時の本体車輪部及び脱輪防止装置が衝突するレール躯体の評価
- 添付9 主巻ワイヤのブレーキ制動力
- 添付10 側面の接触による摩擦力の影響
- 添付11 海水ポンプ室門型クレーンの地震時におけるストッパへの影響
- 添付12 地震時における吊荷の揺動影響
- 添付13 トロリストッパ評価における非線形時刻歴応答解析から求めた水平力適用の影響
- 添付14 海水ポンプ室門型クレーン改造概要

海水ポンプ室門型クレーンの耐震評価の基本方針

1. 要求事項

海水ポンプ室門型クレーン（以下「門型クレーン」という。）は海水ポンプ室を跨ぐ形で設置されており，海水ポンプ室補機ポンプエリアに設置している非常用海水ポンプ等のメンテナンスに使用される設備である。門型クレーンの設置位置について図 1-1 に示す。

発電所の運転中など非常用海水ポンプ等のメンテナンスを実施しない期間は，門型クレーンは図中に示す通常待機位置に待機しているため，周辺の上位クラス施設とは十分な離隔距離があることから波及的影響を及ぼすおそれはない。

一方で，定期検査中など非常用海水ポンプ等のメンテナンスを実施する期間には，上位クラス施設が設置されている補機ポンプエリア付近に位置することとなる。そのため，門型クレーンが地震に伴う損傷・落下によって補機ポンプエリアに設置されている上位クラス施設へ波及的影響を及ぼさないことが要求される。

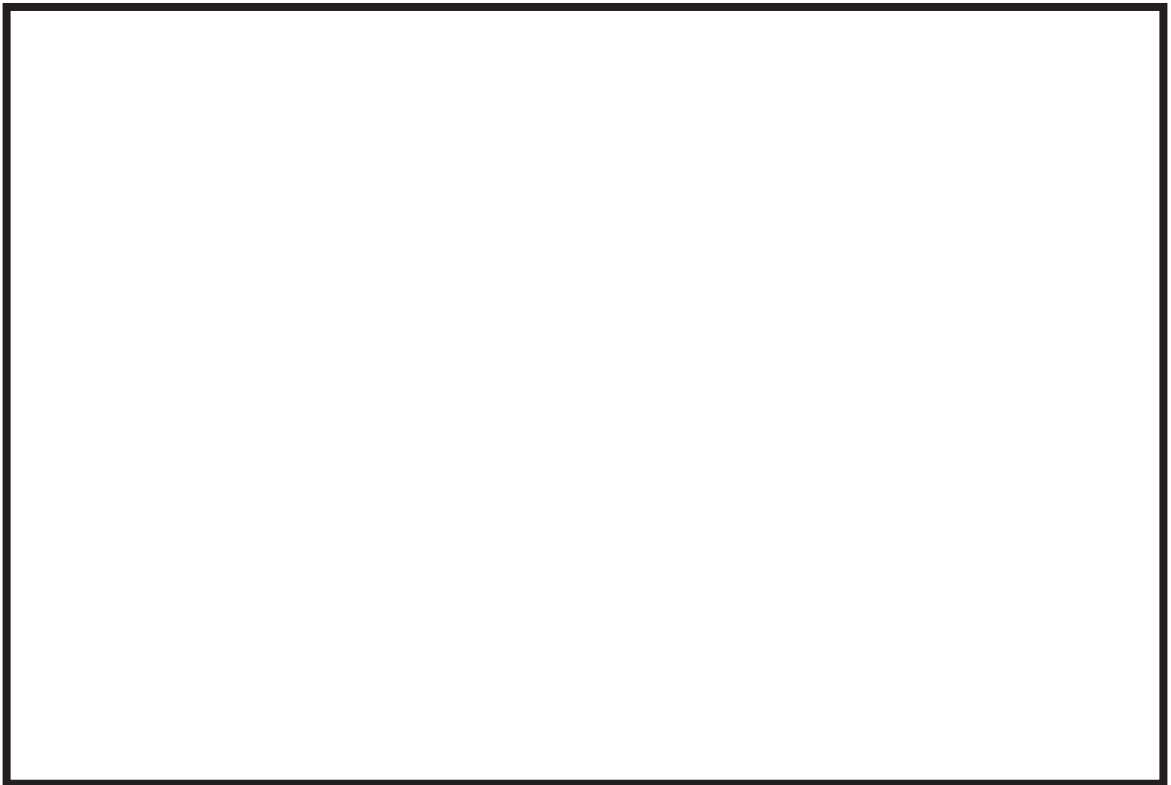


図 1-1 海水ポンプ室門型クレーンの設置位置概要

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

2. 構造の概要

門型クレーンは剛脚、揺脚、クレーン本体ガーダ及びトロリなどの構造体で構成されている。全体構造図を図 1-2 に示す。

剛脚、揺脚はその上部にあるクレーン本体ガーダを支持し、下部には走行装置が設置されている。剛脚はクレーン本体ガーダと剛接合、揺脚はクレーン走行方向の軸回りに摺動回転可能な継手でクレーン本体ガーダと接合されており、回転の自由度をもたせることで、クレーン本体ガーダの温度変化によるたわみ等による走行レールへの過度な荷重を逃がす役割を担っている。なお、地震時におけるクレーン本体ガーダの水平方向移動量は全長約 m に対して約 m (揺脚摺動角度にして約 °) であり、門型クレーンの構造安定性に影響を及ぼすものではない。クレーン本体ガーダは剛脚、揺脚の上部に設置されており、その上面にトロリが移動するための横行レールが設置されている。トロリは横行レール上に位置しており、非常用海水ポンプ等のメンテナンス時等に吊荷を巻き上げるための巻上げ装置を有している。非常用海水ポンプ等のメンテナンス時には、トロリに設置された巻上げ装置とワイヤロープ及び主巻フックを介し、吊荷の吊上げ、吊下げ、移動等の作業を実施する。

また、クレーン本体は海水ポンプ室の東側と西側に敷設された走行レール上を剛脚、揺脚下部にある走行装置並びに車輪によって移動する。トロリについてはクレーン本体ガーダ上面の横行レール上をトロリ下部にある走行装置並びに車輪によって移動する。さらに、クレーン本体、トロリの脱輪による転倒もしくは落下を防止するため、それぞれ脱輪防止装置、トロリストoppaが設置されており、地震発生時に浮上りが起こった場合でも脱輪による転倒もしくは落下を生じない構造となっている。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

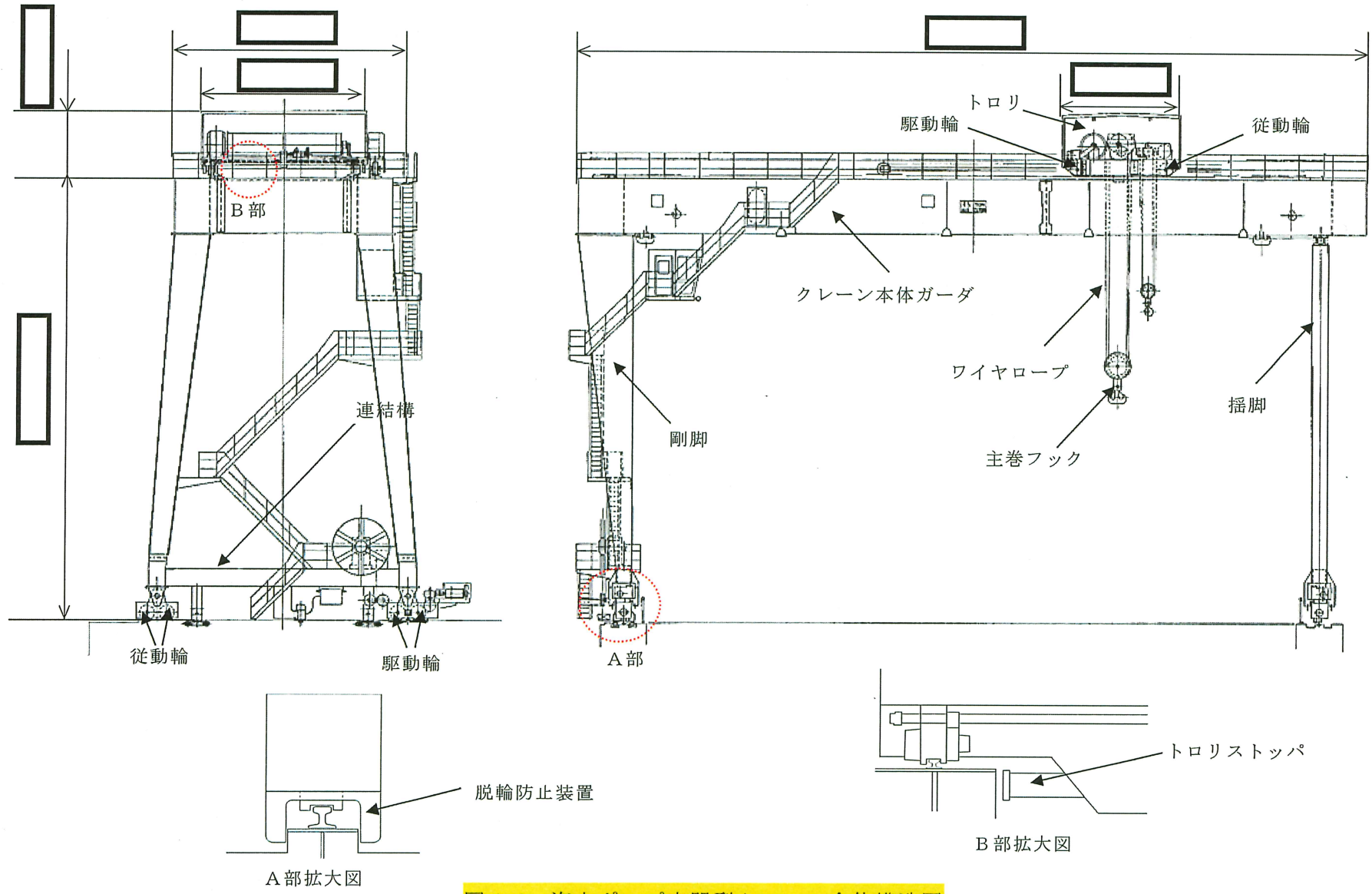


図 1-2 海水ポンプ室門型クレーン全体構造図

3. 耐震評価方法

3.1 解析方法及び解析モデル

門型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。

3.1.1 解析方法の詳細

(1) 門型クレーンは、地震加速度によって浮上りが発生する可能性があるため、その浮上り状況を適切に評価するために、多質点はりモデルによる非線形時刻歴応答解析を適用する。門型クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用性については添付資料 2 に示す。

(2) 地震応答解析に用いる減衰定数は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に基づき、水平方向及び鉛直方向ともに 2.0%を用いる。

なお、減衰定数は Rayleigh 減衰により、減衰比 2.0%となる固有周期点を 1Hz 及び 20Hz に設定することで与える。この固有周期点は、海水ポンプ室門型クレーンの水平方向 1 次固有周期が最長で [] であることを踏まえて設定している。

また、Rayleigh 減衰における係数 α 及び β は、それぞれ $\alpha = []$, $\beta = []$ とする。

(3) クレーン本体及びトロリの車輪部はレール上に乗っており固定されていないため、すべりが発生する構造であることから、解析に当たっては車輪-レール間のすべり状況を考慮する。

(4) 吊具の評価を行う場合は、トロリにワイヤロープを模擬したトラス要素と吊荷を模擬した質点を設けて地震応答解析を実施し、吊具に発生する加速度を算出し、これを用いて評価を行う。また、ワイヤロープについては、引張方向（鉛直下向き）にのみ荷重を受け、圧縮方向（鉛直上向き）の荷重を受けない設定とする。

3.1.2 解析モデル及び諸元

解析モデルはクレーン本体をはり要素、シェル要素及び非線形要素でモデル化した FEM モデルとする。解析モデル概要図を図 1-3 に示す。

なお、トロリは剛な構造物であり、トロリストッパを除く構造物は評価対象部位としておらず、モデル上は、質量としてクレーン本体に付加することを目的としているため、単純なシェル要素としてモデル化している。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

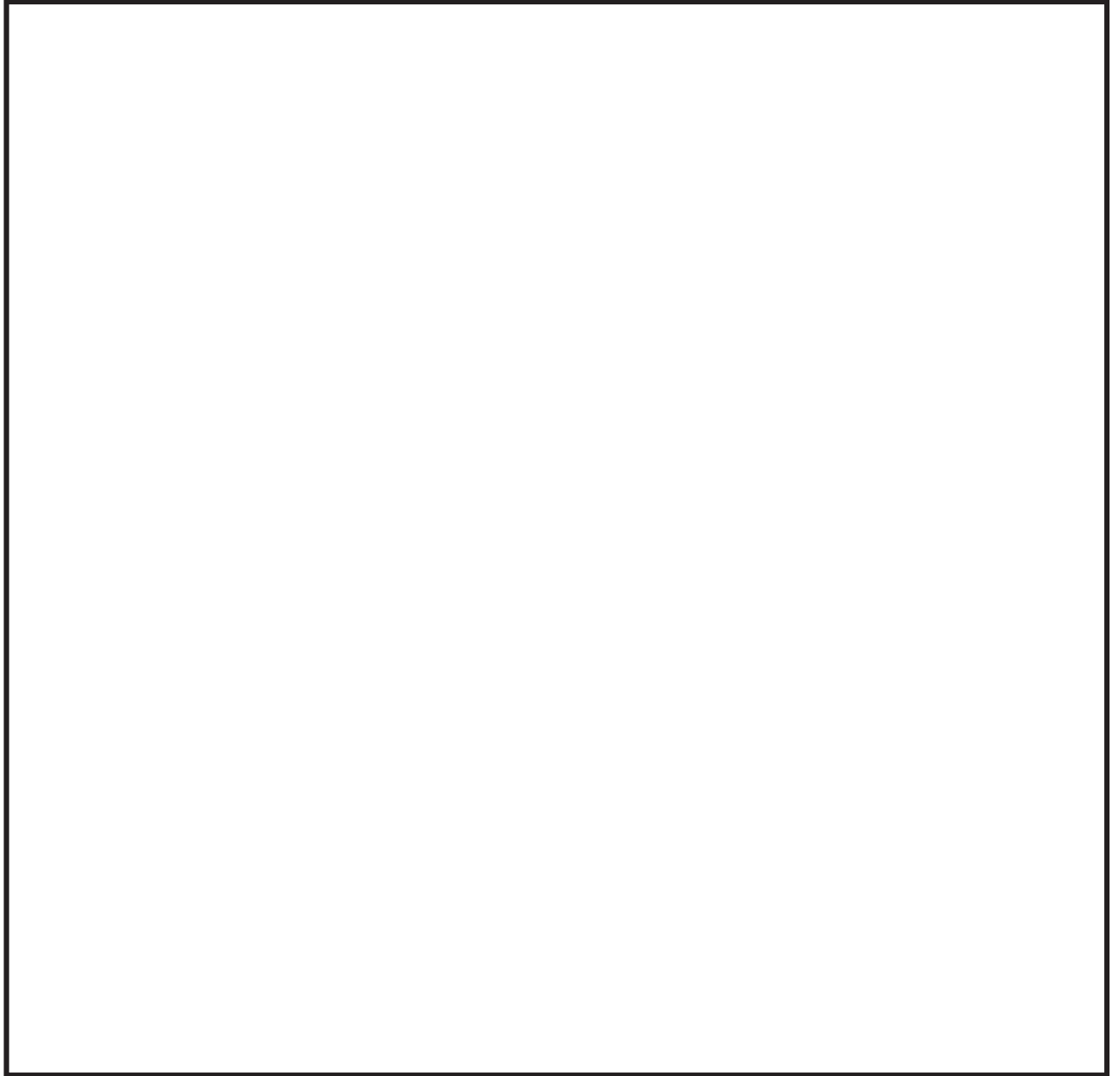


図 1-3(1) 海水ポンプ室門型クレーンの解析モデル（固有値解析時）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

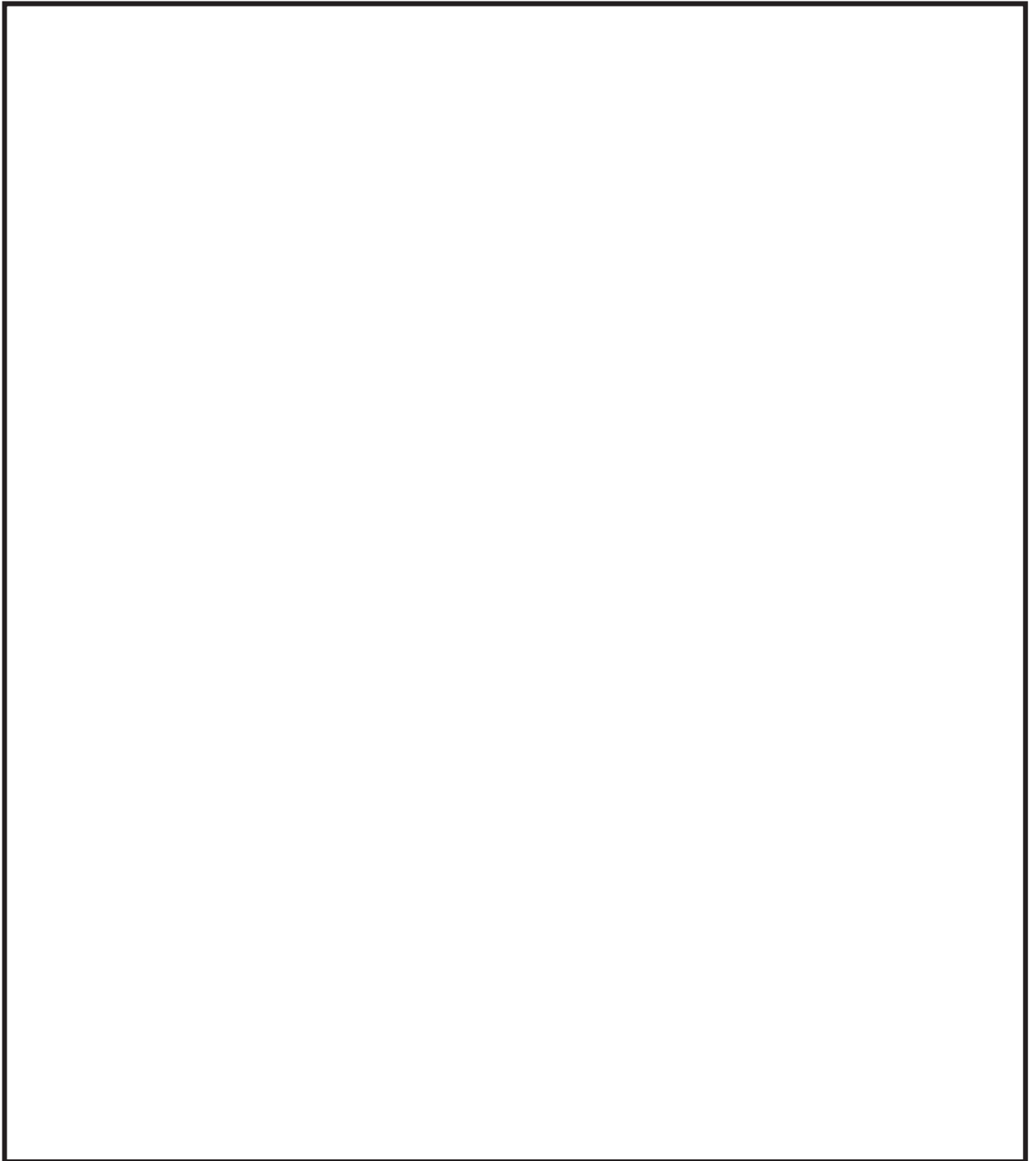


図 1-3(2) 海水ポンプ室門型クレーンの解析モデル（地震応答解析時）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.1.3 解析モデルの境界条件

クレーン本体車輪部（駆動輪，従動輪）と走行レール，トロリ車輪部（駆動輪，従動輪）と横行レールにおける解析モデルの境界条件を表 1-1 及び表 1-2 に示す。

固有値解析時は，クレーン本体車輪部及びトロリ車輪部において，水平方向及び鉛直方向ともに拘束条件としている。

地震応答解析時は，クレーン本体車輪部においては，NS 方向（クレーン本体走行方向）及び UD 方向（鉛直方向）について，それぞれすべり，浮上りを考慮しているため，非拘束条件としている。また，EW 方向（クレーン本体走行方向の直交方向）についてはクレーン本体車輪部と走行レールとの間隙（片側約 17.5mm）及び脱輪防止装置と躯体の間隙（片側約 20mm）は非常に狭く，地震時には，クレーン本体車輪部と走行レールが接触して荷重が伝達されるため，拘束条件としている。

一方，トロリ車輪部においては，EW 方向（トロリ走行方向）及び UD 方向（鉛直方向）について，それぞれすべり，浮上りを考慮して非拘束条件としている。また，NS 方向（トロリ走行方向の直交方向）については，トロリ車輪部と横行レールの間隙（片側約 9mm），トロリストップと躯体の間隙（片側約 32 mm）が非常に狭く，地震時には，トロリ車輪部と横行レールが接触し，荷重が伝達されることから，すべりを生じない拘束条件としている。

クレーン本体車輪部及びトロリ車輪部の概要図について，図 1-4 に示す。

表 1-1 境界条件（クレーン本体車輪部と走行レール）

解析内容	部位*		NS 方向 (クレーン本体 走行方向)	EW 方向 (クレーン本体 走行方向の 直交方向)	UD 方向 (鉛直方向)
固有値 解析	クレーン 本体車輪 部と走行 レール	①(駆動輪)	並進：拘束 回転：非拘束	並進：拘束 回転：非拘束	並進：拘束 回転：非拘束
		②(駆動輪)			
		③(従動輪)			
		④(従動輪)			
地震応 答解析	クレーン 本体車輪 部と走行 レール	①(駆動輪)	並進：非拘束 ・すべり考慮 $\mu = 0.3$ 回転：非拘束	並進：拘束 ・走行レール及 び脱線防止装置 による拘束 回転：非拘束	並進：非拘束 ・浮上り考慮 回転：非拘束
		②(駆動輪)			
		③(従動輪)	並進：非拘束 ・追従移動 $\mu = 0$ 回転：非拘束		
		④(従動輪)			

注記*：部位欄の番号①～④は，図 1-3 中の①～④に対応。

μ ：摩擦係数

表 1-2 境界条件（トロリ車輪部と横行レール）

解析内容	部位*		NS 方向 (トロリ走行方向の直交方向)	EW 方向 (トロリ走行)	UD 方向 (鉛直方向)
固有値解析	トロリ車輪部と横行レール	⑤(駆動輪)	並進：拘束 回転：非拘束	並進：拘束 回転：非拘束	並進：拘束 回転：非拘束
		⑥(駆動輪)			
		⑦(従動輪)			
		⑧(従動輪)			
地震応答解析	トロリ車輪部と横行レール	⑤(駆動輪)	並進：拘束 ・横行レール及びトロリストッパによる拘束 回転：非拘束	並進：非拘束 ・すべり考慮 $\mu = 0.3$ 回転：非拘束	並進：非拘束 ・浮上り考慮 回転：非拘束
		⑥(駆動輪)			
		⑦(従動輪)		並進：非拘束 ・追従移動 $\mu = 0$ 回転：非拘束	
		⑧(従動輪)			

注記*：部位欄の番号⑤～⑧は，図 1-3 中の⑤～⑧に対応。

μ ：摩擦係数

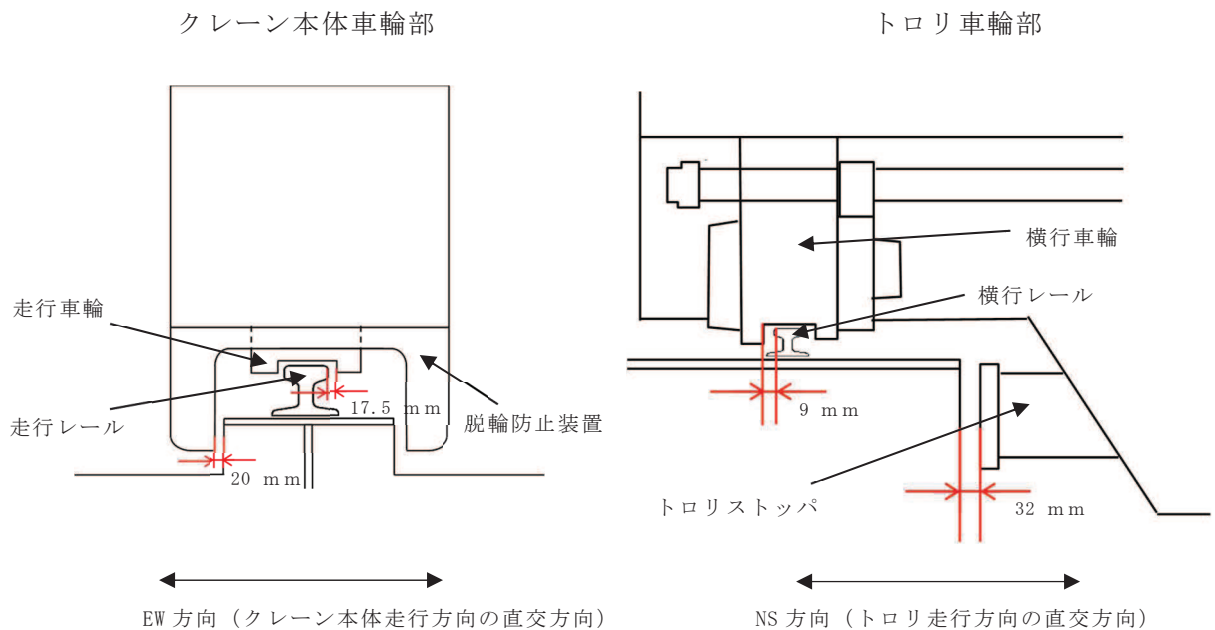


図 1-4 クレーン本体車輪部及びトロリ車輪部概要図

3.1.4 クレーン車輪部の非線形要素の設定

(1) 車輪部の非線形要素の考え方

クレーン全体モデル図及び車輪部の非線形要素図を図 1-5 に示す。

クレーン車輪部のモデル化では、すべり、鉛直方向の浮上り及び衝突の挙動を模擬するためギャップ要素を用いる。鉛直方向は、接触部位の局所変形による接触剛性をばね要素で、衝突による減衰効果を減衰要素で模擬し、ギャップ要素と直列に配置する。

また、クレーン横行方向については、ばね要素によって剛拘束とし、クレーン走行方向は、ギャップ要素に設定した摩擦係数と十分に柔なばね要素によりすべりの挙動を模擬する。

なお、各要素（ギャップ要素、ばね要素、減衰要素）の詳細設定については(2)以降に記載する。



クレーン全体モデル図

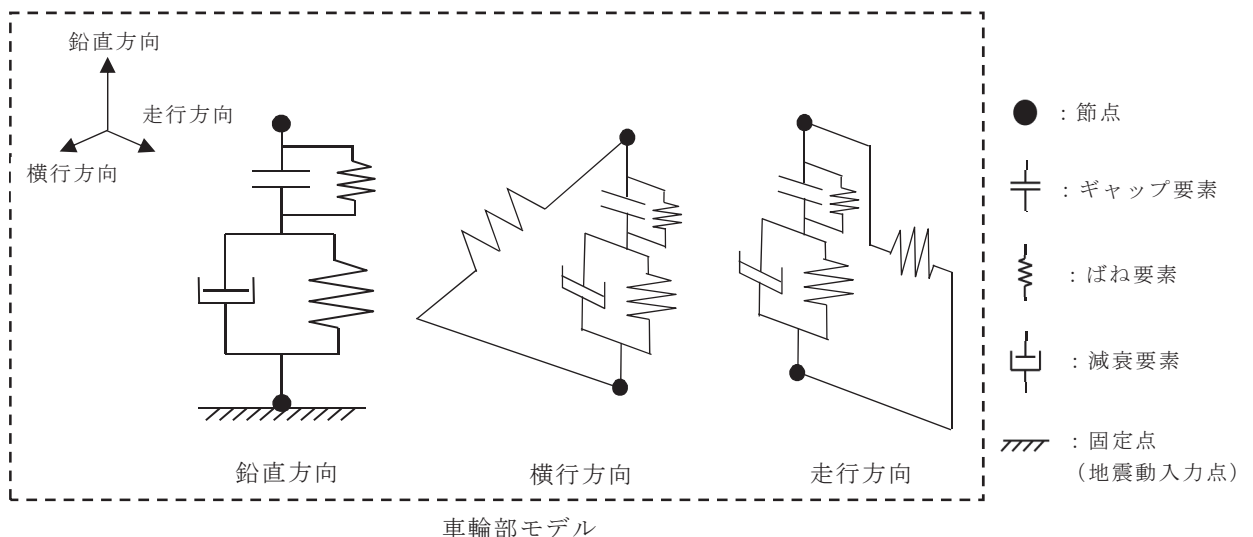


図 1-5 クレーン全体モデル図及び車輪部の非線形要素図

(2) 車輪とレール間の摩擦特性（ギャップ要素）

クレーンの車輪には電動機及び減速機等の回転部分と連結された駆動輪と回転部分と連結されていない従動輪の2種類がある。このうち駆動輪は回転が拘束されているため、地震力が車輪部に加わると回転部分が追従できず最大静止摩擦力以上の水平力が加わればレール上をすべる。

摩擦係数は実機の縮小試験体を用いて加振試験を行った既往研究⁽¹⁾を踏まえ、0.3と設定した。既往研究においては、摩擦係数として0.11～0.19の値が確認されているが、摩擦係数の大きい方がクレーン本体へ加わる水平力が大きくなるため、保守的に0.3とした。

既往研究における試験体（原子炉建屋クレーンタイプ）と門型クレーンの構造上の差異（門型クレーンには脚が存在）から門型クレーンは地震動に対して多少のロッキング挙動を示す可能性はあるが、接触形態（車輪（曲面形状）とレール（平面形状）による鋼材同士の接触）は変わらないことから摩擦係数への影響は軽微であると考えられる。

なお、摩擦係数0.3は、女川2号機原子炉建屋クレーンの既工認（静的解析*）及び先行実績（大間1号機（動的解析））においても同様に適用されている。

注記*：すべり方向の水平力として最大静止摩擦力（鉛直方向荷重×摩擦係数（0.3））を用いてクレーン本体及びトロリを評価

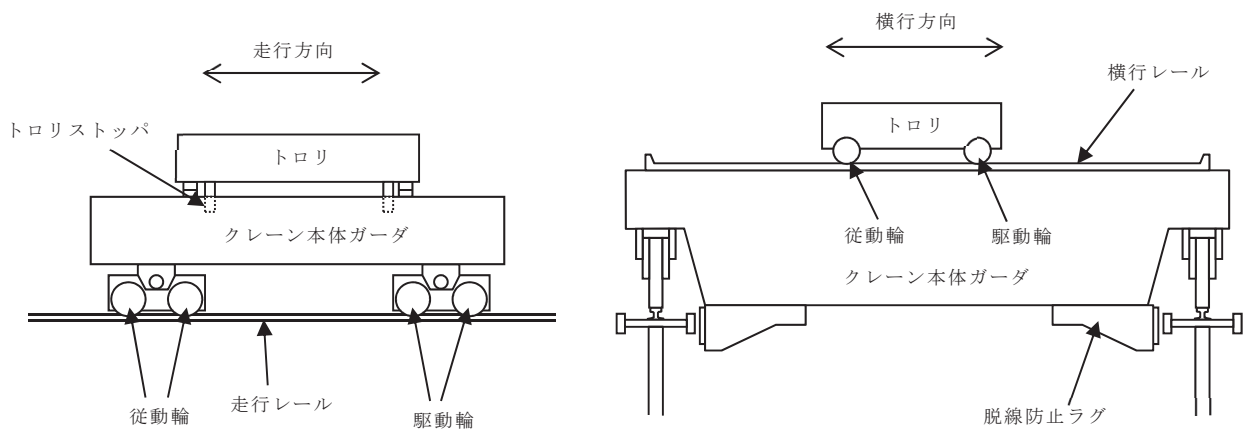


図 1-6 女川 2 号機原子炉建屋クレーン概要図

(3) 車輪とレールの接触剛性（ばね要素）

接触剛性はクレーン類の非線形応答挙動を検討した既往研究⁽²⁾を踏まえ、接触剛性を考慮したばね要素とクレーン質量で構成される1自由度系の固有振動数が20Hzになるように設定した。既往研究においては、今回の設定方法のほか、ヘルツの接触理論により荷重に着目して設定する方法、荷重やトロリ浮上がり量等の試験結果と同等になるようにパラメータスタディを行って設定する方法などを検討しているが、いずれの設定方法でも接触剛性（ばね要素）の差異がほとんどないことが確認されている。

なお、今回の接触剛性（ばね要素）の設定方法は、先行実績（大間1号機）においても同様に適用されている。

(4) 車輪とレール間の衝突による減衰（減衰要素）

減衰は、クレーン類の非線形応答挙動を検討した既往研究⁽³⁾を踏まえ、車輪の反発係数から換算される減衰比を設定した。既往研究においては、車輪及びレールを模擬した試験体を用いて、重力加速度を利用した反発試験（図 1-7）を実施し、車輪とレール間の反発係数から減衰比を確認している。

なお、反発係数と減衰比の関係式は次式のとおり。また、反発係数と減衰比の関係を図 1-8 に示す。

$$e = \exp\left(-\frac{h\pi}{\sqrt{1-h^2}}\right)$$

e: 反発係数, h: 減衰比

既往研究の反発係数試験から得られた反発係数は、0.6~0.65 であり、減衰比に換算すると となるため、下限値となる を適用する。

なお、今回の減衰の設定方法は、先行実績（大間 1 号機）においても同様に適用されている。

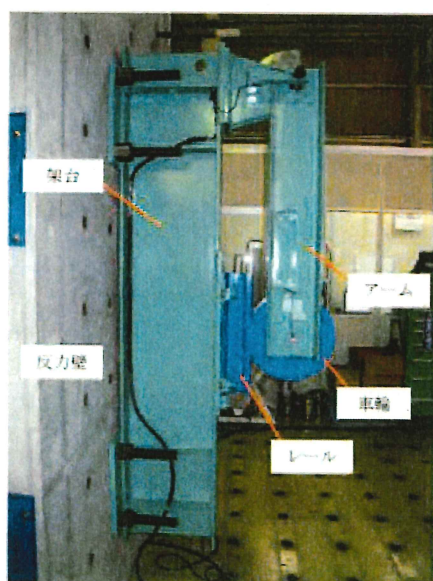


図 1-7 車輪反発係数試験体*

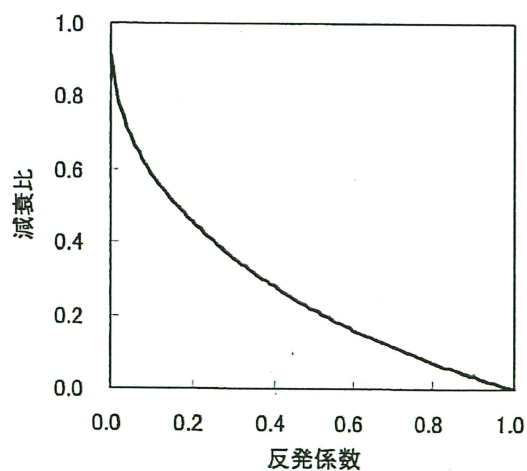


図 1-8 反発係数と減衰比の関係*

注記* : 『平成 19 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験（クレーン類）に係る報告書（08 耐部報-0021, (独)原子力安全基盤機構）』より一部引用

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4. 参考文献

- (1)天井クレーンのすべりを伴う地震時挙動（火力原子力発電.Vol140 No.6 小森ほか）
- (2)「平成 20 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験（クレーン類）に係る報告書（09 耐部報-0008,（独）原子力安全基盤機構）」
- (3)「平成 19 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験（クレーン類）に係る報告書（08 耐部報-0021,（独）原子力安全基盤機構）」

海水ポンプ室門型クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用性

1. 概要

女川 2 号機海水ポンプ室門型クレーン（以下「門型クレーン」という。）が上位クラス施設へ波及的影響を及ぼさないことを確認するため、基準地震動 S_s に対して十分な構造強度を有することを確認する必要がある。構造概要図を図 2-1 に示す。

門型クレーンがレール上に固定されていないという構造上の特徴を踏まえ、水平方向へのすべりと鉛直方向の車輪部の浮上りを考慮した解析モデルによる非線形時刻歴応答解析を適用する。

解析モデル概要図を図 2-2 に示す。

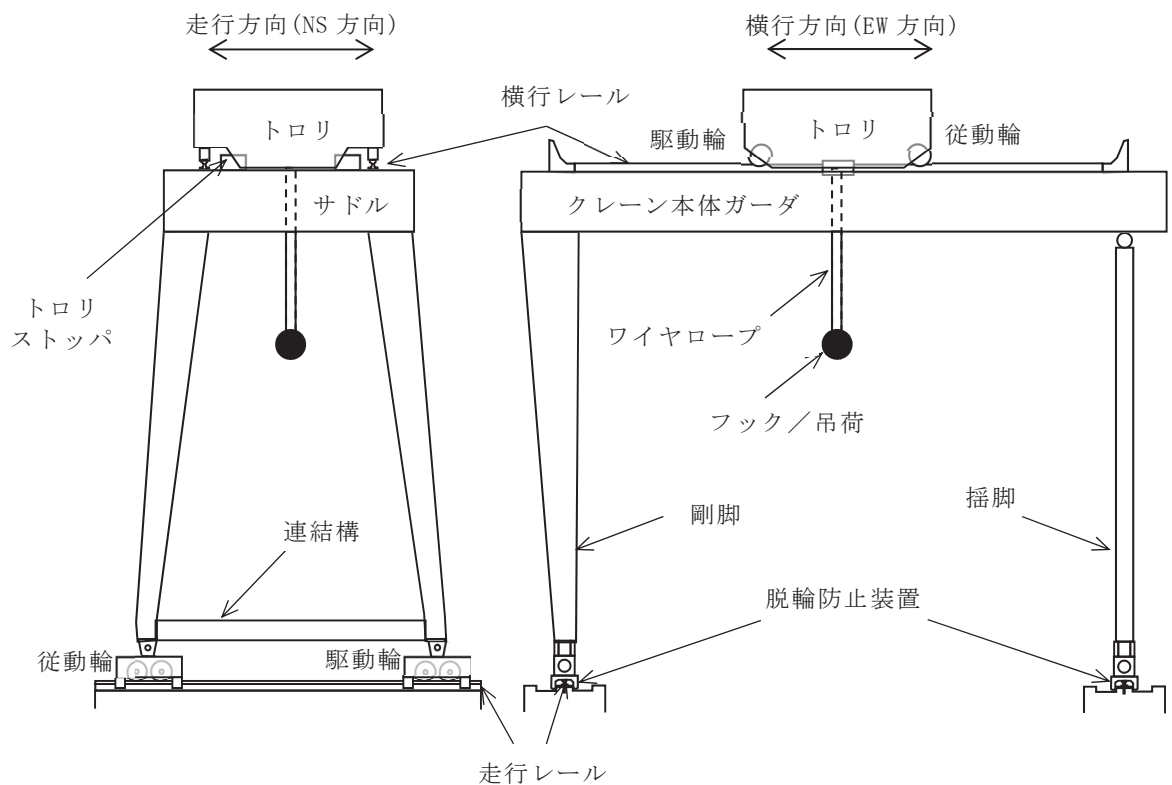


図 2-1 構造概要図



図 2-2 解析モデル概要図

2. 先行実績（BWR プラント原子炉建屋クレーン）との比較

門型クレーンに非線形時刻歴応答解析を適用するにあたって、先行実績として大間 1 号機原子炉建屋クレーン及び柏崎刈羽 7 号機原子炉建屋クレーンで適用実績があるため、それぞれの構造や特徴を比較し、適用性について確認する。

2.1 構造の比較

2.1.1 全体構造

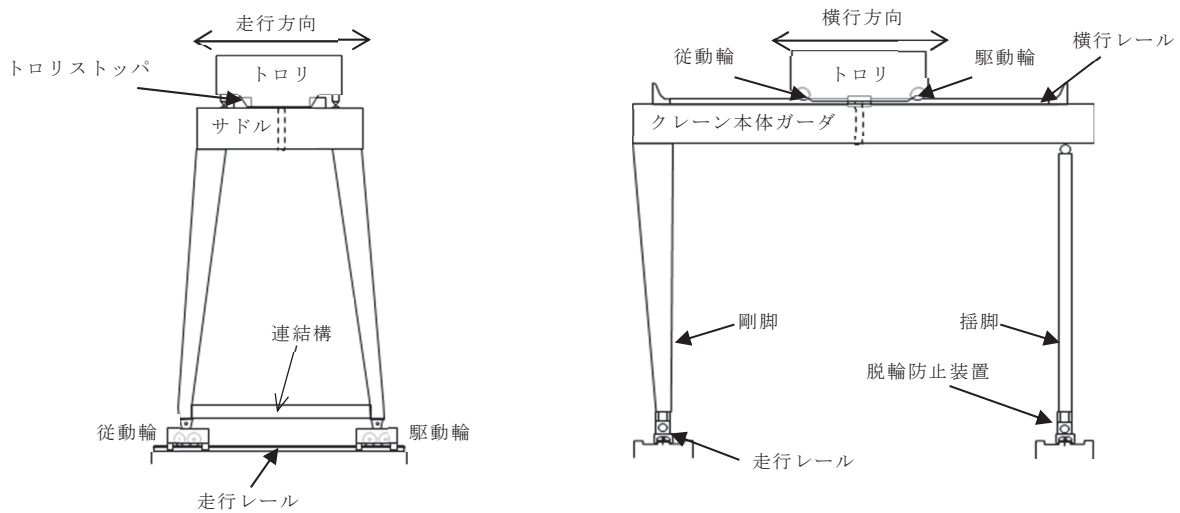
(1) 構造概要

原子炉建屋クレーンは、トロリ式天井クレーンに分類されるものであり、2 本のレール上を走行する方式である。走行レール間はガーダと呼ばれる部材が渡された桁構造で、ガーダ下部に設けられている車輪を介して走行レール上に設置されている。また、ガーダ上部には横行レールとトロリが設置され、吊荷の吊上げ、吊下げ及び移動が行われる。

門型クレーンは、トロリ式橋型クレーンに分類されるものであり、2 本のレール上を走行する方式である。走行レール間はトロリ式天井クレーンと同様にガーダが渡された桁構造となっている。ガーダ下部には脚が設けられており、この脚の下部の車輪を介して走行レール上に設置されている。ガーダ上部にはトロリ式天井クレーンと同じく横行レールとトロリが設置され、吊荷の吊上げ、吊下げ及び移動が行われる。

原子炉建屋クレーン及び門型クレーンの概要図について図 2-3 に示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



(b) 女川2号機門型クレーン

図 2-3 原子炉建屋クレーン及び門型クレーンの構造概要図

枠囲みの内容は他社の機密事項を含む可能性があるため、公開できません。

(2) 全体構造

原子炉建屋クレーンの本体構造はガーダ、サドルと呼ばれる鋼構造物が主体となっている。トロリ本体も同様に鋼構造物で構成されている。ガーダは走行ルール上に、トロリは横行ルール上とともに4箇所にある車輪を介して固定されずに設置されていることから地震時には水平方向にすべり、鉛直方向に浮上りが発生する。

門型クレーンの本体構造はガーダ、サドル及び脚と呼ばれる鋼構造物が主体となっている。トロリ本体も同様に鋼構造物で構成されている。脚は走行ルール上に、トロリは横行ルール上とともに4箇所にある車輪を介して固定されずに設置されていることから地震時には、原子炉建屋クレーンと同様、水平方向にすべり、鉛直方向に浮上りが発生する。

(3) 構造の特徴比較

原子炉建屋クレーンと門型クレーンの構造について特徴を比較した結果を表2-1に示す。

両設備の違いは脚の有無だけであり、それ以外の構造物としての特徴は類似している。また、ルールと4箇所の車輪が固定されずに接触し、水平方向にすべり、鉛直方向に浮上りが発生する挙動は両クレーンで類似している。

表 2-1 原子炉建屋クレーンと門型クレーンの構造の特徴比較

	大間1号機 原子炉建屋クレーン	柏崎刈羽7号機 原子炉建屋クレーン	女川2号機 門型クレーン
構造概要			同左
主要構造物			・ガーダ ・サドル ・トロリ ・ <u>脚</u>
構造形状			同左
			同左

注記*：下線は相違点を示す。

枠囲みの内容は他社の機密事項を含む可能性があるため、公開できません。

2.1.2 荷重伝達

原子炉建屋クレーンと門型クレーンの本体及びトロリはいずれも固定されずにレール上に車輪を介して設置されており，以下に示す荷重伝達機能も同様であると考えられる。

(1) クレーン本体走行方向の水平力

a. クレーン本体

(a) クレーン本体は走行レール上に固定されずに設置されているため，走行方向の水平力が加わっても，クレーン本体は走行レール上を滑るだけで，クレーン本体には走行レールと走行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。

(b) クレーン本体の走行車輪は，駆動輪及び従動輪で構成される。

(c) 駆動輪は，電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため，地震力が車輪部に加わると回転部分が追従できず，最大静止摩擦力以上の水平力が加われば走行レール上を滑る。

(d) 従動輪は回転が拘束されないため，クレーン本体の動きに合わせて自由に回転することからクレーン本体走行方向の水平力をクレーン本体に伝達しない。

b. トロリ

(a) トロリはクレーン本体の走行レールに対して直交方向の関係にある横行レール上に設置していることから，クレーン本体の走行方向の地震力はガーダ本体及び横行レールを介してトロリへ作用する。

(2) トロリ走行方向（横行方向）の水平力

a. クレーン本体

(a) クレーン本体はトロリの横行レールに対して直交方向の関係にある走行レール上に設置していることから，トロリ走行方向（横行方向）の地震力は横行レールを介してクレーン本体へ作用する。

b. トロリ

(a) トロリはガーダ上の横行レール上に固定されずに設置されているため，水平力がトロリに加わっても，トロリは横行レール上を滑るだけで，トロリ本体には横行レールと横行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。

(b) トロリの横行車輪は，駆動輪及び従動輪で構成される。

(c) トロリの駆動輪は，電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため，地震力が車輪部に加わると回転部分が追従できず，最大静止摩擦力以上の水平力が加われば横行レール上を滑る。

(d) 従動輪は回転が拘束されないため，トロリの動きに合わせて自由に回転することからトロリ走行方向の水平力をトロリ本体に伝達しない。

(3) 鉛直力

クレーン本体及びトロリは、共にレールと固定されていないことから、鉛直方向の地震力によってはレールから浮上がる可能性がある。

2.1.3 車輪まわりの構造比較

今回工認で適用する解析手法は車輪まわりのすべりや浮上りを考慮した非線形時刻歴応答解析であり、車輪まわりの特徴を踏まえたモデル化が必要であることから、車輪とレールの接触部分について、原子炉建屋クレーンと門型クレーンの詳細な構造比較を行う。原子炉建屋クレーン及び門型クレーンの車輪まわりの模式図を図 2-4 に示す。

(1) 原子炉建屋クレーン

原子炉建屋クレーンの車輪まわりは、走行装置が前後左右の 4 隅に配置された構造であり、各走行装置は 2 輪ずつの車輪で構成されている。車輪と走行レール間には鉛直上向きの拘束がなく浮上りが発生する構造となっており、クレーンと走行レールの接触点は、ともに鋼製部材である車輪と走行レールの接触となる。また、車輪については、駆動装置が設置された駆動輪 (2 隅分) とクレーンの動きに追従して回転する従動輪 (2 隅分) があり、全体の半分の車輪で駆動力を伝達する機構となっている。

トロリの車輪まわりは、前後左右で 1 輪ずつ配置された構造となっており、クレーン本体の車輪と同様に鉛直方向の拘束がないため浮上りが発生する構造となっている。駆動輪と従動輪についてもクレーン本体の車輪と同様に前後で役割の異なる車輪が配置されている。

クレーン本体車輪まわり及びトロリ車輪まわりには、それぞれ脱線防止ラグ及びトロリストoppaが設置されているため、車輪がレールから浮上がる現象が発生した場合でも、脱線を防止する構造となっている。

(2) 門型クレーン

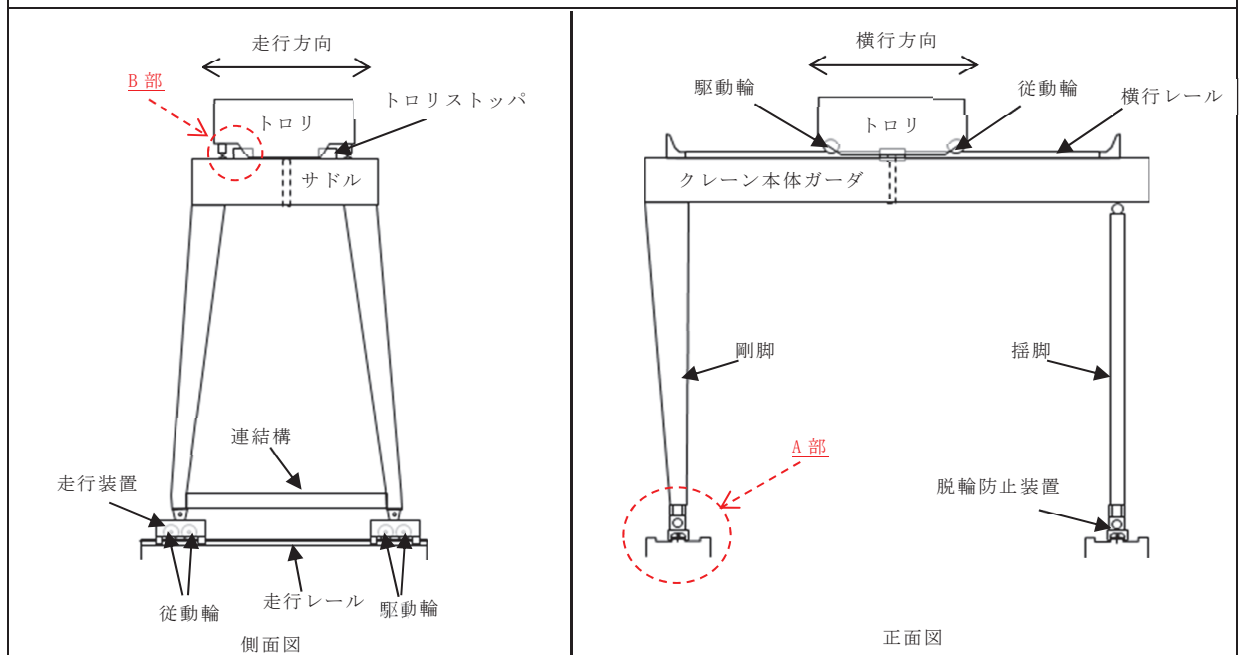
門型クレーンの本体車輪まわりは、図 2-4 に示すとおり走行装置が前後左右の 4 隅に配置された構造であり、各走行装置は 2 輪ずつの車輪で構成されている。車輪とレール間は鋼製部材同士の接触で上向きの拘束がなく浮上りが発生する点や駆動輪と従動輪が半数ずつで車輪が構成されている点など、原子炉建屋クレーンと同一の構造となっている。トロリの車輪まわりについても車輪 (駆動輪, 従動輪) 配置や接触状況などについて同一構造となっている。

門型クレーン本体車輪まわり及びトロリ車輪まわりについては改造工事として脱線防止装置を設置するため、原子炉建屋クレーンと同様に、車輪がレールから浮上がる現象が発生した場合でも、脱線を防止する構造である。

大間 1 号機 原子炉建屋クレーン

柏崎刈羽 7 号機 原子炉建屋クレーン

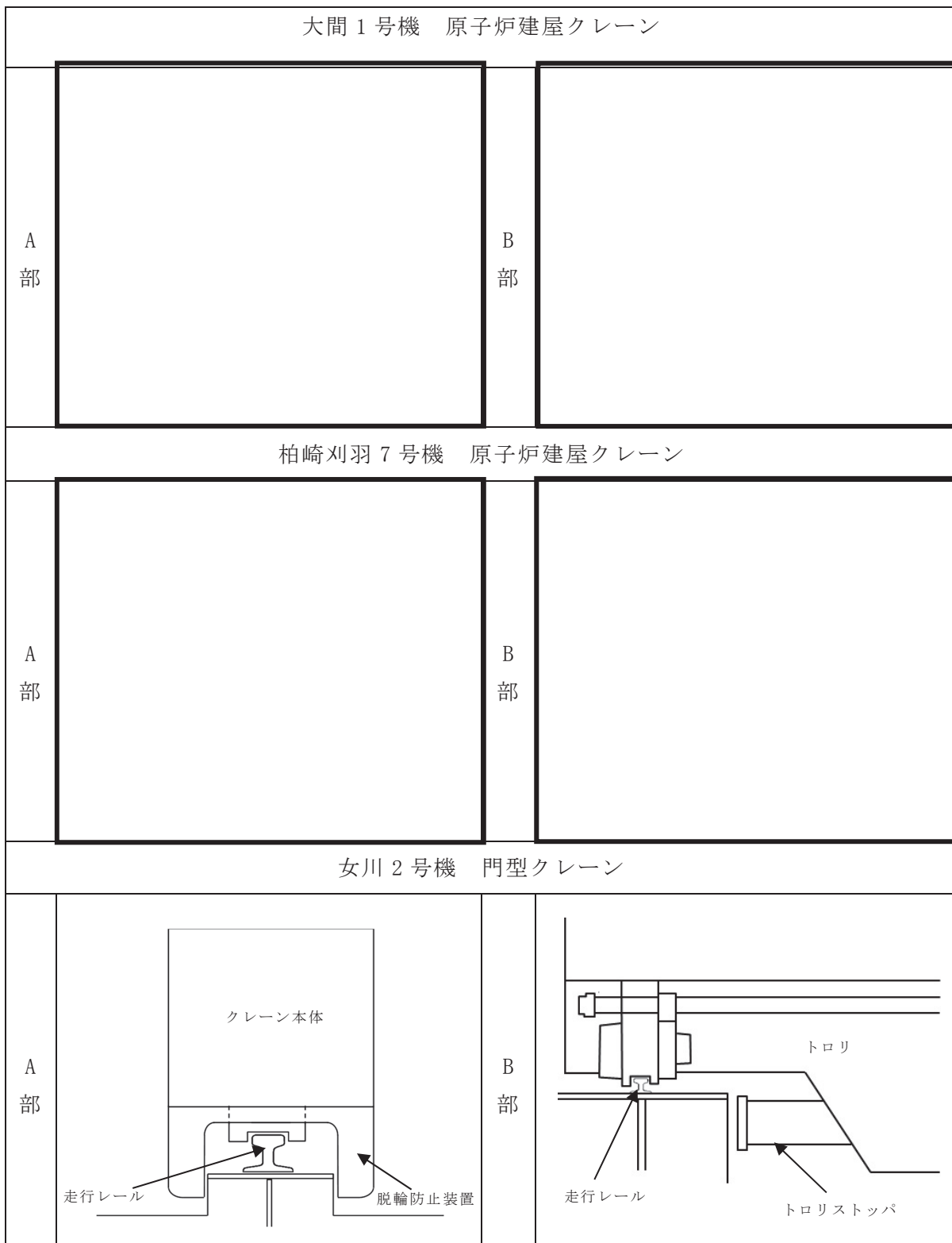
女川 2 号機 門型クレーン



(a) 概略構造比較

図 2-4 原子炉建屋クレーン及び門型クレーンの構造比較 (1/2)

枠囲みの内容は他社の機密事項を含む可能性があるため、公開できません。



(b) 車輪まわり構造詳細比較

図 2-4 原子炉建屋クレーン及び門型クレーンの構造比較 (2/2)

枠囲みの内容は他社の機密事項を含む可能性があるため、公開できません。

2.2 評価方法の比較

原子炉建屋クレーンと門型クレーンの評価方法の比較を表 2-2 に示す。門型クレーンの解析手法や解析モデル、境界条件などの解析評価の基本となる設定は原子炉建屋クレーンと同一の評価方法である。

入力地震動はそれぞれの設備を設置している位置の地震動を適用するため、評価方法の差異にはあたらない。

表 2-2 原子炉建屋クレーンと門型クレーンの評価方法比較

項目	大間 1 号機 原子炉建屋クレーン	柏崎刈羽 7 号機 原子炉建屋クレーン	女川 2 号機 門型クレーン	
解析手法			同左	
解析モデル			同左	
車輪－レール間の境界条件			同左	
地震力			水平	同左
			鉛直	
入力地震動			海水ポンプ室におけるクレーン設置位置の加速度時刻歴	
減衰定数			水平	同左
			鉛直	
解析プログラム			ABAQUS Ver6.14-1	

枠囲みの内容は当社の商業機密を含むため、又は他社の機密事項を含む可能性があるため、公開できません。

3. 先行実績（PWR プラント門型クレーン）との比較

2 項において、BWR プラント原子炉建屋クレーンと門型クレーンの構造及び評価方法の比較を行ったが、本項においては、新規制基準対応工認で実績のある PWR プラント（玄海 3 号機及び伊方 3 号機）の門型クレーンと構造及び評価方法の比較を行う。

3.1 構造の比較

玄海 3 号機、伊方 3 号機及び女川 2 号機の門型クレーンの概略構造図を図 2-5 に、構造の比較を表 2-3 に示す。PWR プラントの門型クレーンと女川 2 号機の門型クレーンではガーダや脚部に一部形状の差異はあるが、主要構造物の構成は同一であり、全体構造も類似していることを確認した。

(a) 玄海 3 号機門型クレーン

(b) 伊方 3 号機門型クレーン

(c) 女川 2 号機門型クレーン

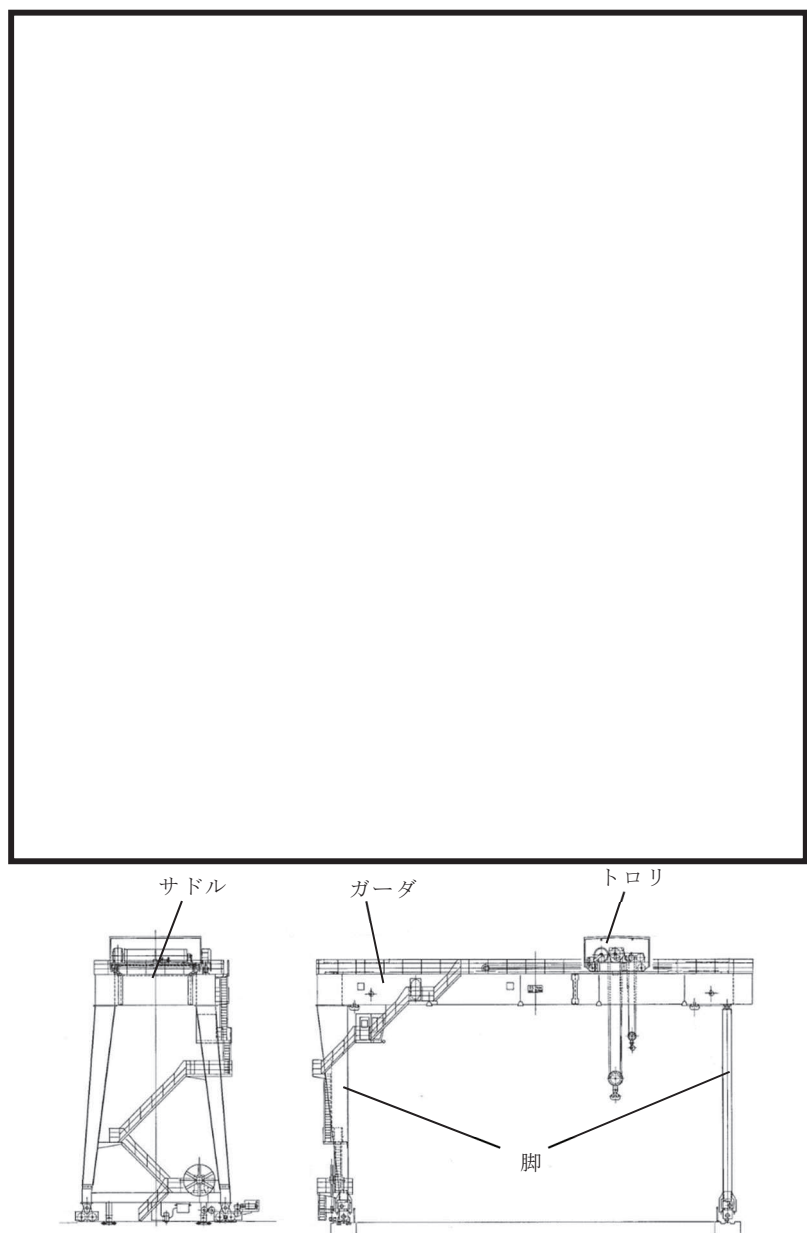


図 2-5 門型クレーン概略構造図

枠囲みの内容は他社の機密事項を含む可能性があるため、公開できません。

表 2-3 PWR プラント門型クレーンと女川 2 号機門型クレーンの構造の特徴比較

	玄海 3 号機 門型クレーン	伊方 3 号機 門型クレーン	女川 2 号機 門型クレーン
構造概要			同左
主要構造物			同左
構造形状			同左
	同左		

3.2 評価方法の比較

玄海 3 号機及び伊方 3 号機と女川 2 号機の門型クレーンの評価方法の比較を表 2-4 に示す。解析手法や解析モデル，境界条件などの解析評価の基本となる設定は全て女川 2 号機の門型クレーンと同一の評価方法である。

表 2-4 PWR プラント門型クレーンと女川 2 号機門型クレーンの評価方法比較

項目	玄海 3 号機 門型クレーン	伊方 3 号機 門型クレーン	女川 2 号機 門型クレーン	
解析手法			非線形時刻歴 応答解析	
解析モデル			同左	
車輪－レール間の 境界条件			同左	
地震力			水平	同左
			鉛直	
入力地震動			同左	
減衰 定数			水平	同左
			鉛直	
解析プログラム	ABAQUS Ver6.14-1			

枠囲みの内容は他社の機密事項を含む可能性があるため、公開できません。

4. 非線形時刻歴応答解析の適用性（まとめ）

女川 2 号機海水ポンプ室門型クレーンに対して非線形時刻歴応答解析を適用するにあたり、先行実績（大間 1 号機原子炉建屋クレーン及び柏崎刈羽 7 号機原子炉建屋クレーン）との構造及び評価方法等の比較を行った。

前述の 2.1 項のとおり、全体構造、荷重伝達及び車輪まわりの構造について比較した結果、原子炉建屋クレーンに対して、門型クレーンは、クレーン本体の鋼構造物として脚が存在することのみが差異であり、これ以外の全体構造、荷重伝達及び車輪まわり構造が同様であることを確認した。なお、クレーン本体の鋼構造物として脚が存在することについては、適切に解析モデルに反映することで問題はない。

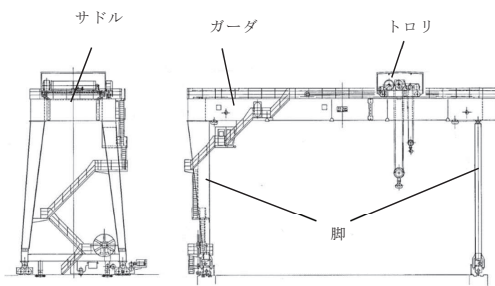
また、前述の 2.2 項のとおり、評価方法及び解析モデルについて比較した結果、解析モデルの設定方法として、3次元はり要素によるモデル化、水平方向のすべり、鉛直方向の浮上りの挙動を考慮する非線形要素の考え方が同様であることを確認した。

さらに、前述の 4 項のとおり、新規制基準対応工認で実績のある PWR プラントの門型クレーンと比較しても女川 2 号機の門型クレーンは構造及び評価方法上の差異がないことを確認した。

したがって、女川 2 号機海水ポンプ室門型クレーンの耐震評価に対して、先行実績のある非線形時刻歴応答解析の適用性があると判断した。

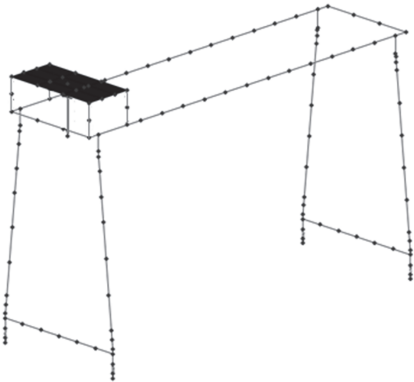
先行実績との構造/評価手法比較

BWR プラント原子炉建屋クレーンとの構造比較

項目		大間 1 号機 原子炉建屋クレーン	柏崎刈羽 7 号機 原子炉建屋クレーン	女川 2 号機 海水ポンプ室門型クレーン
構造比較	構造概要			同左
	主要構造物			<ul style="list-style-type: none"> ・ ガーダ ・ サドル ・ トロリ ・ 脚
	構造形状			同左
	構造概略図			

枠囲みの内容は他社の機密事項を含む可能性があるため、公開できません。

BWR プラント原子炉建屋クレーンとの評価手法比較

	項目	大間 1 号機 原子炉建屋クレーン	柏崎刈羽 7 号機 原子炉建屋クレーン	女川 2 号機 海水ポンプ室門型クレーン	
評 価 手 法 比 較	解析手法			同左	
	解析モデル			同左	
	解析モデル 概要図				
	車輪－レール間 の境界条件			同左	
	地震力	水平			同左
		鉛直			同左
	入力地震動			同左	
	減衰定数	水平			同左
		鉛直			同左
	解析プログラム			ABAQUS Ver6.14-1	
時刻歴の 保守性検討			考慮 ASME Time History Broadening		

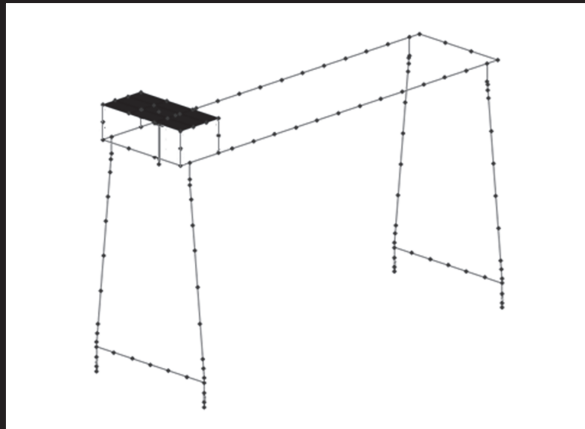
枠囲みの内容は当社の商業機密を含むため、又は他社の機密事項を含む可能性があるため、公開できません。

PWR プラント門型クレーンとの構造比較

		玄海 3 号機 海水ポンプ室門型クレーン	伊方 3 号機 海水ポンプ室門型クレーン	女川 2 号機 海水ポンプ室門型クレーン
構造比較	項目			
	構造概要			同左
	主要構造物			同左
	構造形状			同左
	構造概略図			<p>The diagram shows a crane structure with four main components labeled: サドル (Saddle) at the top left, ガーダ (Guard) in the middle left, トロリ (Trolley) at the top right, and 脚 (Leg) at the bottom center. The structure consists of a horizontal beam supported by two vertical legs, with a trolley and saddle mechanism on top.</p>

枠囲みの内容は他社の機密事項を含む可能性があるため公開できません。

PWR プラント門型クレーンとの評価手法比較

項目		玄海 3 号機 海水ポンプ室門型クレーン	伊方 3 号機 海水ポンプ室門型クレーン	女川 2 号機 海水ポンプ室門型クレーン
評価手法比較	解析手法			非線形時刻歴応答解析
	解析モデル			同左
	解析モデル概要図			
	車輪-レール間の境界条件			同左
	地震力	水平		同左
		鉛直		同左
	入力地震動			同左
	減衰定数	水平		同左
		鉛直		同左
解析プログラム			ABAQUS Ver6.14-1 (ABAQUS は既往知見*において、固有周期や車輪部荷重等に対して地震応答解析結果と振動試験結果を比較した検証が実施されており、適用性に問題ないと考える。)	
時刻歴の保守性検討			考慮 ASME Time History Broadening ・女川 2 号機門型クレーンは、クレーンがレール上をすべるため、水平方向応答に対して非線形特性を有していることに加え、浮上がり挙動を考慮しているため、鉛直方向応答に対しても非線形特性を有していることから、ASME の手法を基に保守性を検討。	

* : 「平成 19 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験 (クレーン類) に係る報告書 (08 耐部報-0021, (独)原子力安全基盤機構)」
 「平成 20 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験 (クレーン類) に係る報告書 (09 耐部報-0008, (独)原子力安全基盤機構)」

枠囲みの内容は当社の商業機密を含むため、又は他社の機密事項を含む可能性があるため、公開できません。

海水ポンプ室門型クレーンの地震時挙動に関する補足説明

1. はじめに

本資料は、海水ポンプ室門型クレーンの解析における摩擦力の設定と解析の前提条件（車輪はレール上にあり、レール直角方向に対しては脱輪防止装置又はトロリストoppaが接触して機能する）の考え方について補足説明するものである。

2. 車輪とレールとの摩擦力及び脱輪防止装置との接触による摩擦力の考慮

門型クレーンはレール上を車輪で移動する構造であり、レールと車輪は固定されていないため、地震時には走行方向（レール長手方向）にはすべりが発生し、摩擦力以上の荷重を受けない構造である。

門型クレーン本体車輪部とレール間の取り合い部を例とすると、接触面としては、鉛直方向（走行車輪～走行レール間）と水平方向（脱輪防止装置～走行レール躯体間）が挙げられる（図 4-1）。

鉛直方向には常時自重が加わっており、地震力による鉛直方向加速度が上向きに 1G を超えるごく僅かな時間を除き、常に車輪はレールに接触し垂直抗力 N が発生する状態であることから、評価上、摩擦係数 μ ($=0.3$) 一定の条件の下、垂直抗力 N を時々刻々変化した摩擦力 f ($=\mu N$) を考慮している。

なお、基準地震動 S_s による地震力に対して、駆動輪に接続される電動機及び減速機等の回転部が破損し駆動輪が自由に回転する可能性も考えられるが、その場合、摩擦力は低減することから、上記のように摩擦力を考慮した評価を行うことで保守的な評価となっている。

これに対して、水平方向には常時作用する荷重が無いが、水平方向（横行方向）の地震力によって、脱輪防止装置がレール躯体に接触する場合に垂直抗力 R が発生する。しかしながら、地震力は交番荷重であること及び、接触後も部材間の跳ね返りが発生することから、側面の接触時間はごく僅かな時間となる。また、大きな摩擦力が発生するためには、横行方向の地震力により瞬間的に垂直抗力 R が発生する間に、走行方向の大きな地震力が同時に作用する必要があることから、各方向地震力の非同時性を考慮し、側面の接触による摩擦力は考慮していない（ただし、念のため側面の接触による摩擦力考慮した場合の影響を添付 10 に示す）。

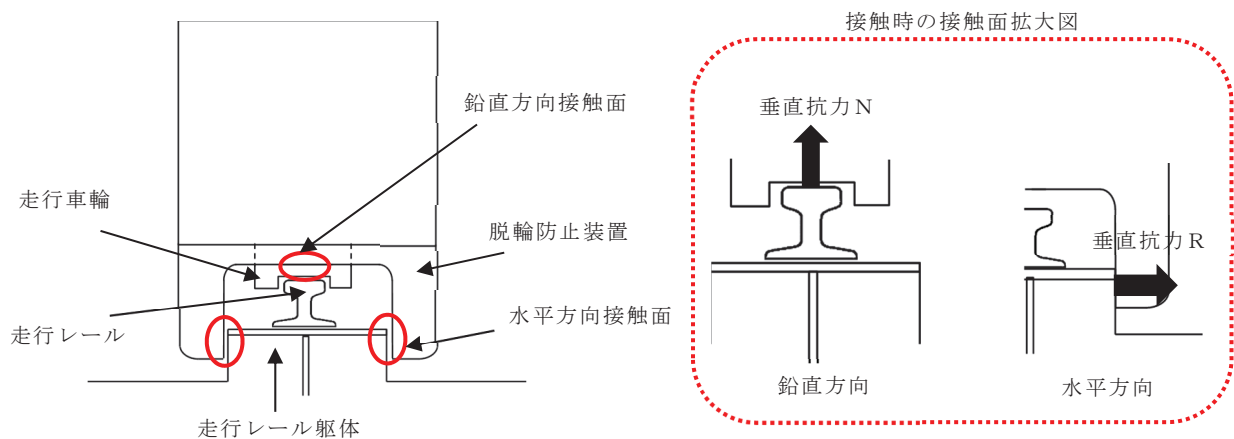


図 4-1 鉛直方向と水平方向の接触面

3. レール等の破損による解析条件への影響

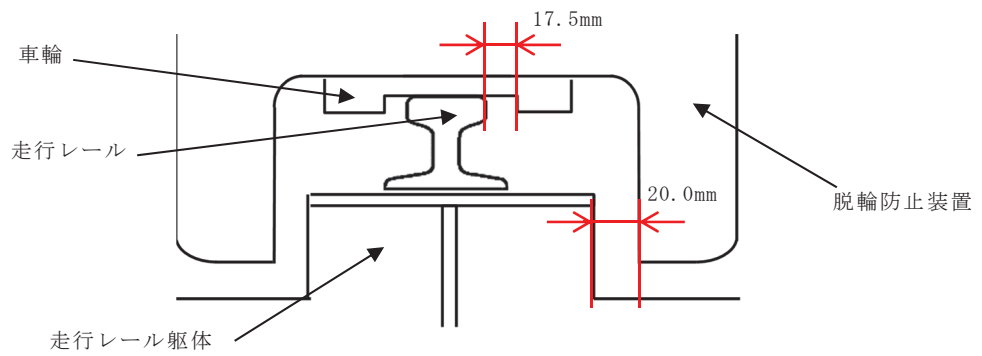
門型クレーンのモデル化にあたっては、車輪がレール上にあり、レール直角方向に対しては脱輪防止装置またはトロリストoppaが接触して機能することを前提としている。

ここでは、地震応答解析モデルの前提としている「レール上に車輪が乗っていること」が脱輪防止装置またはトロリストoppaの健全性を確認することで満足されることを、門型クレーン本体車輪部を例に示す。

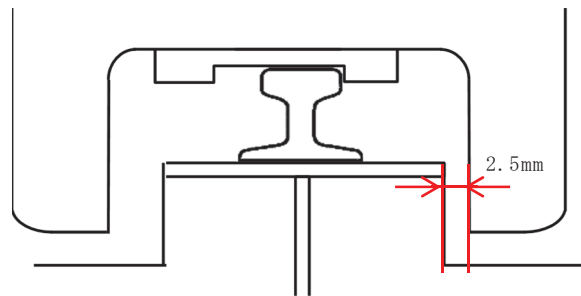
門型クレーンに地震力が作用する際は、車輪が走行レール上に乗り上がる挙動が想定されるが、脱輪防止装置が走行レール躯体に接触することで横行方向の移動量は制限される。脱輪防止装置は構造強度部材として基準地震動 S_s によって生じる地震力に対して許容応力を満足する設計としており、地震で破損することは無いため、脱輪防止装置と走行レール躯体間のギャップ量に相当する移動量となった場合でも車輪が走行レール上から落ちることは無い（図 4-2）。なお、トロリ車輪部についても同様である。

また、脱輪防止装置と走行レール躯体が接触する前に車輪から走行レールに荷重が伝わることになるが、車輪のつばと走行レールが接触（移動量 17.5 mm）してから脱輪防止装置と走行レール躯体が接触（移動量 20 mm）し、移動量が制限されるまでの移動量は 2.5 mm（=20.0 mm-17.5 mm）程度であることから、脱輪防止装置が接触して機能する前に鋼製部材である走行レールが大きく破損することは無いと考える。このように、車輪のつばの有無によらず構造強度部材である脱輪防止装置が機能することで車輪が走行レールにとどまる設計であることから、車輪のつばは地震応答解析の前提条件に影響するものではない。

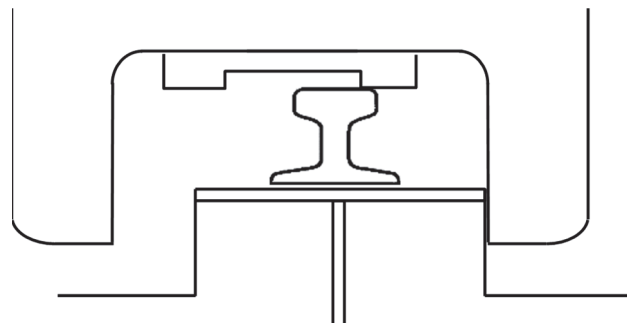
以上より、地震時に脱輪防止装置がレール躯体に接触して機能する前に車輪がすべり面である走行レールから落下することや、走行レールが大きく破損することが無いことから脱輪防止装置が機能する前に地震応答解析モデルの前提を満足しなくなるおそれは無いと考える。



(a) 通常時



(b) 地震力により車輪のつばが走行レールに接触（水平移動量 17.5 mm）



(c) 地震力により脱輪防止装置と走行レール躯体が接触（水平移動量 20.0 mm）

図 4-2 本体車輪部概念図

(本図は車輪が走行レールから外れないことを示すための概念図であり、構造物の大きさや間隙については実物と異なる。)

海水ポンプ室門型クレーン評価用地震動の選定

1. はじめに

海水ポンプ室門型クレーン（以下「門型クレーン」という。）の耐震評価においては、地震加速度によって浮上りが発生する可能性があるため、その浮上り状況を適切に評価するために、多質点はりモデルを用いて加速度時刻歴波を3方向同時に入力した非線形時刻歴応答解析を適用している。したがって、スペクトルモーダル解析のように地震応答の包絡条件を用いた耐震評価ではなく、基準地震動 S_s を個別に適用した耐震評価を実施している。

添付書類「VI-2-11-2-1 海水ポンプ室門型クレーンの耐震性についての計算書」の評価に適用している地震動（以下「評価用地震動」という。）は、基準地震動 S_s 7波のうち、門型クレーンの耐震評価に影響の大きい（発生応力や浮上り量が大きい）地震動を選定していることから、本資料では地震動選定の考え方についてまとめるものである。以下2項では基準地震動7波のうち門型クレーンの耐震評価に影響の大きい地震動の選定手順と結果を、

2. 門型クレーンの耐震評価に適用する地震動の選定

本項では、基準地震動 S_s 7波のうち門型クレーンの耐震評価に適用する地震動の選定方法と結果を示す。門型クレーンはレール上に設置されているため、地震時にクレーン本体ガーダもしくはトロリの滑りが発生する構造特徴があることから、門型クレーンに対する地震影響の大きい応答方向を絞り込んだ上で、更に影響の大きい地震動を選定する手順で実施している。

2.1 地震応答方向の選定

門型クレーンは図5-1に示すとおり、走行レール上を剛脚、揺脚を有するクレーン本体ガーダが走行し、クレーン本体ガーダ上部の横行レール上をトロリが走行する。剛脚、揺脚は脱輪防止装置、トロリはトロリストoppaを備えており、各々浮上り代を設けた鉛直方向の浮上りを拘束しない構造である。そのため、地震発生時にクレーン本体ガーダは走行方向（NS方向）に、トロリは横行方向（EW方向）に滑りを生じることになり、鉛直方向（UD方向）については固定されていないため浮上りが発生する。

構造特徴を踏まえ、門型クレーンに対する各方向の地震影響は以下のとおり整理できることから、地震応答方向としては、横行方向（EW方向）及び鉛直方向（UD方向）の2方向を選定する。

(1) 走行方向（NS方向）

地震時に発生する荷重が静摩擦係数による摩擦力を超過した場合に門型クレーン全体に滑りが発生するため、走行方向（NS方向）に対しては地震によってクレーン本体ガーダに有意な荷重が発生しない。

(2) 横行方向 (EW方向)

地震時にトロリが滑るものの、走行レールに対して直角方向となるクレーン本体ガーダ、剛脚及び揺脚は脱輪防止装置で拘束され、地震による水平力がクレーン本体ガーダに発生する。

(3) 鉛直方向 (UD方向)

鉛直下向き方向は海水ポンプ室躯体に支持され地震による鉛直力が発生し、鉛直上向き方向は固定されていないためクレーン本体ガーダ及びトロリに浮上りが発生する。

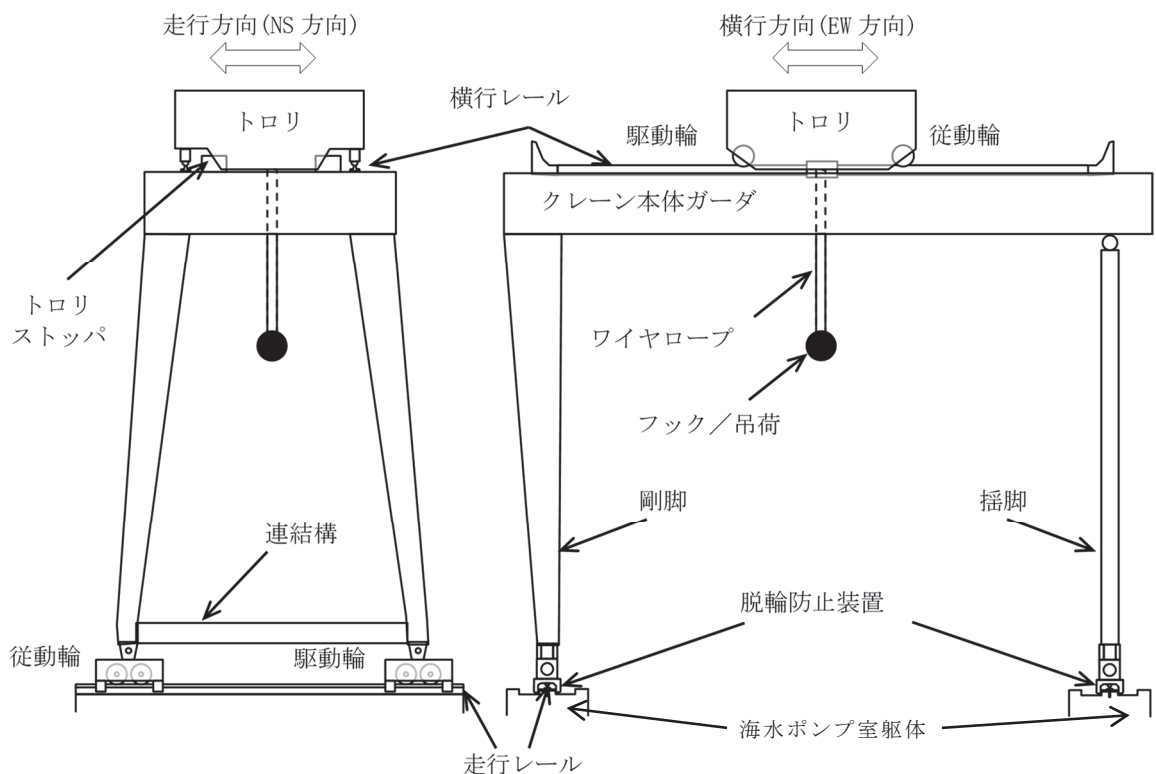


図5-1 構造概要図

2.2 地震動の選定

2.2.1 地震動の選定方法

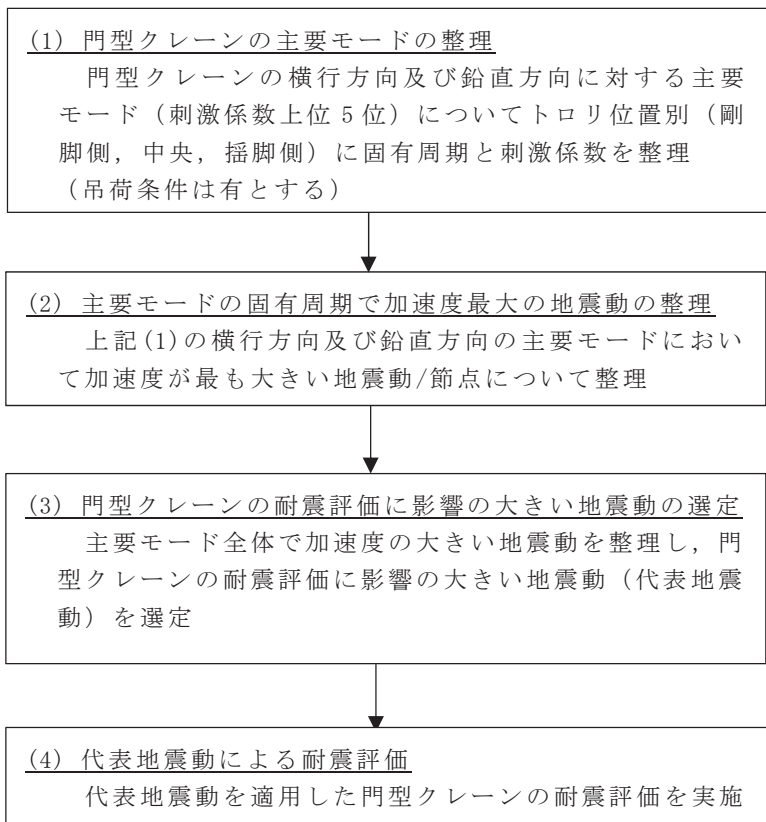
女川原子力発電所第2号機の基準地震動 S_s は表5-1 (「VI-2-1-2 基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」より抜粋) に示すとおり7種類の地震動を策定していることから、この中から図5-2に示す(1)～(3)の手順で門型クレーンの耐震評価に影響の大きい地震動を選定する。

表 5-1 基準地震動 S_s の概要

基準地震動		最大加速度 (cm/s ²)	
		水平方向	鉛直方向
S _s -D 1	プレート間地震の応答スペクトルに基づく手法による基準地震動	640	430
S _s -D 2	海洋プレート内地震 (SMGA*マントル内) の応答スペクトルに基づく手法による基準地震動	1,000	600
S _s -D 3	海洋プレート内地震 (SMGA*地殻内) の応答スペクトルに基づく手法による基準地震動	800	500
S _s -F 1	プレート間地震の断層モデルを用いた手法による基準地震動 (応力降下量 (短周期レベル) の不確かさ)	717	393
S _s -F 2	プレート間地震の断層モデルを用いた手法による基準地震動 (SMGA*位置と応力降下量 (短周期レベル) の不確かさの重畳)	722	396
S _s -F 3	海洋プレート内地震 (SMGA*マントル内) の断層モデルを用いた手法による基準地震動 (SMGA*マントル内集約)	835	443
S _s -N 1	2004 年北海道留萌支庁南部地震 (K-NET 港町) の検討結果に保守性を考慮した地震動	620	320

注記* : 強震動生成域

[地震動の選定手順 (2.2 項)]



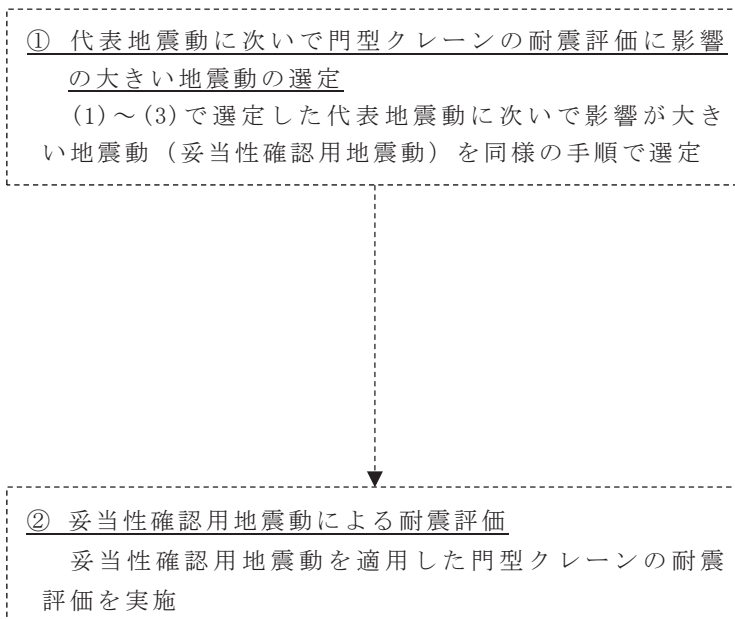
・・・表 5-3

・・・表 5-3
図 5-5
～5-10

表 5-3,
・・・5-4
図 5-5
～5-10

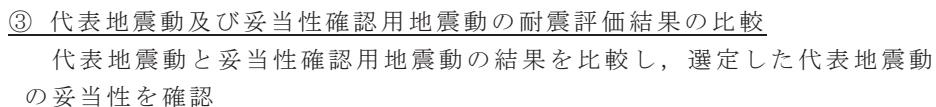
・・・表 5-6

[選定した地震動の妥当性確認手順 (2.3 項)]



・・・表 5-5
図 5-5
～5-10

・・・表 5-6



・・・表 5-6

図5-2 門型クレーンの耐震評価に適用する地震動の選定及び妥当性確認手順

2.2.2 地震動の選定結果

図5-2に示す手順で検討した結果を以下に示す。

(1) 門型クレーンの主要モードの整理

門型クレーンの固有周期解析の結果を表5-2，振動モード図を図5-3に示す。

また，表5-3に主要モードを整理した結果を示す。

(2) 主要モードの固有周期で加速度最大の地震動の整理

表5-3に主要モードで加速度が最大となる地震動/節点を整理した結果を示す。

(3) 門型クレーンの耐震評価に影響の大きい地震動の選定

(1)，(2)で整理した結果に基づき門型クレーンの耐震評価に影響の大きい地震動（以下「代表地震動」という。）を選定する。

表5-3に示すとおり， S_s-D1 及び S_s-D2 の2種類の地震動が，門型クレーンの主要モードの多くで最大加速度となっていることが分かる。特に水平（横行）方向は S_s-D1 と S_s-D2 がほぼ全てのモードで最大加速度となっている。これは，表4-1のとおり S_s-D1 及び S_s-D2 は，応答スペクトルに基づく手法による基準地震動であり全ての周期帯において安定的な応答を示すことが要因と考えられる。

一方， S_s-F2 や S_s-F3 が鉛直方向の特定のモードにおいて最大加速度となっているものの，これらの地震動は断層モデルを用いた手法による基準地震動であることから，周期帯によって応答の大きさにばらつきがあり S_s-D1 や S_s-D2 と比較すると水平方向のモードにおける加速度は小さい。このため，門型クレーン全体評価に及ぼす影響は小さいと考えられる。

また， S_s-D3 については，トロリ位置：中央の場合の刺激係数が最も大きい水平方向のモードにおいて最大加速度となっているが，当該モードの加速度は S_s-D2 とほぼ同等であり，他モードにおいては S_s-D1 又は S_s-D2 より小さい加速度となっていることから耐震評価への影響は S_s-D1 及び S_s-D2 より小さいと考えられる。

以上の内容を踏まえ，門型クレーンの水平（横行）方向及び鉛直方向いずれの主要モードに対しても影響が大きいと考えられる， S_s-D1 及び S_s-D2 を代表地震動として選定した。選定結果を表5-4にまとめる。

(4) 代表地震動による耐震評価

代表地震動による評価結果(表5-6)は2.3項にて後述する。

表 5-2(1/3) 固有値解析結果（トロリ位置：剛脚側，吊荷：有）

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

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。

表 5-2(2/3) 固有値解析結果（トロリ位置：中央，吊荷：有）

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

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。

表 5-2(3/3) 固有値解析結果（トロリ位置：揺脚側，吊荷：有）

モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*		
			水平方向		鉛直方向
			NS	EW	
1次	水平（EW）方向				
2次	水平（NS）方向				
3次	水平（NS）方向				
4次	鉛直方向				
5次	水平（EW）方向				
6次	水平（NS）方向				
7次	鉛直方向				
8次	水平（NS）方向				
9次	水平（NS）方向				
10次	鉛直方向				
11次	水平（NS）方向				
12次	鉛直方向				
13次	水平（NS）方向				
14次	水平（EW）方向				
15次	水平（EW）方向				
16次	鉛直方向				
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				

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。

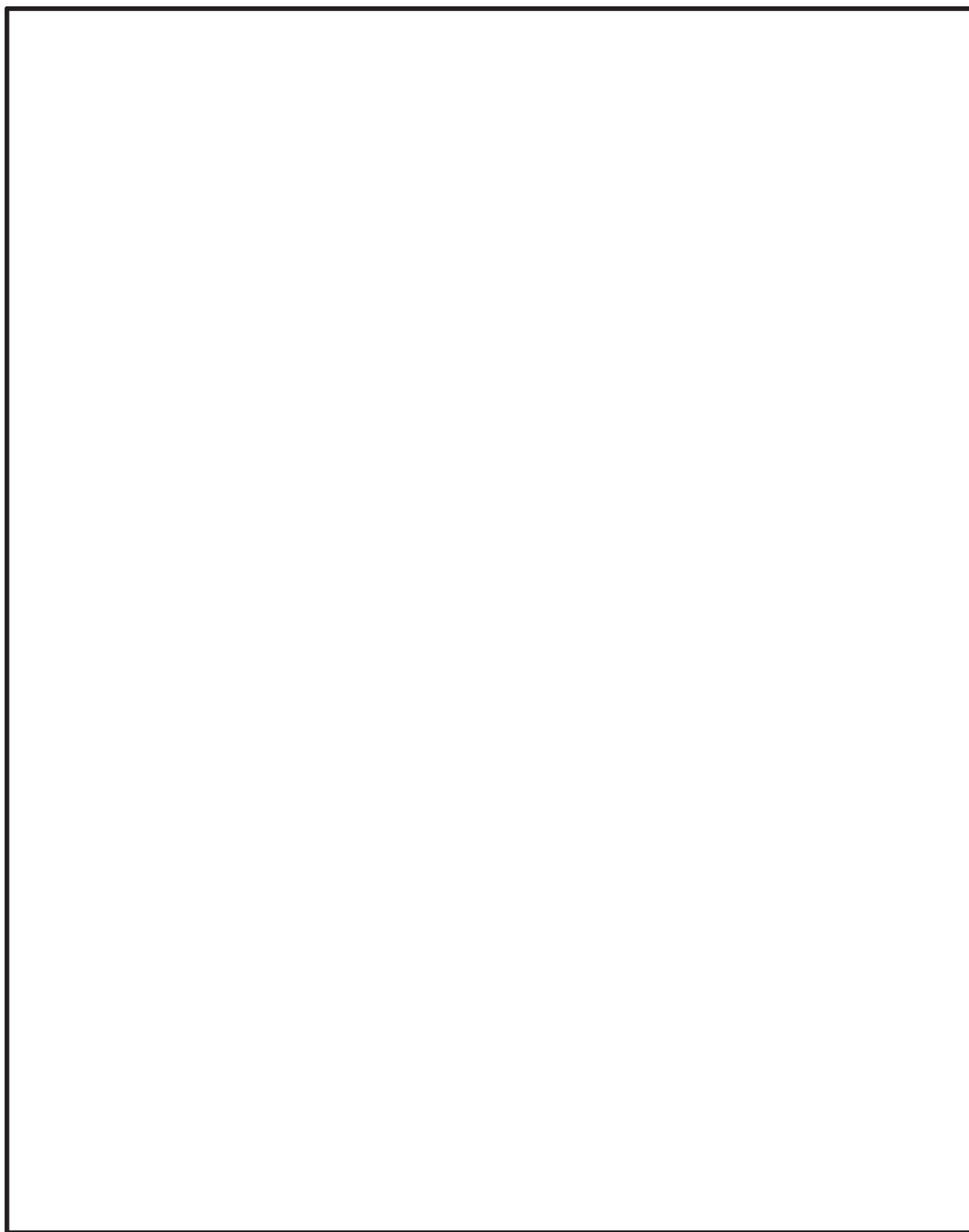


図 5-3(1/3) 振動モード図（トロリ位置：剛脚側，吊荷：有）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

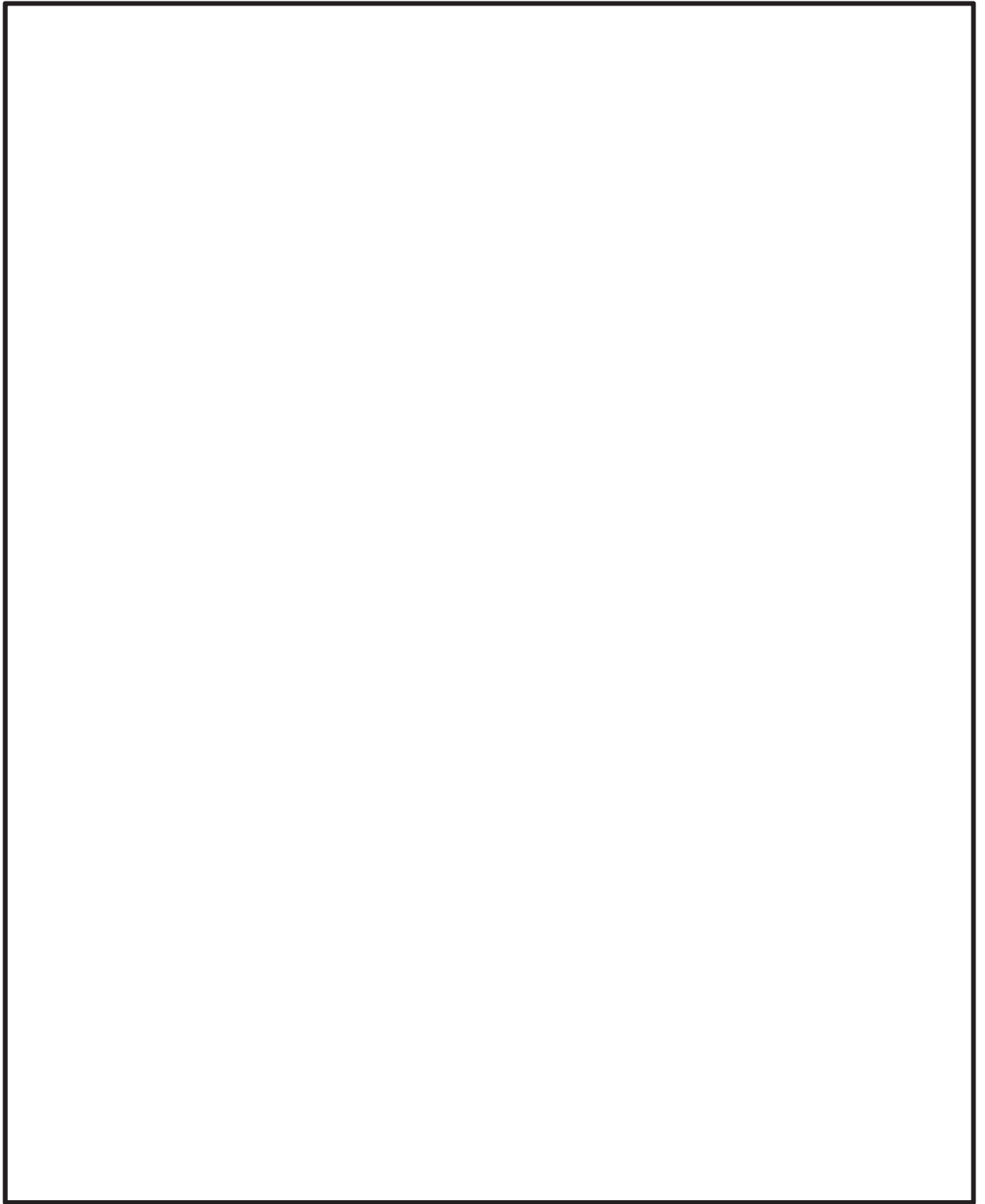


図 5-3(2/3) 振動モード図（トロリ位置：中央，吊荷：有）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

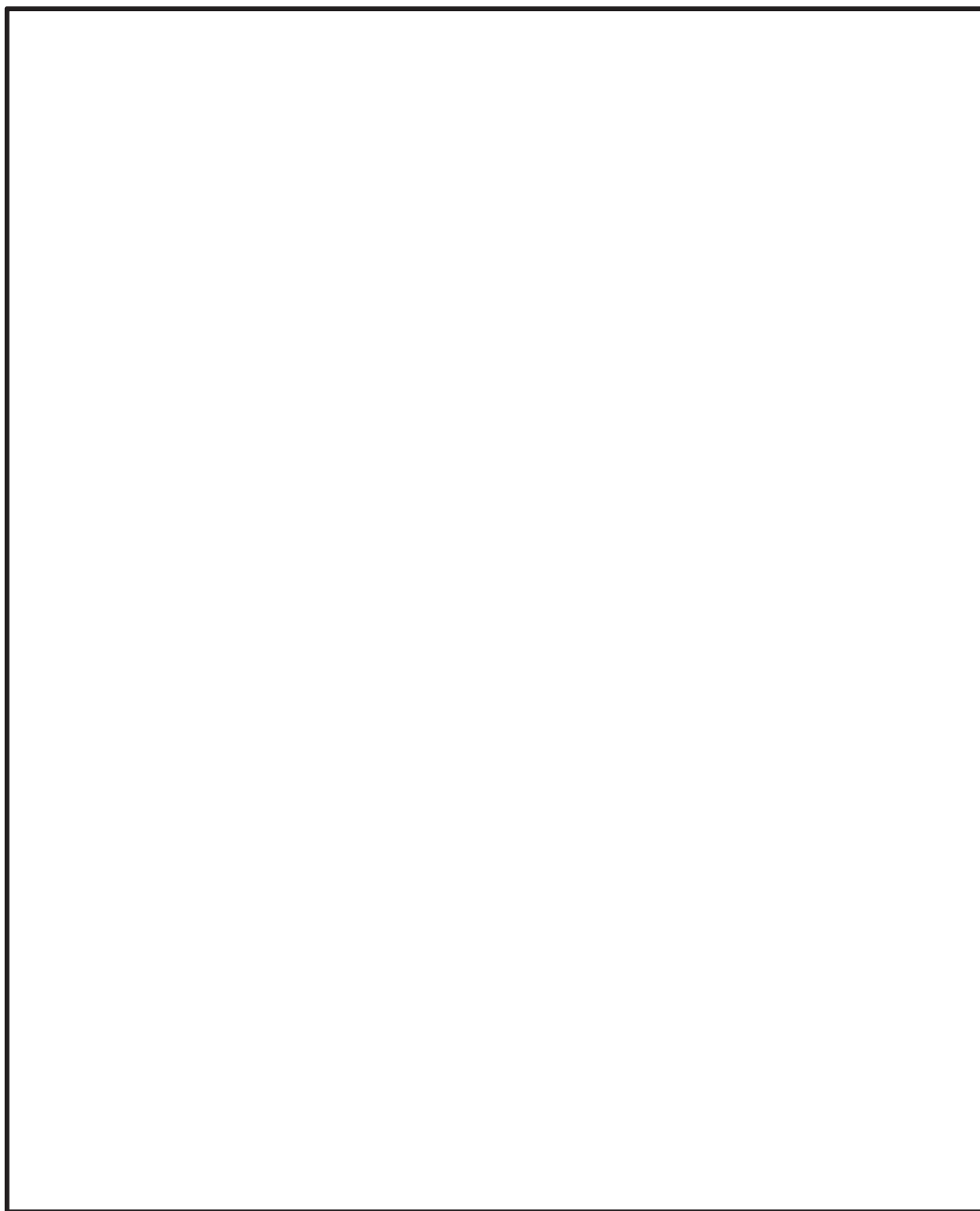


図 5-3(3/3) 振動モード図（トロリ位置：揺脚側，吊荷：有）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表5-3 門型クレーンの耐震評価に影響の大きい地震動の整理

トロリ位置	吊荷*1	水平（横行方向（EW方向））					鉛直（UD方向）						
		床応答 スペクトル 図番	刺激係数	固有周期 (s)	加速度最大となる条件		床応答 スペクトル 図番	刺激係数	固有周期 (s)	加速度最大となる条件			
					地震動	節点*2				地震動	節点*2		
剛脚側	有	図5-5	1位			Ss-D2	2701	図5-8	1位			Ss-F3	1708
			2位			Ss-D1	2701		2位			Ss-D1	1708
			3位			Ss-D2	2701		3位			Ss-F2	1708
			4位			Ss-D2	2701		4位			Ss-D3	1708
			5位			Ss-D1	2701		5位			Ss-D2	2701
中央	有	図5-6	1位			Ss-D3	2701	図5-9	1位			Ss-F2	1708
			2位			Ss-D1	2701		2位			Ss-D1	1708
			3位			Ss-D2	2701		3位			Ss-D3	1708
			4位			Ss-D2	2701		4位			Ss-D2	2701
			5位			Ss-F2	2701		5位			Ss-D1	1708
揺脚側	有	図5-7	1位			Ss-D2	2701	図5-10	1位			Ss-F2	2701
			2位			Ss-D1	2701		2位			Ss-D1	1708
			3位			Ss-D2	2701		3位			Ss-D3	1708
			4位			Ss-D2	2701		4位			Ss-D1	1708
			5位			Ss-F2	2701		5位			Ss-N1	2701

(図5-2の(1)の整理)

(図5-2の(2)の整理)

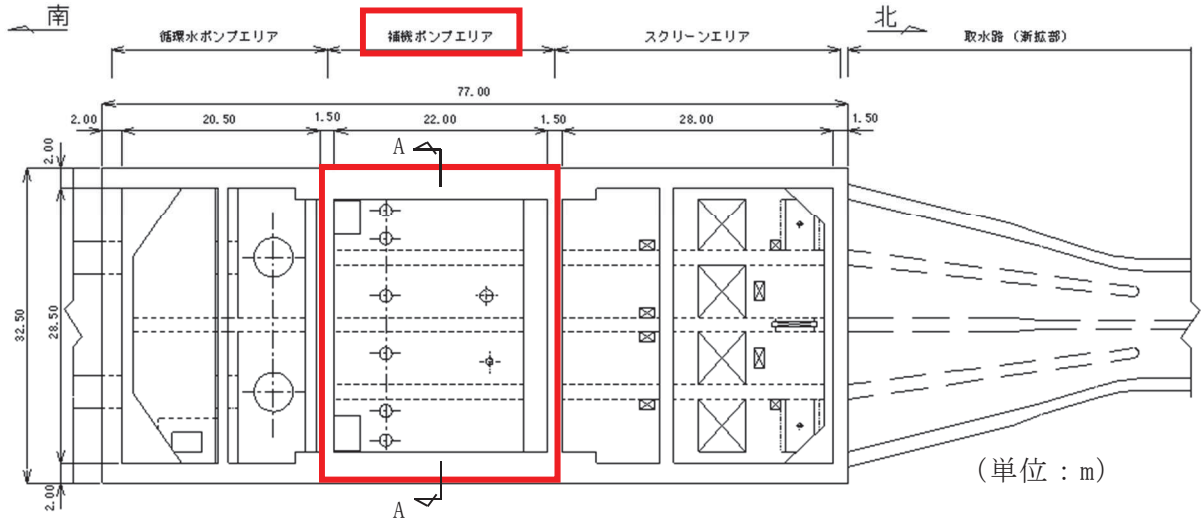
(図5-2の(1)の整理)

(図5-2の(2)の整理)

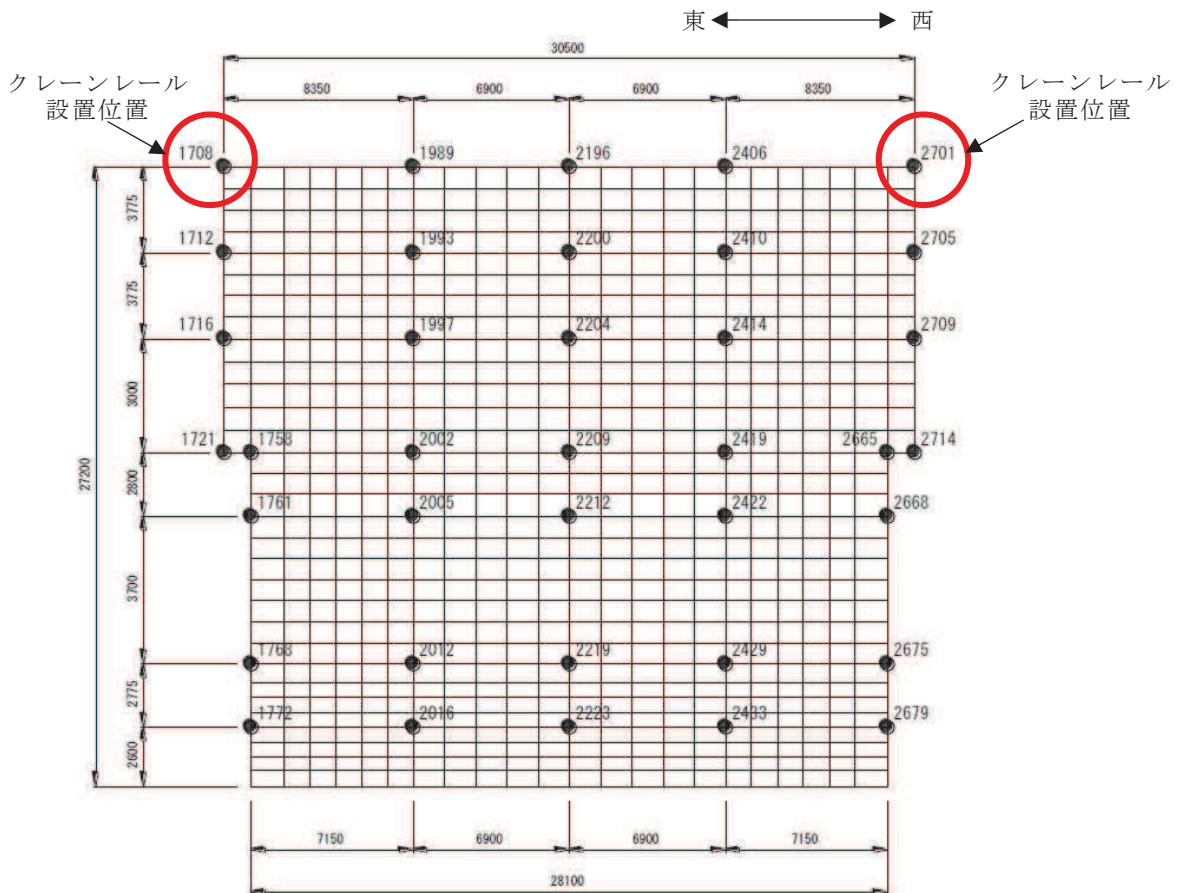
注記*1：吊荷の負荷を考慮した場合のほうが耐震評価は厳しくなることから吊荷有の条件とする。

*2：門型クレーンの耐震評価には添付書類「VI-2-2-7 海水ポンプ室の地震応答計算書」に基づき算定された加速度時刻歴波を用いており、門型クレーンレールの設置位置を考慮して適用する節点は1708と2701としている。節点位置の詳細は図5-4に示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



(海水ポンプ室平面図)



(補機ポンプエリア横断面 (EW方向 A-A断面*))

注記*：添付書類「VI-2-2-7 海水ポンプ室の地震応答計算書」においてはA-A断面を補機ポンプエリアの代表断面として選定し、構造物のモデルは、補機ポンプエリアの奥行方向（南北方向）で三次元構造解析モデルと等価な剛性を持つ二次元等価剛性モデルを用いて地震応答解析を実施している。

図5-4 海水ポンプ室の地震応答解析モデル

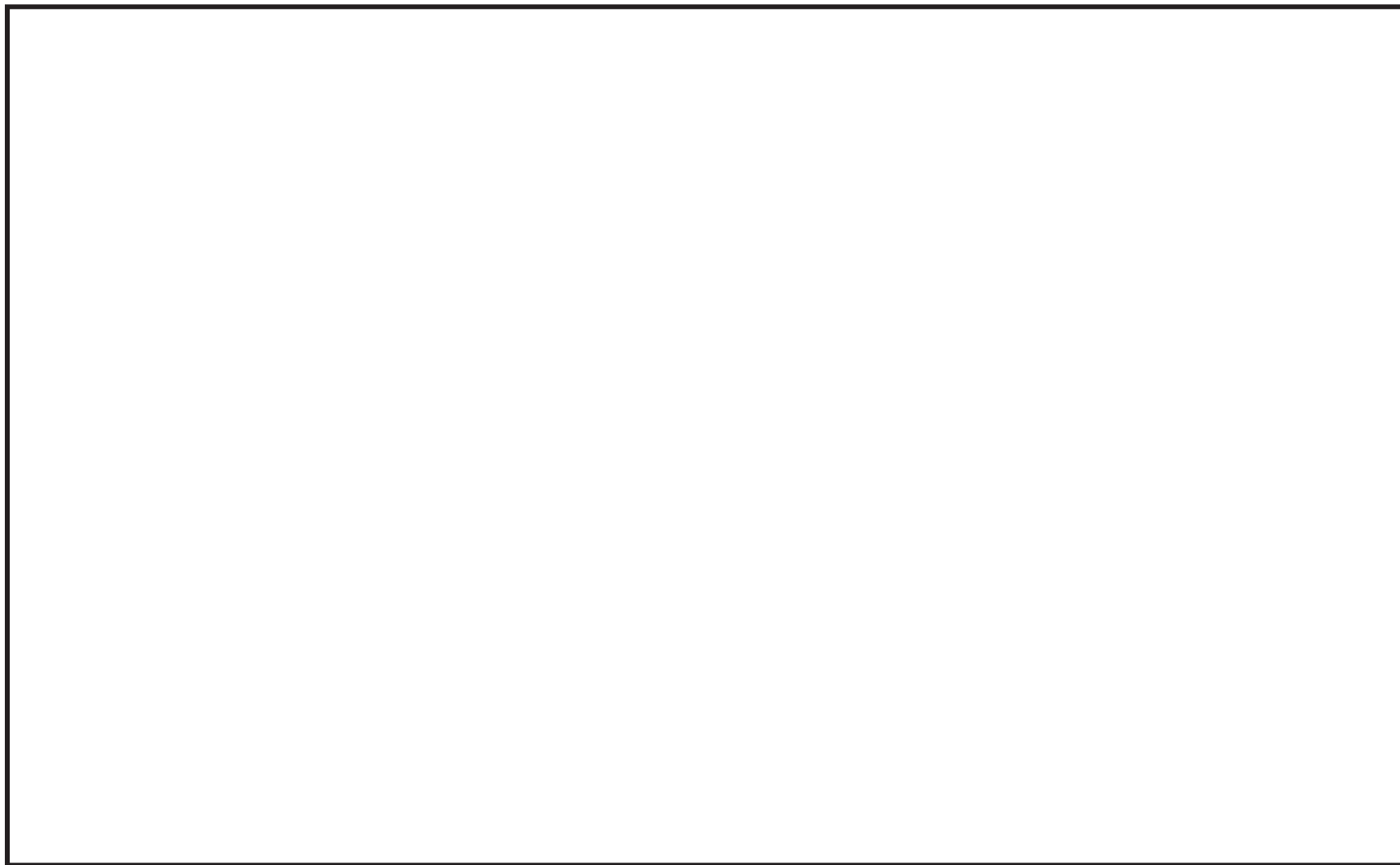


図5-5 門型クレーンに適用する基準地震動 S_s の床応答スペクトル
トロリ位置：剛脚側の場合の水平モード固有周期との重ね合わせ (1/2)

A 領域拡大図

B 領域拡大図

C 領域拡大図

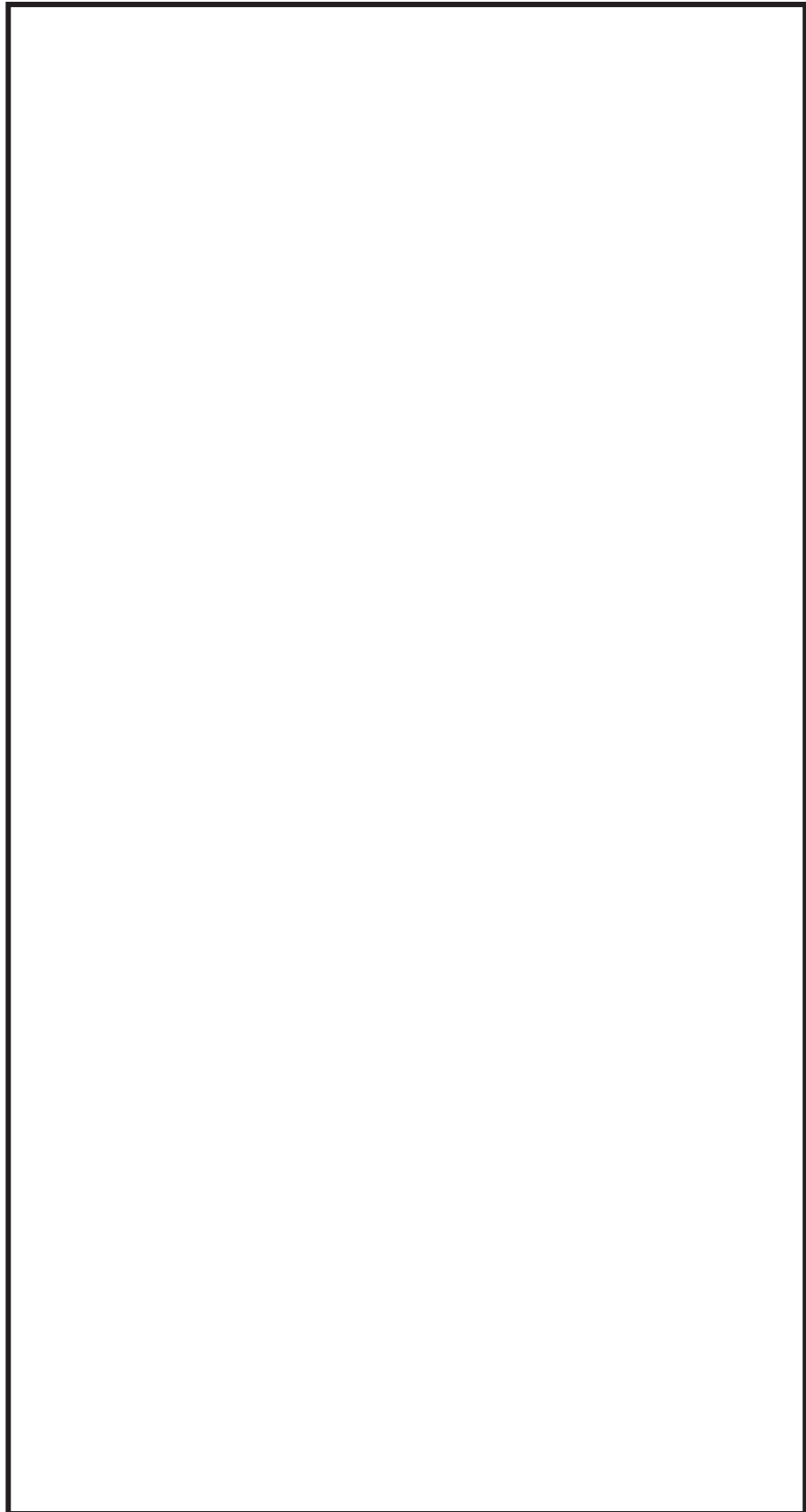


図5-5 門型クレーンに適用する基準地震動 S_s の床応答スペクトル
トロリ位置：剛脚側の場合の水平モード固有周期との重ね合わせ (2/2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

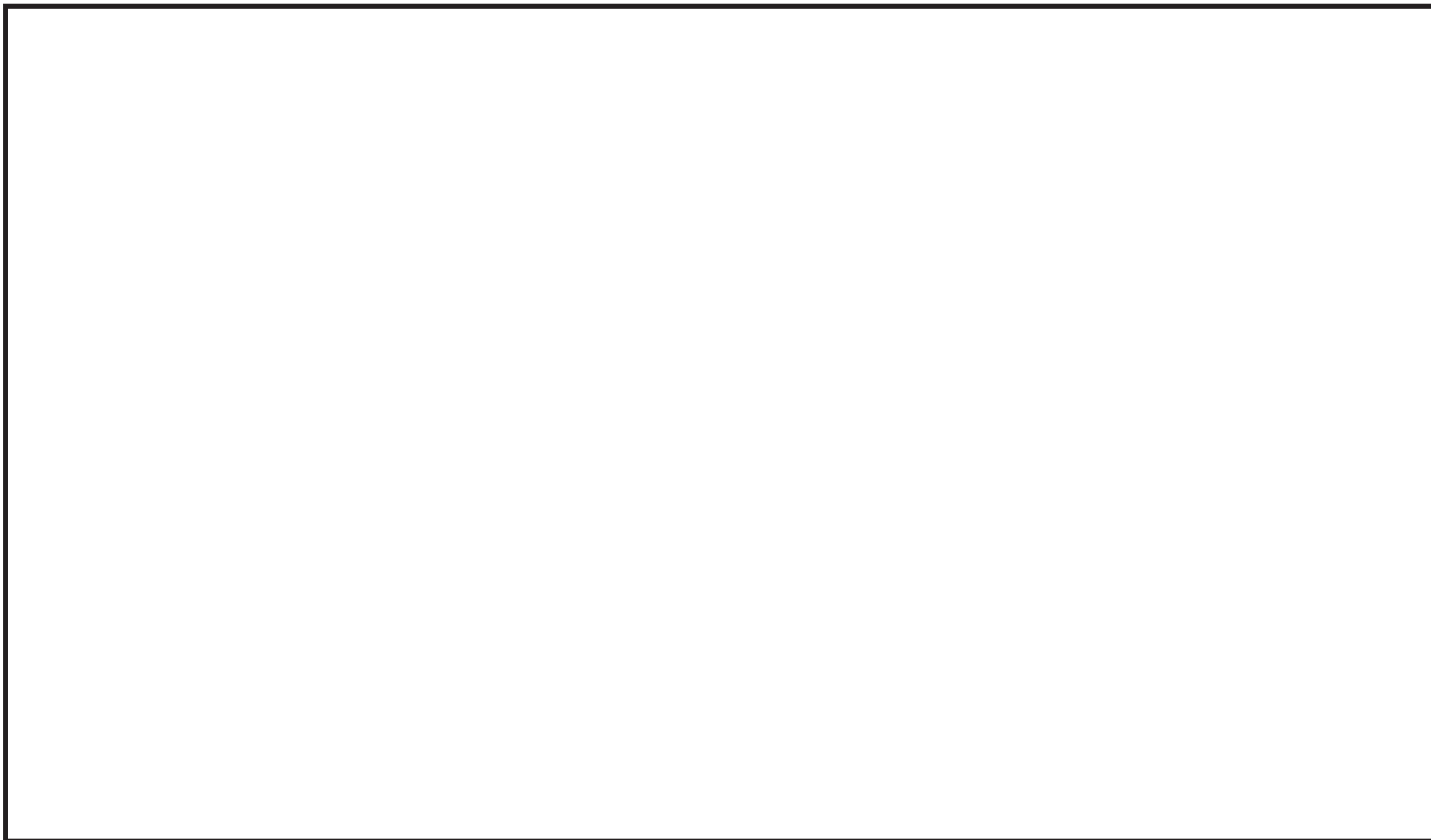


図5-6 門型クレーンに適用する基準地震動 S_s の床応答スペクトル
トロリ位置：中央の場合の水平モード固有周期との重ね合わせ (1/3)

A 領域拡大図



B 領域拡大図

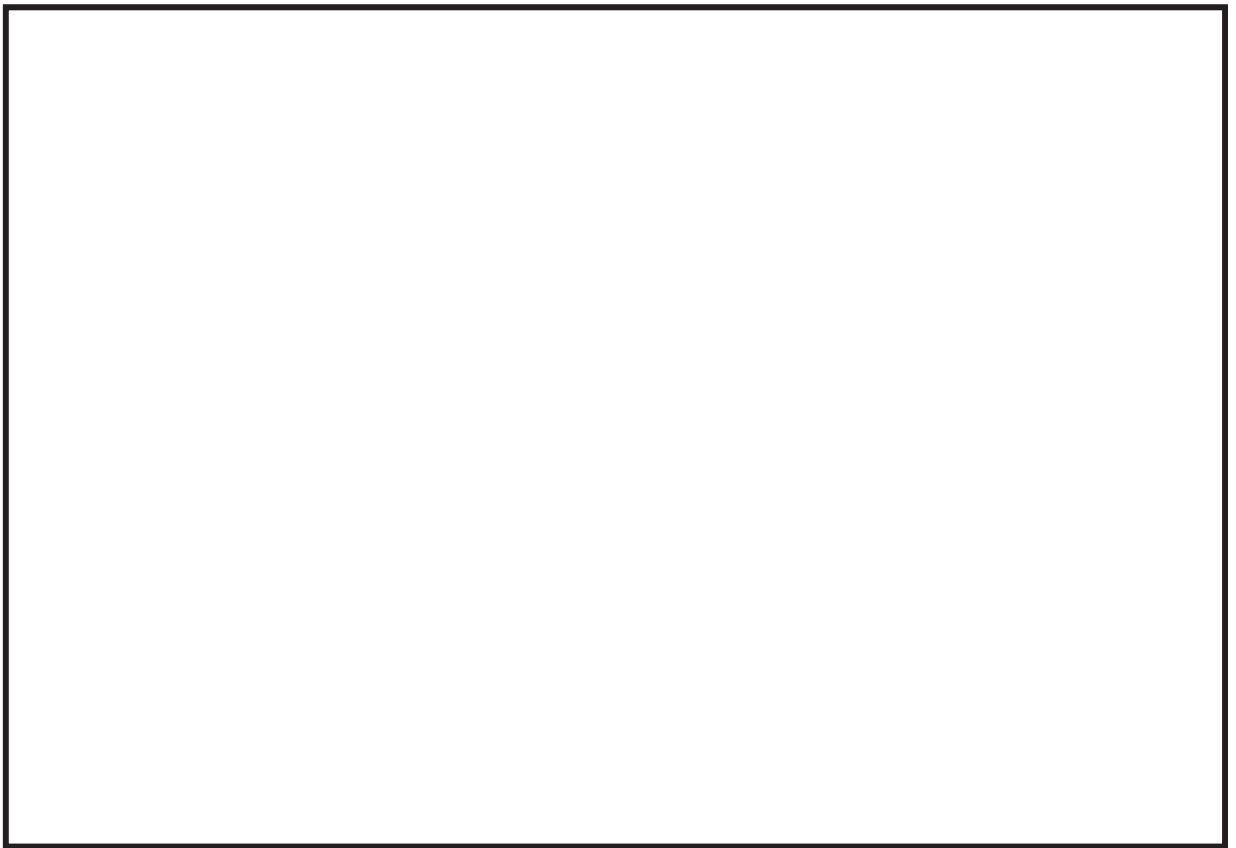
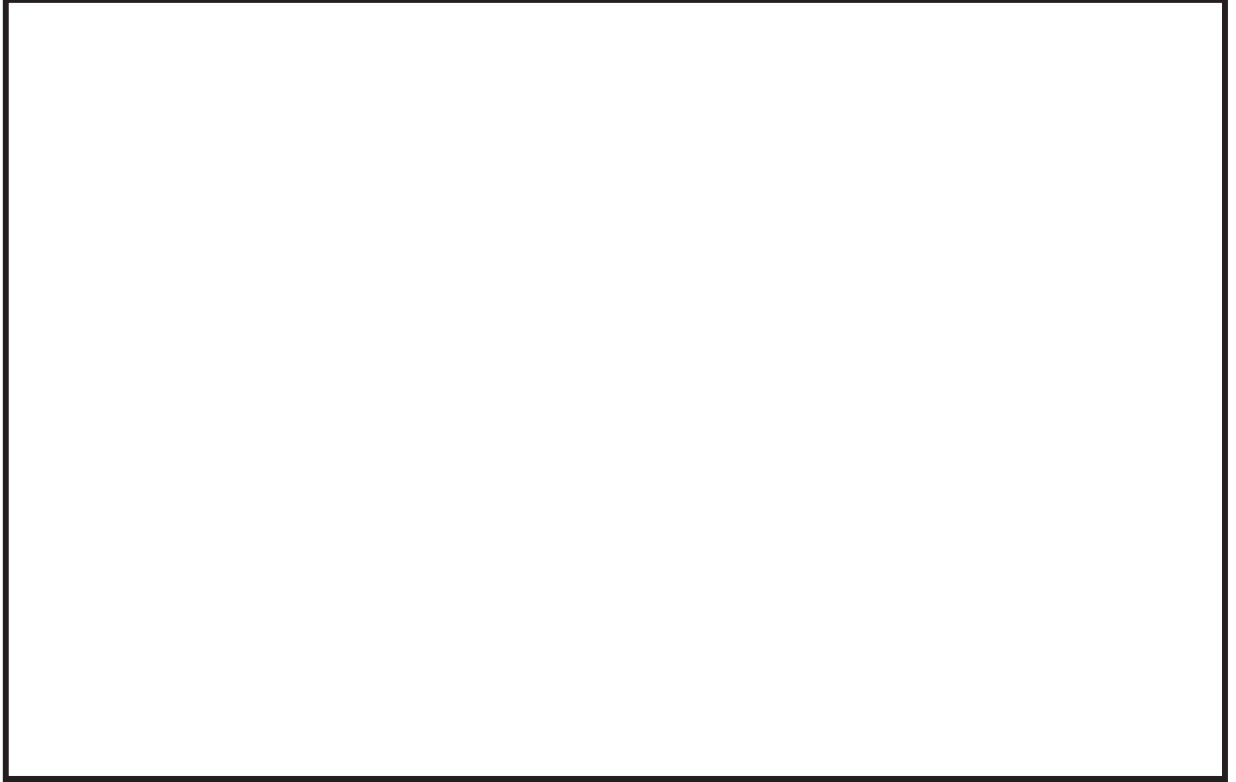


図5-6 門型クレーンに適用する基準地震動 S_s の床応答スペクトル
トロリ位置：中央の場合の水平モード固有周期との重ね合わせ (2/3)

C 領域拡大図



D 領域拡大図

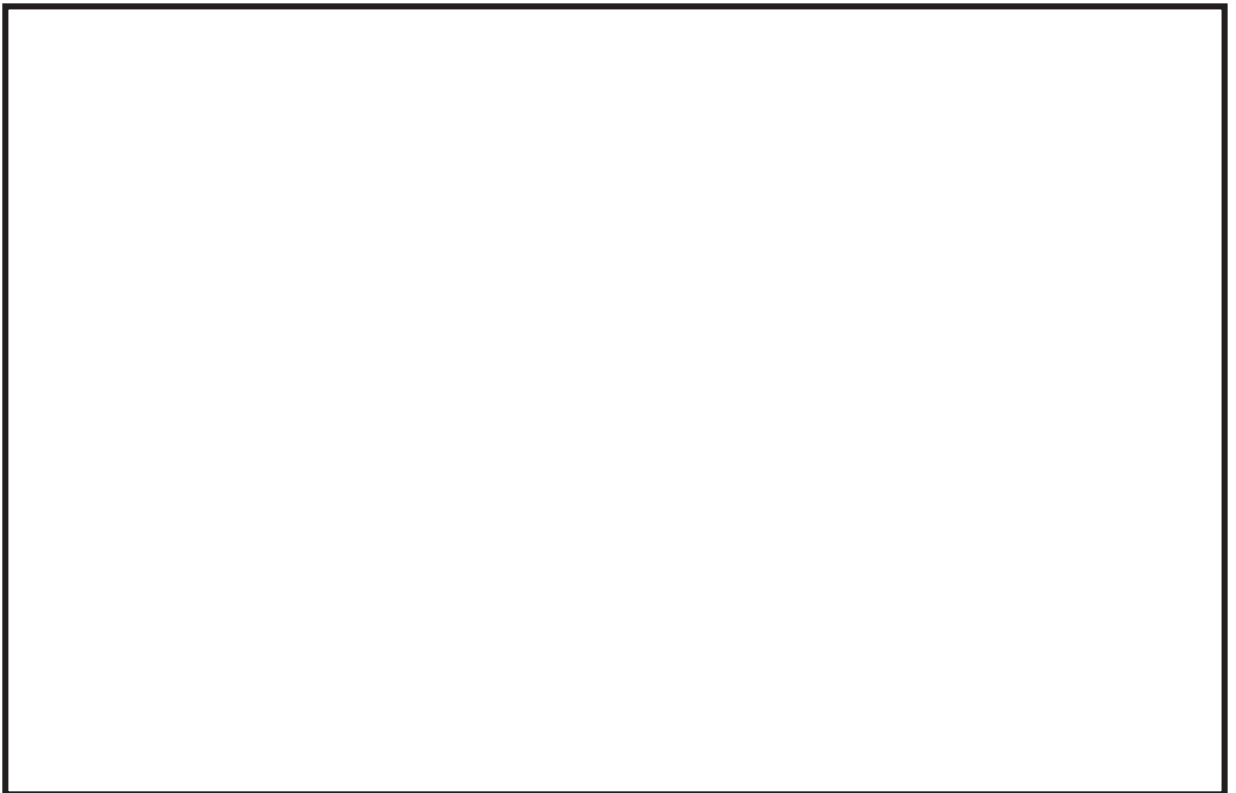


図5-6 門型クレーンに適用する基準地震動 S_s の床応答スペクトル
トロリ位置：中央の場合の水平モード固有周期との重ね合わせ (3/3)

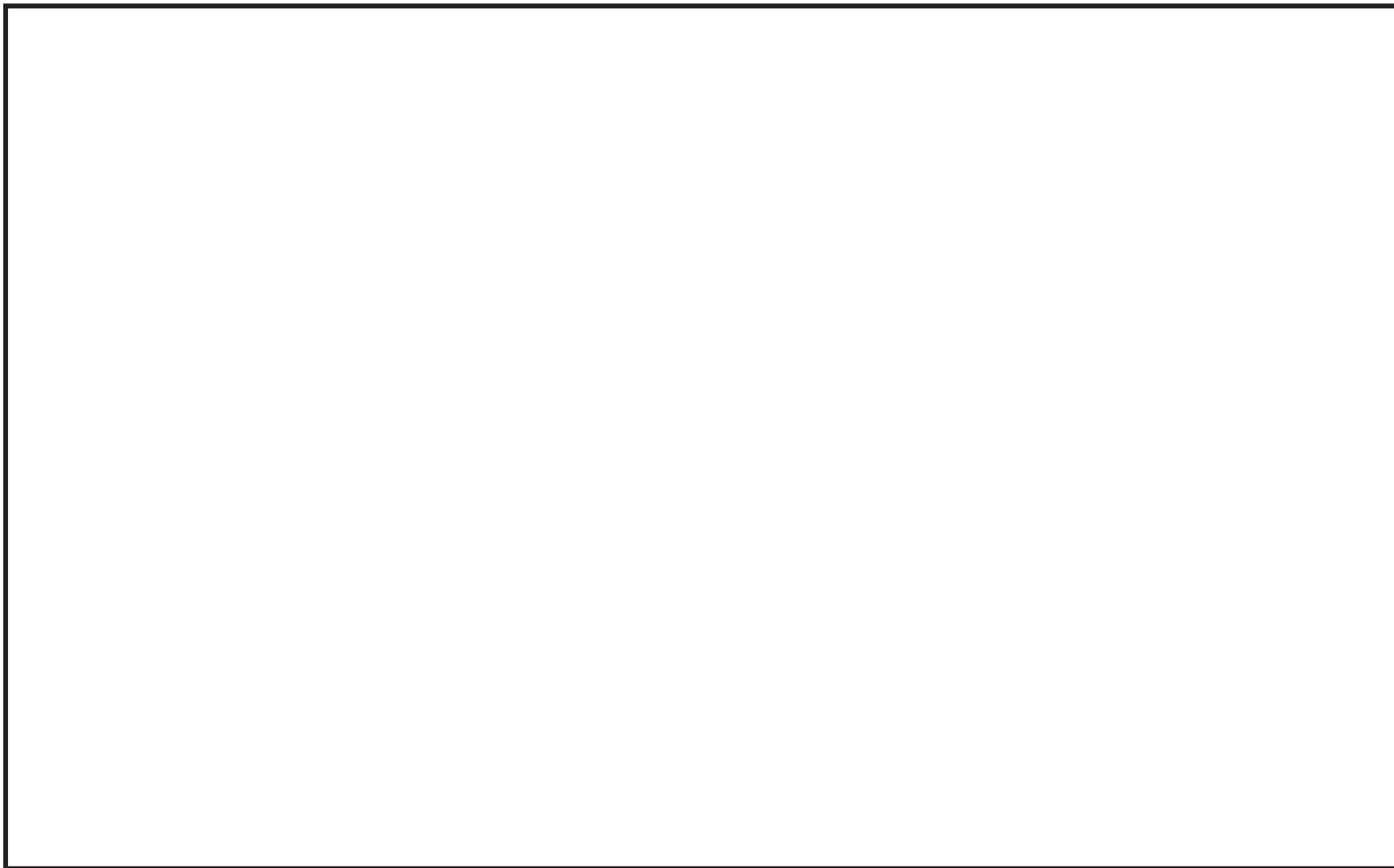


図5-7 門型クレーンに適用する基準地震動 S_s の床応答スペクトル
トロリ位置：揺脚側の場合の水平モード固有周期との重ね合わせ (1/2)

A 領域拡大図

B 領域拡大図

C 領域拡大図

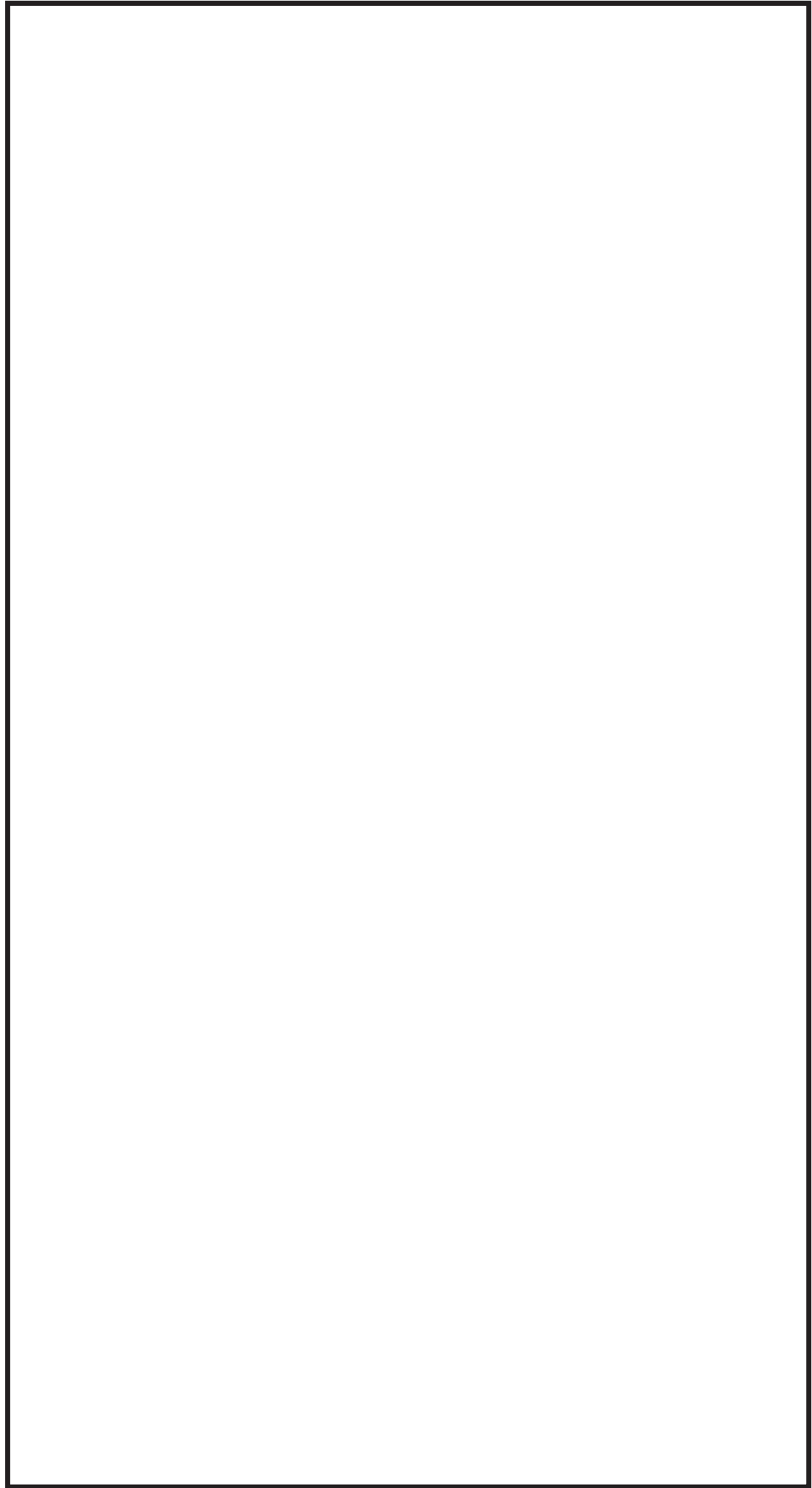


図5-7 門型クレーンに適用する基準地震動 S_s の床応答スペクトル
トロリ位置：揺脚側の場合の水平モード固有周期との重ね合わせ (2/2)

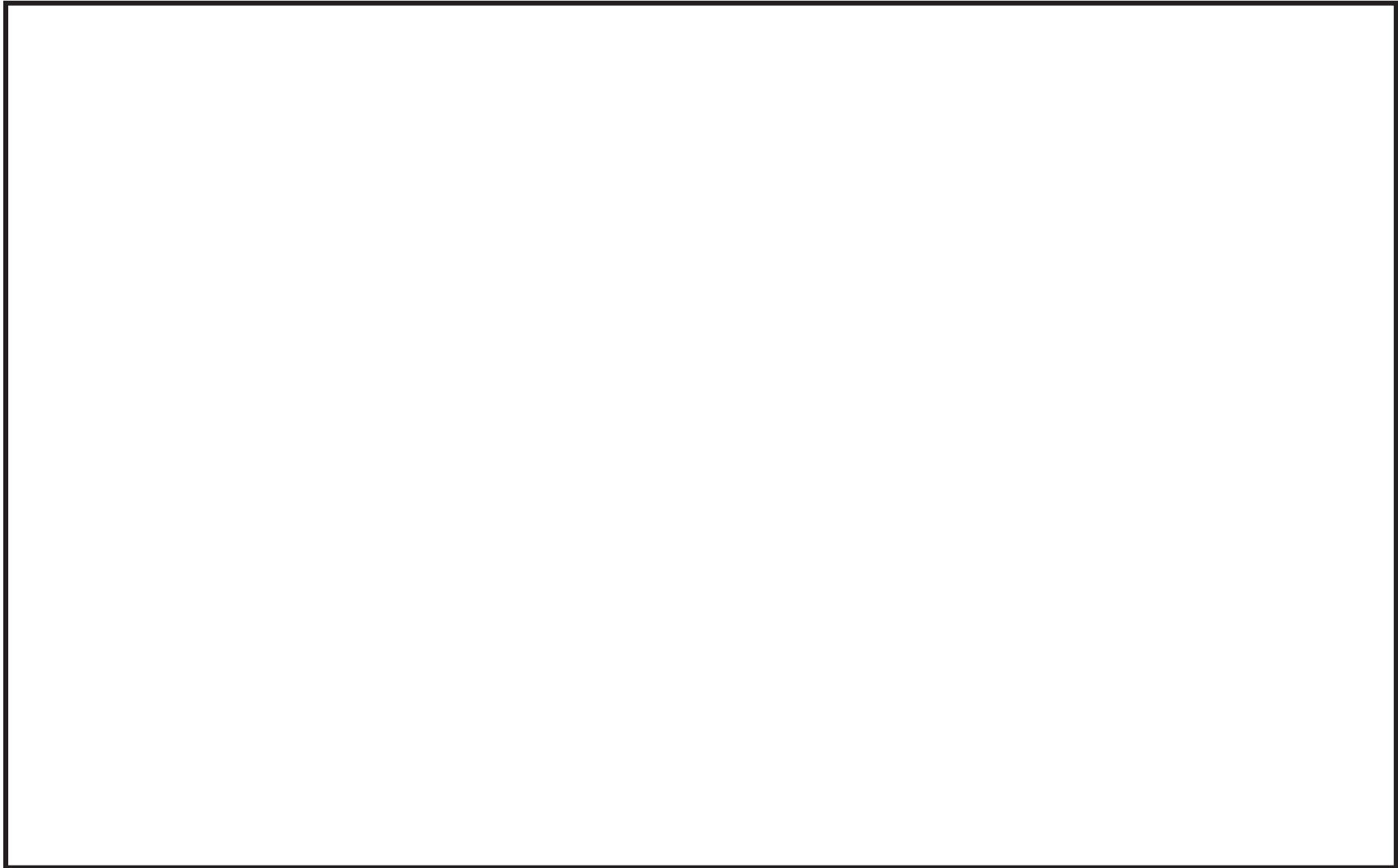


図5-8 門型クレーンに適用する基準地震動 S_s の床応答スペクトル
トロリ位置：剛脚側の場合の鉛直モード固有周期との重ね合わせ (1/2)

A 領域拡大図



B 領域拡大図



図5-8 門型クレーンに適用する基準地震動 S_s の床応答スペクトル
トロリ位置：剛脚側の場合の鉛直モード固有周期との重ね合わせ (2/2)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

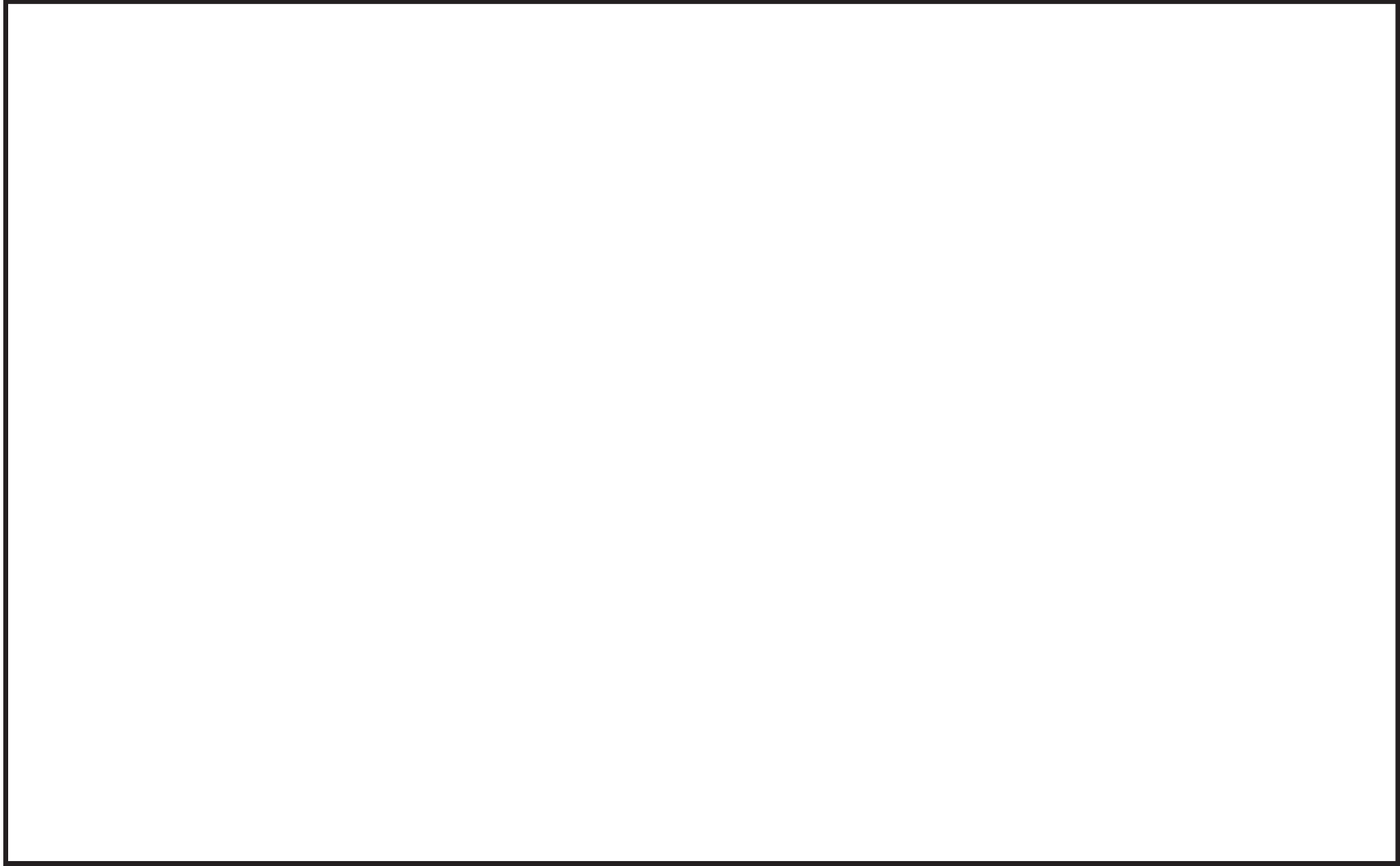


図5-9 門型クレーンに適用する基準地震動 S_s の床応答スペクトル
トロリ位置：中央の場合の鉛直モード固有周期との重ね合わせ (1/2)

A 領域拡大図

B 領域拡大図

C 領域拡大図

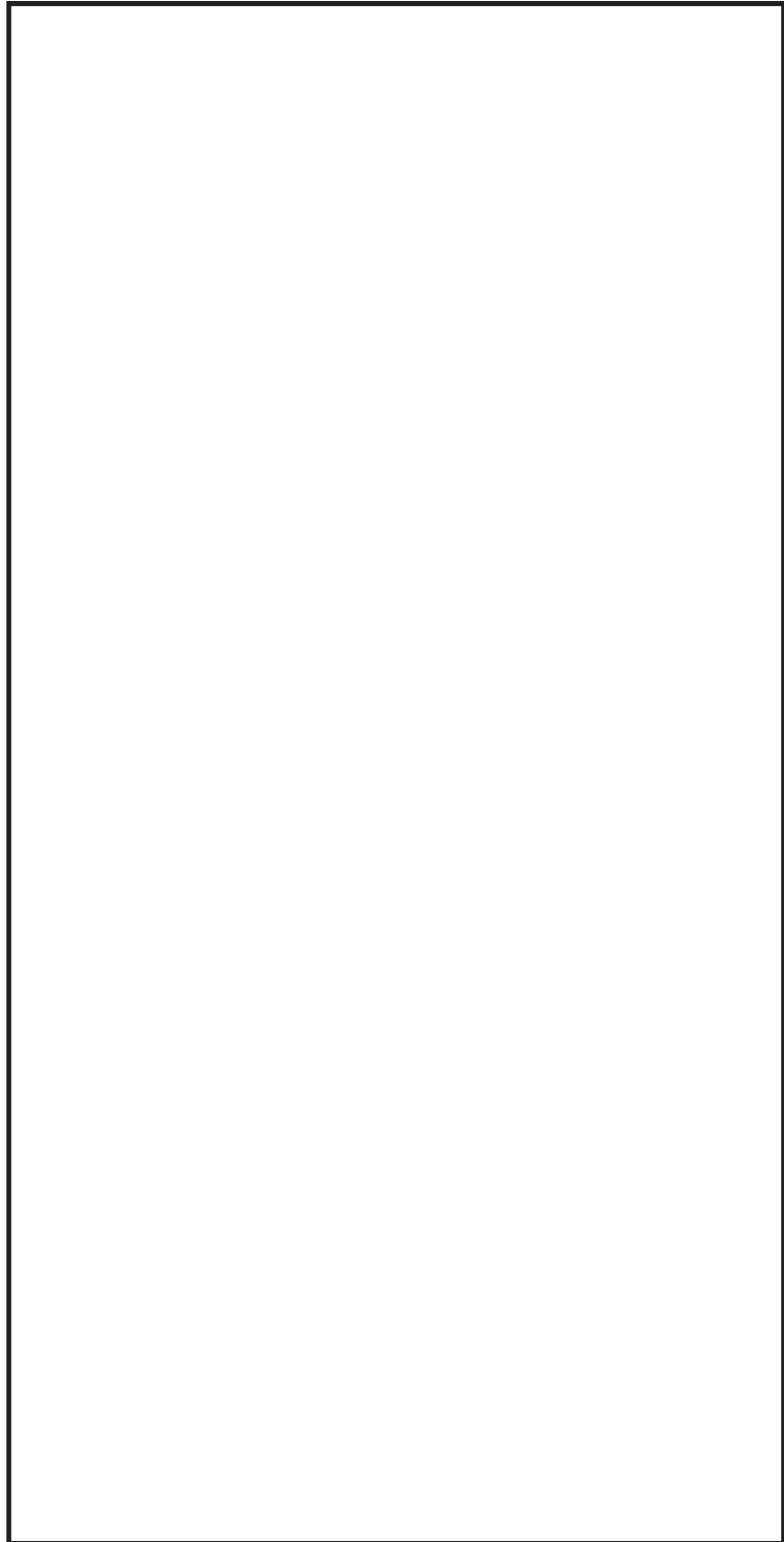


図5-9 門型クレーンに適用する基準地震動 S_s の床応答スペクトル
トロリ位置：中央の場合の鉛直モード固有周期との重ね合わせ (2/2)

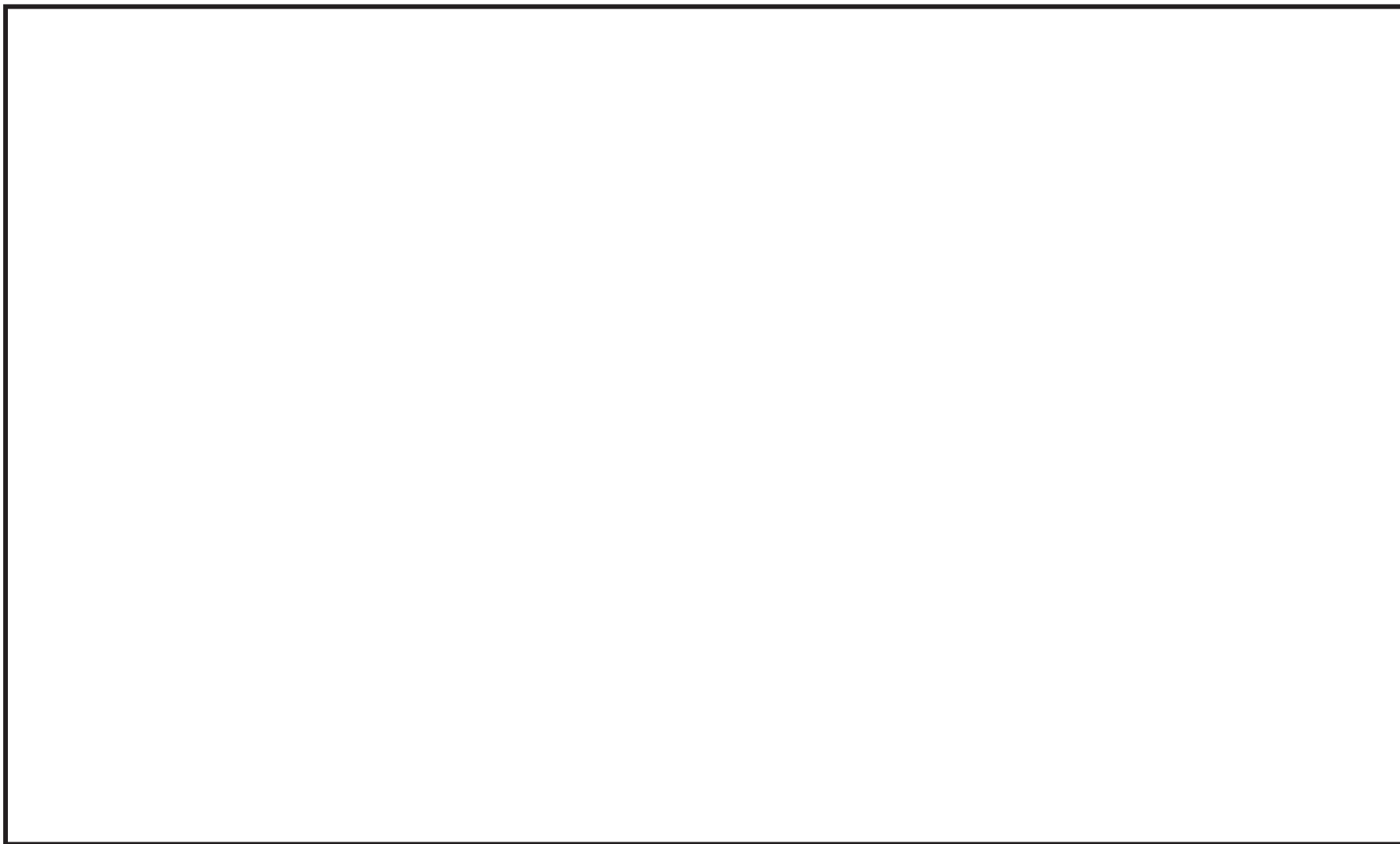


図5-10 門型クレーンに適用する基準地震動 S_s の床応答スペクトル
トロリ位置：揺脚側の場合の鉛直モード固有周期との重ね合わせ (1/2)

A 領域拡大図

B 領域拡大図

C 領域拡大図

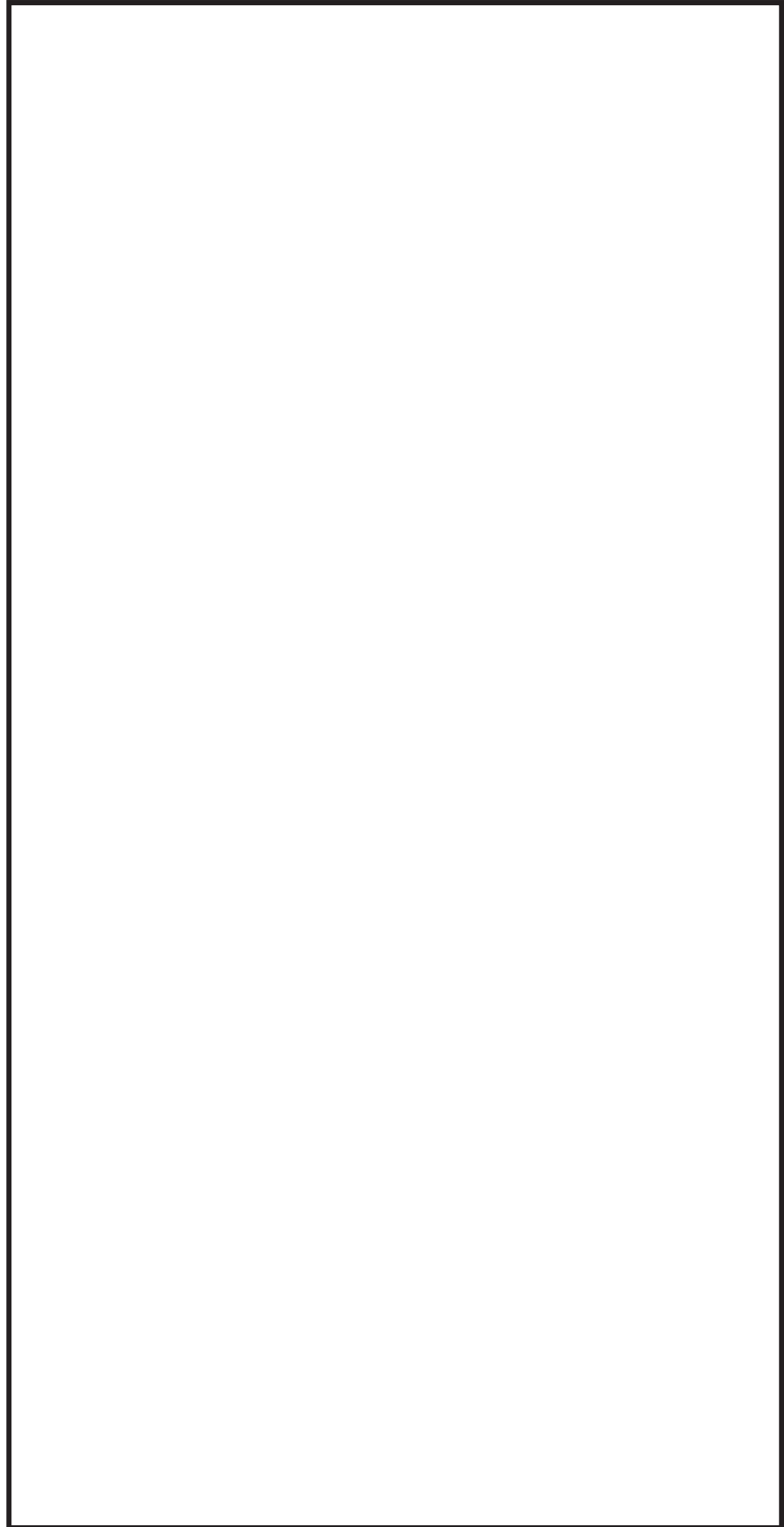


図5-10 門型クレーンに適用する基準地震動 S_s の床応答スペクトル
トロリ位置：揺脚側の場合の鉛直モード固有周期との重ね合わせ (2/2)

表 5-4 代表地震動の選定結果

地震動の種類	方向ごとに適用する節点位置	
	水平（横行）方向(EW方向)	鉛直方向(UD方向)
S s - D 1	2701	1708
S s - D 2	2701	2701

2.3 選定した地震動の妥当性確認

2.2項で選定した代表地震動（ $S_s - D 1$ 及び $S_s - D 2$ ）について、選定の妥当性を確認するため、代表地震動（ $S_s - D 1$ 及び $S_s - D 2$ ）に次いで影響が大きいと考えられる地震動を選定して耐震評価結果を比較する。妥当性確認は、2.2項と同様、図5-2に示す①～③の手順で実施し、その結果を以下に示す。

① 代表地震動に次いで門型クレーンの耐震評価に影響の大きい地震動の選定

表5-5に示すとおり、代表地震動（ $S_s - D 1$ 及び $S_s - D 2$ ）に次いで門型クレーンの耐震評価に影響の大きい地震動（以下「妥当性確認用地震動」という。）としては、鉛直方向で影響の大きい $S_s - F 2$ （水平方向節点：2701，鉛直方向節点：1708）を選定した。選定理由は以下のとおりである。

後述する代表地震動（ $S_s - D 1$ 及び $S_s - D 2$ ）の評価結果（表5-6）から、クレーン本体ガーダの裕度が最も小さくなることが分かっており、さらにトロリが中央に位置する場合は最も厳しい結果となっている。これはクレーン本体ガーダ中央部が鉛直方向に撓むモードに対してトロリ質量が中央部に位置することで影響を及ぼしているためである。

以上より、トロリ中央位置での鉛直方向主要モードのうち刺激係数が最も大きいモード（刺激係数1位のモード）で最大加速度となる $S_s - F 2$ を妥当性確認用地震動として選定する。

② 妥当性確認用地震動による耐震評価

表5-6に妥当性確認用地震動（ $S_s - F 2$ ）による耐震評価結果を示す。

③ 代表地震動及び妥当性確認用地震動の評価結果の比較

表5-6に、代表地震動（ $S_s - D 1$ 及び $S_s - D 2$ ）及び妥当性確認用地震動（ $S_s - F 2$ ）による門型クレーンの耐震評価結果を整理、比較したものを示す。評価結果の比較は、裕度最小部位がクレーン本体ガーダであることを踏まえて、当該部位に最も厳しい条件であるトロリ中央位置での結果について整理している。

各部位の評価結果を比較し最も厳しい結果となっているケースを表中に赤字で示している。連結構（揺脚側）の引張応力の評価を除いて、他評価では全て代表地震動（ $S_s - D 1$ 及び $S_s - D 2$ ）の発生値が最大となっている。なお、連結構（揺脚側）の引張応力については妥当性確認用地震動（ $S_s - F 2$ ）が最大値となっているものの、引張も考慮した組合せ応力では $S_s - D 2$ が最大値となっており部材に対して最も厳しい地震動は $S_s - D 2$ であると考えられるため、代表地震動として $S_s - D 1$ 及び $S_s - D 2$ を選定した判断は妥当である。

代表地震動として選定した $S_s - D 1$ 及び $S_s - D 2$ の項目はグレーハッチングで表示。

表5-5 門型クレーンの妥当性確認用地震動の選定

トロリ位置	吊荷*1	水平（横行方向（EW方向））					鉛直（UD方向）					
		床応答 スペクトル 図番	刺激係数	固有周期 (s)	加速度最大となる条件		床応答 スペクトル 図番	刺激係数	固有周期 (s)	加速度最大となる条件		
					地震動*2	節点*2,3				地震動*2	節点*2,3	
剛脚側	有	図5-5	1位	[グレーハッチング]	[グレーハッチング]	$S_s - D 2$	2701	図5-8	1位	[グレーハッチング]	$S_s - F 3$	1708
			2位			$S_s - D 1$	2701		2位		$S_s - D 1$	1708
			3位			$S_s - D 2$	2701		3位		$S_s - F 2$	1708
			4位			$S_s - D 2$	2701		4位		$S_s - D 3$	1708
			5位			$S_s - D 1$	2701		5位		$S_s - D 2$	2701
中央	有	図5-6	1位	[グレーハッチング]	[グレーハッチング]	$S_s - D 3$	2701	図5-9	1位	[グレーハッチング]	$S_s - F 2$	1708
			2位			$S_s - D 1$	2701		2位		$S_s - D 1$	1708
			3位			$S_s - D 2$	2701		3位		$S_s - D 3$	1708
			4位			$S_s - D 2$	2701		4位		$S_s - D 2$	2701
			5位			$S_s - F 2$	2701		5位		$S_s - D 1$	1708
揺脚側	有	図5-7	1位	[グレーハッチング]	[グレーハッチング]	$S_s - D 2$	2701	図5-10	1位	[グレーハッチング]	$S_s - F 2$	2701
			2位			$S_s - D 1$	2701		2位		$S_s - D 1$	1708
			3位			$S_s - D 2$	2701		3位		$S_s - D 3$	1708
			4位			$S_s - D 2$	2701		4位		$S_s - D 1$	1708
			5位			$S_s - F 2$	2701		5位		$S_s - N 1$	2701

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

注記*1：吊荷の負荷を考慮した場合のほうが耐震評価は厳しくなることから吊荷有の条件とする。

*2：代表地震動として選定した $S_s - D 1$ 及び $S_s - D 2$ の項目はグレーハッチングで表示。

*3：門型クレーンの耐震評価には添付書類「VI-2-2-7 海水ポンプ室の地震応答計算書」に基づき算定された加速度時刻歴波を用いており、門型クレーンレールの設置位置を考慮して適用する節点は 1708 と 2701 としている。節点位置の詳細は、図 5-4 に示す。

：代表地震動の評価結果で裕度が最小となるクレーン本体ガード（トロリ位置：中央）に対して影響の大きい鉛直方向で刺激係数が最大となるモード

表5-6 代表地震動（ $S_s - D 1$ ， $S_s - D 2$ ）及び妥当性確認用地震動（ $S_s - F 2$ ）の耐震評価結果の比較（1/4）

a. クレーン本体ガーダ

応力分類	トロリ位置	吊荷	地震動の種類	発生値 (MPa)	許容限界 (MPa)	裕度
曲げ 応力	中央	有	$S_s - D 1$	240	280	1.16
			$S_s - D 2$	207		1.35
			$S_s - F 2$	238		1.17
せん断 応力	中央	有	$S_s - D 1$	30	161	5.36
			$S_s - D 2$	26		6.19
			$S_s - F 2$	25		6.44

b. 剛脚

応力分類	トロリ位置	吊荷	地震動の種類	発生値 (MPa)	許容限界 (MPa)	裕度
引張 応力	中央	有	$S_s - D 1$	5	280	56.0
			$S_s - D 2$	9		31.1
			$S_s - F 2$	3		93.3
圧縮 応力	中央	有	$S_s - D 1$	55	262	4.76
			$S_s - D 2$	60		4.36
			$S_s - F 2$	48		5.45
曲げ 応力	中央	有	$S_s - D 1$	181	280	1.54
			$S_s - D 2$	180		1.55
			$S_s - F 2$	131		2.13
組合せ 応力	中央	有	$S_s - D 1$	0.70	1	1.42
			$S_s - D 2$	0.69		1.44
			$S_s - F 2$	0.51		1.96

表5-6 代表地震動（ $S_s - D 1$ ， $S_s - D 2$ ）及び妥当性確認用地震動（ $S_s - F 2$ ）の耐震評価結果の比較（2/4）

c. 揺脚

応力分類	トロリ位置	吊荷	地震動の種類	発生値 (MPa)	許容限界 (MPa)	裕度
引張応力	中央	有	$S_s - D 1$	7	280	40.0
			$S_s - D 2$	8		35.0
			$S_s - F 2$	4		70.0
圧縮応力	中央	有	$S_s - D 1$	64	209	3.26
			$S_s - D 2$	71		2.94
			$S_s - F 2$	59		3.54
曲げ応力	中央	有	$S_s - D 1$	118	280	2.37
			$S_s - D 2$	149		1.87
			$S_s - F 2$	109		2.56
組合せ応力	中央	有	$S_s - D 1$	0.61	1	1.63
			$S_s - D 2$	0.71		1.40
			$S_s - F 2$	0.55		1.81

d. 連結構（剛脚側）

応力分類	トロリ位置	吊荷	地震動の種類	発生値 (MPa)	許容限界 (MPa)	裕度
引張応力	中央	有	$S_s - D 1$	17	280	16.4
			$S_s - D 2$	14		20.0
			$S_s - F 2$	11		25.4
圧縮応力	中央	有	$S_s - D 1$	6	249	41.5
			$S_s - D 2$	10		24.9
			$S_s - F 2$	5		49.8
曲げ応力	中央	有	$S_s - D 1$	145	280	1.93
			$S_s - D 2$	195		1.43
			$S_s - F 2$	109		2.56
組合せ応力	中央	有	$S_s - D 1$	0.53	1	1.88
			$S_s - D 2$	0.71		1.40
			$S_s - F 2$	0.40		2.50

表5-6 代表地震動（ $S_s - D 1$ ， $S_s - D 2$ ）及び妥当性確認用地震動（ $S_s - F 2$ ）の耐震評価結果の比較（3/4）

e. 連結構（揺脚側）

応力分類	トロリ位置	吊荷	地震動の種類	発生値 (MPa)	許容限界 (MPa)	裕度
引張応力	中央	有	$S_s - D 1$	14	280	20.0
			$S_s - D 2$	14		20.0
			$S_s - F 2^*$	18*		15.5
圧縮応力	中央	有	$S_s - D 1$	7	245	35.0
			$S_s - D 2$	13		18.8
			$S_s - F 2$	7		35.0
曲げ応力	中央	有	$S_s - D 1$	113	280	2.47
			$S_s - D 2$	156		1.79
			$S_s - F 2$	115		2.43
組合せ応力	中央	有	$S_s - D 1$	0.43	1	2.32
			$S_s - D 2$	0.61		1.63
			$S_s - F 2$	0.43		2.32

注記*：連結構（揺脚側）の引張応力に対して妥当性確認用地震動（ $S_s - F 2$ ）の評価が最大値であるが、他応力も考慮した組合せ応力では $S_s - D 2$ の評価が最大値となっている。

f. 脱輪防止装置*

荷重の種類	トロリ位置	吊荷	地震動の種類	車輪荷重 (kN)
横行方向 車輪荷重	中央	有	$S_s - D 1$	1088
			$S_s - D 2$	1036
			$S_s - F 2$	720

注記*：脱輪防止装置については解析で算出される最大車輪荷重に対して応力評価を実施しているため、地震動ごとの比較は車輪荷重で示す。なお、「VI-2-11-2-1 海水ポンプ室門型クレーンの耐震性に関する計算書」に示すとおり、最も評価の厳しい脱輪防止装置においても裕度2.01の余裕を有している。

表5-6 代表地震動（S_s-D1, S_s-D2）及び妥当性確認用地震動（S_s-F2）の耐震評価結果の比較（4/4）

g. クレーン浮上り量

トロリ位置	吊荷	地震動の種類	発生値 (mm)	許容限界 (mm)	裕度
中央	有	S _s -D1	6	75	12.5
		S_s-D2	11		6.81
		S _s -F2	6		12.5

h. トロリ浮上り量

トロリ位置	吊荷	地震動の種類	発生値 (mm)	許容限界 (mm)	裕度
中央	有	S_s-D1	35	170	4.85
		S _s -D2	10		17.0
		S _s -F2	15		11.3

i. 吊具

荷重の種類	トロリ位置	吊荷	地震動の種類	吊具荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	裕度
吊具荷重	中央	有	S _s -D1	4207	6396*	1.52
			S _s -D2	3120		2.05
			S _s -F2	3844		1.66

注記*：評価対象部位はワイヤロープとフックであり許容荷重が異なることから許容荷重のより低いワイヤロープの許容荷重を記載する。

海水ポンプ室門型クレーンに適用する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

1. 概要

耐震評価のスペクトルモーダル解析に適用する設計用床応答曲線は、地盤及び間接支持構造物の物性等の不確かさによる固有周期のシフトを考慮して周期方向に±10%の拡幅したものをを用いている。門型クレーンの評価では、設計用床応答曲線を用いない時刻歴応答解析手法を採用していることから、地盤及び間接支持構造物（海水ポンプ室）の固有周期に対する不確かさを、時刻歴応答解析において考慮する必要がある。

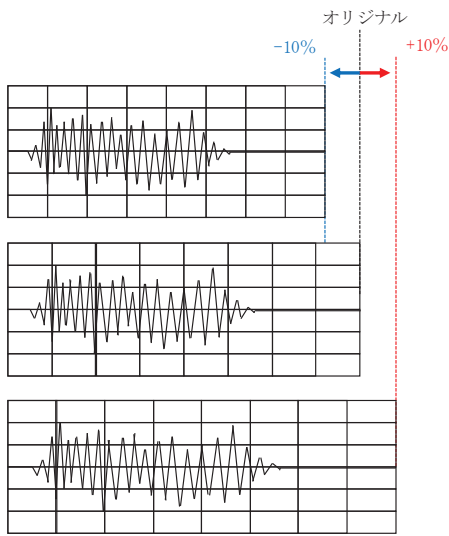
そこで、本項では設計用床応答曲線で考慮している周期方向±10%の拡幅に相当する不確かさの考慮方法と結果を示す。

門型クレーンの耐震評価における不確かさの考慮方法は、固有周期のシフトを考慮していない海水ポンプ室の応答解析結果より算出される時刻歴応答加速度波による解析に加えて、A S M E Boiler Pressure Vessel Code SECTION III, DIVISION1-NONMANDATORY APPENDIX N-1222.3 Time History Broadeningの規定を参考に、設計用床応答曲線の拡幅の考慮分として加速度時刻歴波の時間刻みを±10%シフトさせた加速度時刻歴波による解析を行う方針とする。また、±10%シフトさせた範囲の中に設計用床応答曲線のピークが存在する場合は、A S M Eの規定に基づきピーク位置を考慮した評価も行うことで不確かさを考慮する。時刻歴応答をシフトする場合の概念を図6-1に示す。

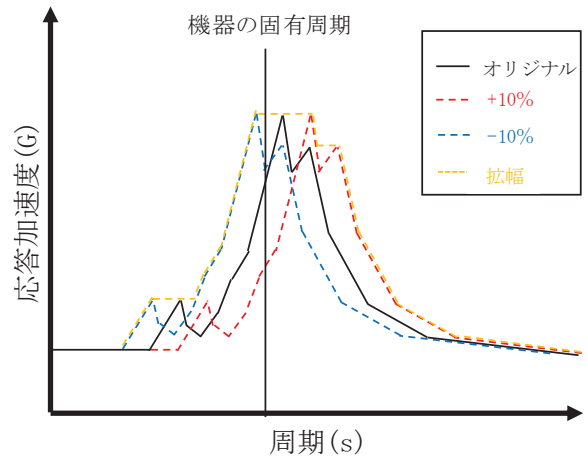
A S M E Boiler Pressure Vessel Code SECTION III, DIVISION1-NONMANDATORY APPENDIX N-1222.3 Time History Broadening より引用



枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

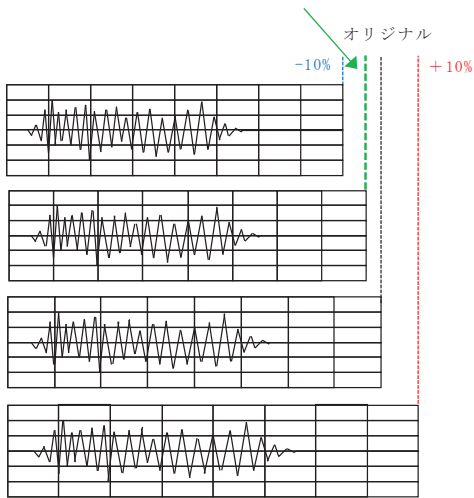


- ・オリジナルの時刻歴波に加えて時刻刻みを±10%シフトさせた時刻歴波を作成



- ・各時刻歴波を床応答スペクトル化

固有周期と合致するよう調整した時刻歴波形



- ・機器の固有周期が床応答スペクトルピークの谷間に存在する場合、ピークと合うような時刻歴波を作成し、時刻歴応答解析を実施

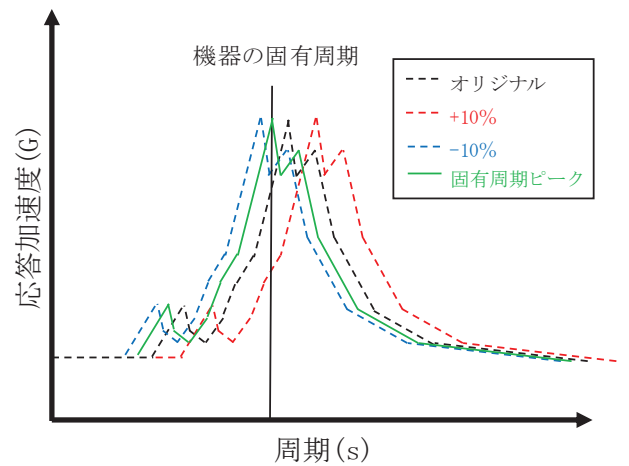


図 6-1 Time History Broadening 概念図

2. 時刻歴応答解析の不確かさの考慮方法

評価部位は門型クレーンの主要構造であり，耐震計算書で評価している評価部位のうち裕度最小となるクレーン本体ガーダ（詳細は添付5参照）に着目して検討を行う。なお，不確かさの検討における耐震評価方法は添付書類「VI-2-11-2-1 海水ポンプ室門型クレーンの耐震性についての計算書」と同様に，非線形挙動を考慮した時刻歴応答解析で評価する。また，解析モデルについても同計算書と同じモデルを適用する。

時刻歴応答解析の不確かさの考慮方法に係る検討フローを図6-2に示す。

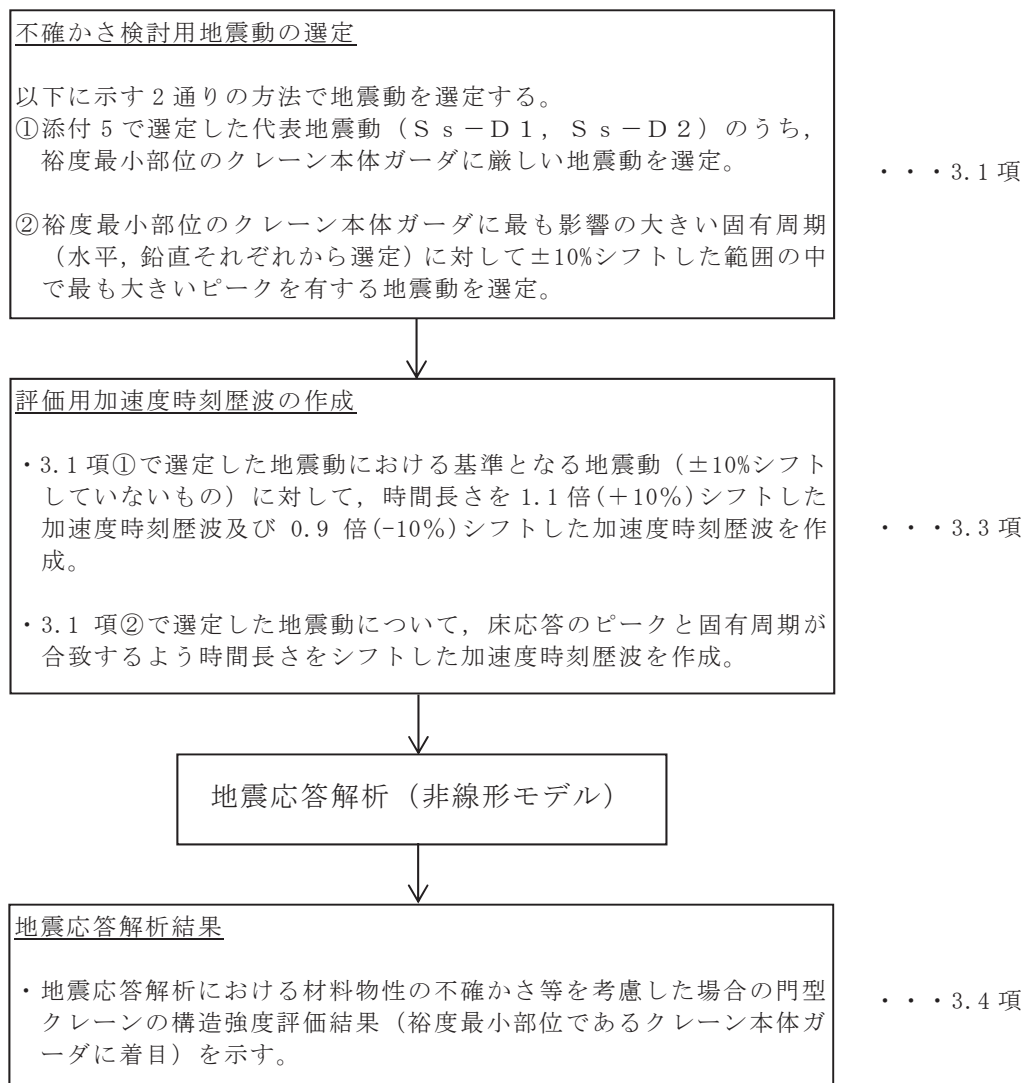


図 6-2 時刻歴応答解析の不確かさに係る検討フロー

3. 不確かさの検討に用いる地震動の選定

図6-2のフローに基づく、不確かさの検討に用いる地震動（以下「不確かさ検討用地震動」という。）の選定方法と選定結果を以下に示す。

3.1 不確かさ検討用地震動の選定方法

不確かさ検討用地震動については以下に示す2通りの方法で選定する。ここで、設計用床応答曲線（拡幅なし）と門型クレーンの固有周期（±10%シフトも含む）を重ね書きした結果を図6-3～図6-8に示す。

- ① 添付5で選定した代表地震動（ $S_s - D1$ ， $S_s - D2$ ）のうち、門型クレーン全体の裕度最小部位であるクレーン本体ガーダが厳しくなる地震動を選定する。選定した地震動に対して±10%のシフトを考慮した加速度時刻歴波を作成し評価に適用する。
- ② クレーン本体ガーダに最も影響の大きい水平（横行）方向及び鉛直方向の固有周期に着目し、±10%シフト範囲の中で最も大きなピークを有する地震動を選定し、ピークと固有周期が合致するようシフトした加速度時刻歴波を作成し評価に適用する。なお、地震動の選定に当たってはクレーン本体ガーダに最も厳しい条件としてトリ中央位置、吊荷有の条件での固有周期に着目する。

3.2 不確かさ検討用地震動の選定結果

不確かさ検討用地震動の選定結果を表6-1に示す。

3.1項の①の観点で、添付5に示す代表地震動の評価結果を踏まえ、 $S_s - D1$ （水平（横行）方向節点：2701，鉛直方向節点：1708）を選定し、固有周期をシフトしない基準ケースと±10%シフトケースの合計3ケースの評価を実施する。

3.1項の②の観点で、最弱部位のクレーン本体ガーダに影響の最も大きい水平（横行）方向固有周期（のモード）へ最大ピークを合致させるケースとして $S_s - F1$ （水平（横行）方向節点：2701，鉛直方向節点：1708）の-7.9%ケースを実施する。なお、図6-5に示すとおり $S_s - F1$ の最大ピーク位置における水平（横行）方向節点1708と2701の加速度はほぼ同一値となることから、より厳しい評価となるように、本固有周期以外の影響も考慮し、他の固有周期で加速度がより大きくなる節点2701を対象ケースとして選定している。

また、同様に図6-8に示すとおり鉛直方向固有周期（のモード）へ最大ピークを合致させるケースとして $S_s - F2$ （水平方向節点：2701，鉛直方向節点：1708）の基準ケースを実施する。なお、 $S_s - F2$ の基準ケースは最大ピークの周期と固有周期に差があるものの、その差は僅か0.2%（加速度の差は0.9%）であったことから、結果に及ぼす影響は軽微と判断し基準ケースで評価を実施しているものである。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表 6-1 不確かさ検討用地震動の選定結果

選定方法	方向	関連 FRS 図	不確かさ検討用地震動		備考	
			地震動	時間刻みシフト	トロリ位置	吊荷
(代表地震動)	—	—	S s - D 1 , S s - D 2	基準	中央	有
3.1 項の①* ¹	—	—	S s - D 1	+10%シフト		
				-10%シフト		
3.1 項の②* ²	水平方向	図 5-5	S s - F 1	-7.9%シフト		
	鉛直方向	図 5-8	S s - F 2	基準* ³		

注記* 1 : 代表地震動 (S s - D 1 , S s - D 2) のうち裕度最小部位であるクレーン本体ガーダの評価が厳しい方の地震動を選定。

* 2 : クレーン本体ガーダに最も影響の大きい水平 (横行) 方向及び鉛直方向の固有周期に着目し, ±10%シフト範囲の中で最も大きなピークを有する地震動を選定。

* 3 : 基準ケースは, 最大ピークの周期と固有周期に差があるものの, その差は0.2% (加速度の差は0.9%) であり, ピークシフトが結果に及ぼす影響は軽微と判断し, 標準ケースを適用する。

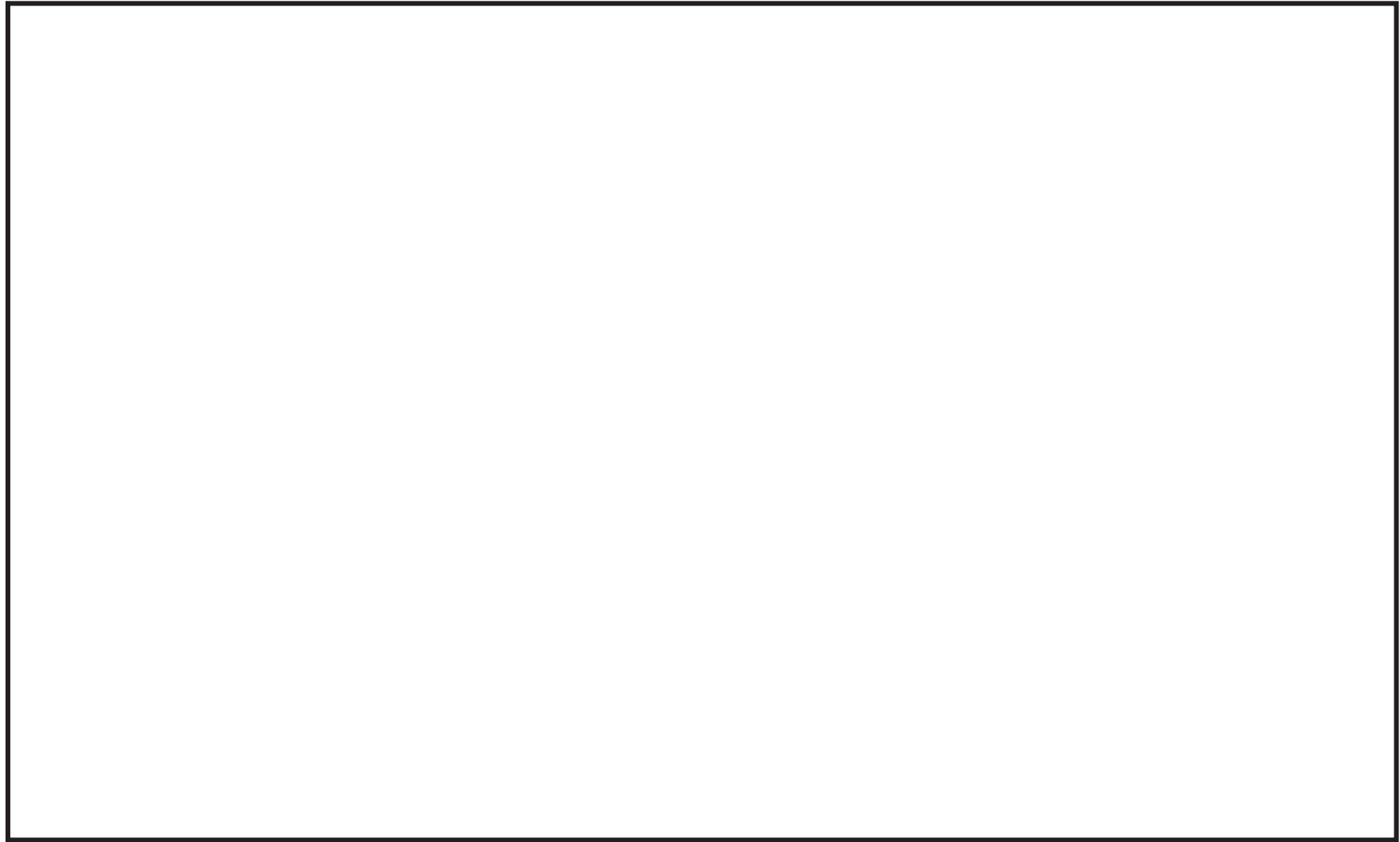


図6-3 設計用床応答曲線（水平（横行方向），減衰2%）とクレーン固有周期
（トロリ位置中央の場合の水平方向モード）との重ね書き 床応答スペクトル全体図

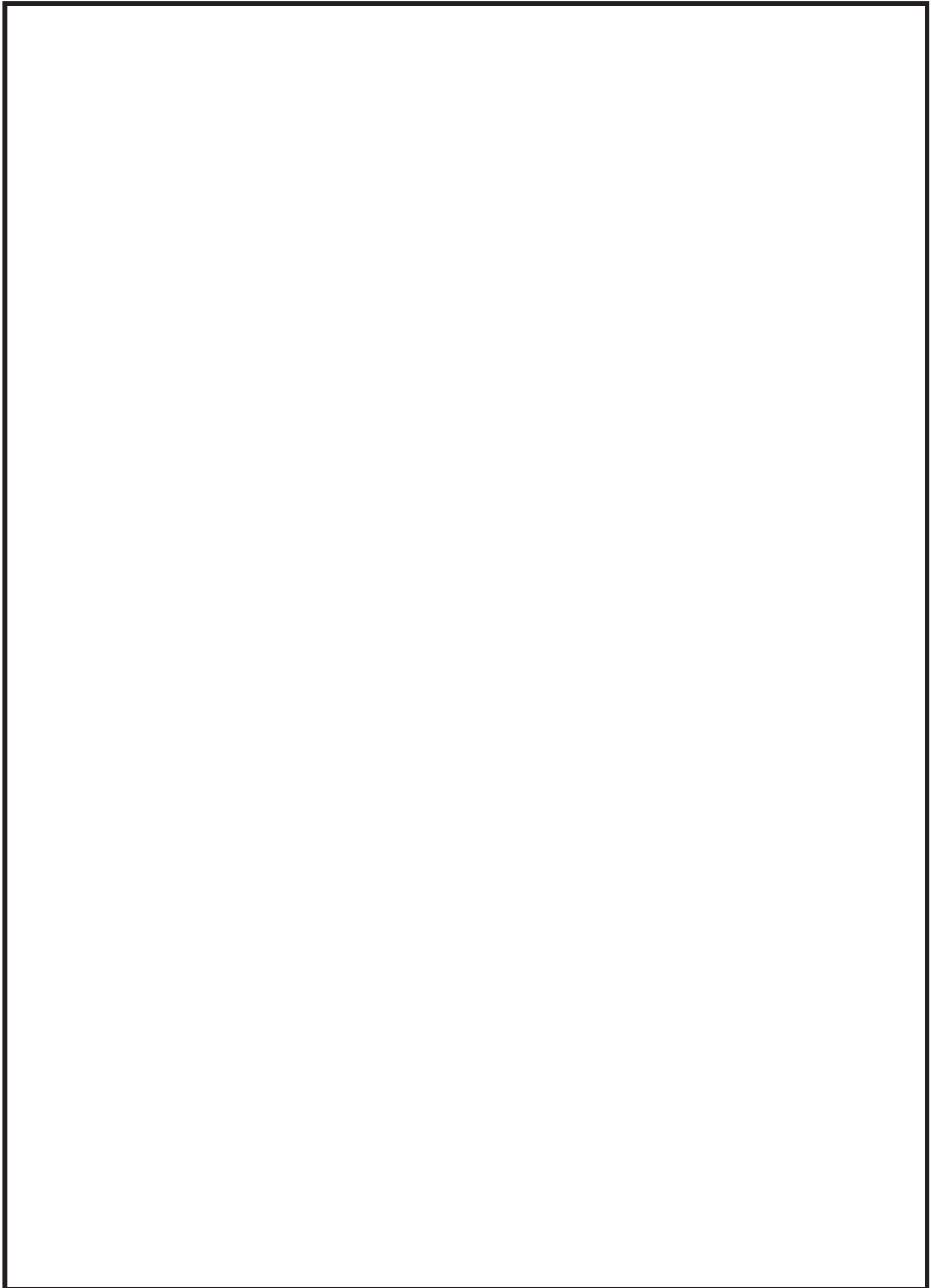


図6-4 設計用床応答曲線（水平（横行方向）、減衰2%）とクレーン固有周期（トロリ位置中央の場合の水平方向モード）との重ね書き 固有周期帯拡大図（1/3）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

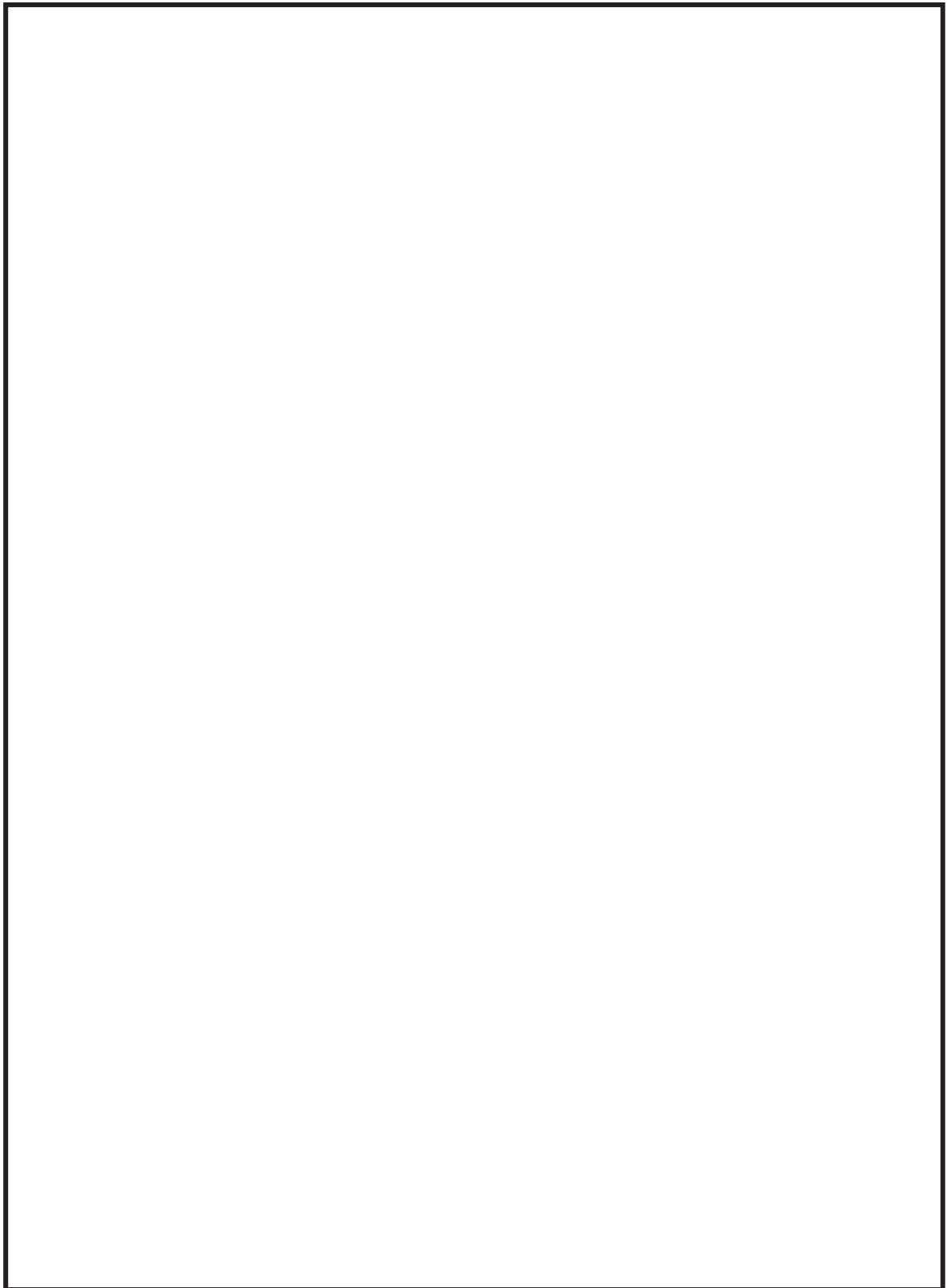


図6-4 設計用床応答曲線（水平（横行方向）、減衰2%）とクレーン固有周期（トロリ位置中央の場合の水平方向モード）との重ね書き 固有周期帯拡大図（2/3）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

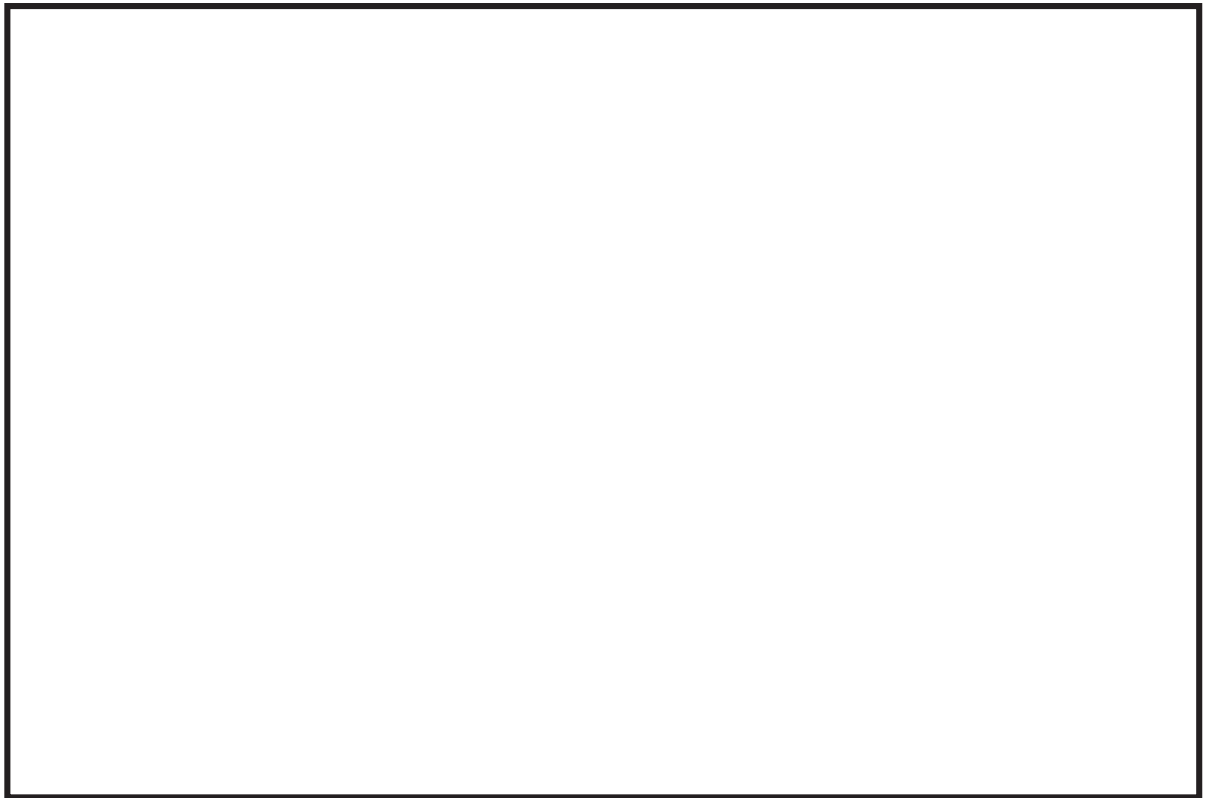
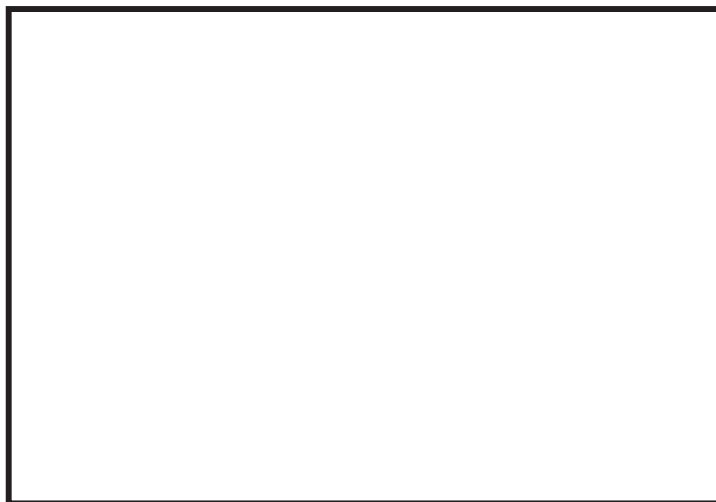


図6-4 設計用床応答曲線（水平（横行方向）, 減衰2%）とクレーン固有周期
（トロリ位置中央の場合の水平方向モード）との重ね書き 固有周期帯拡大図（3/3）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



クレーン本体ガーダ評価に影響が大きい水平方向モード
(横行方向に脚部が撓みガーダに荷重が発生するモード)

固有周期：



図6-5 設計用床応答曲線（水平（横行方向），減衰2%）とクレーン固有周期
(クレーン本体ガーダ評価に影響が大きい水平方向モード)との重ね書き図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

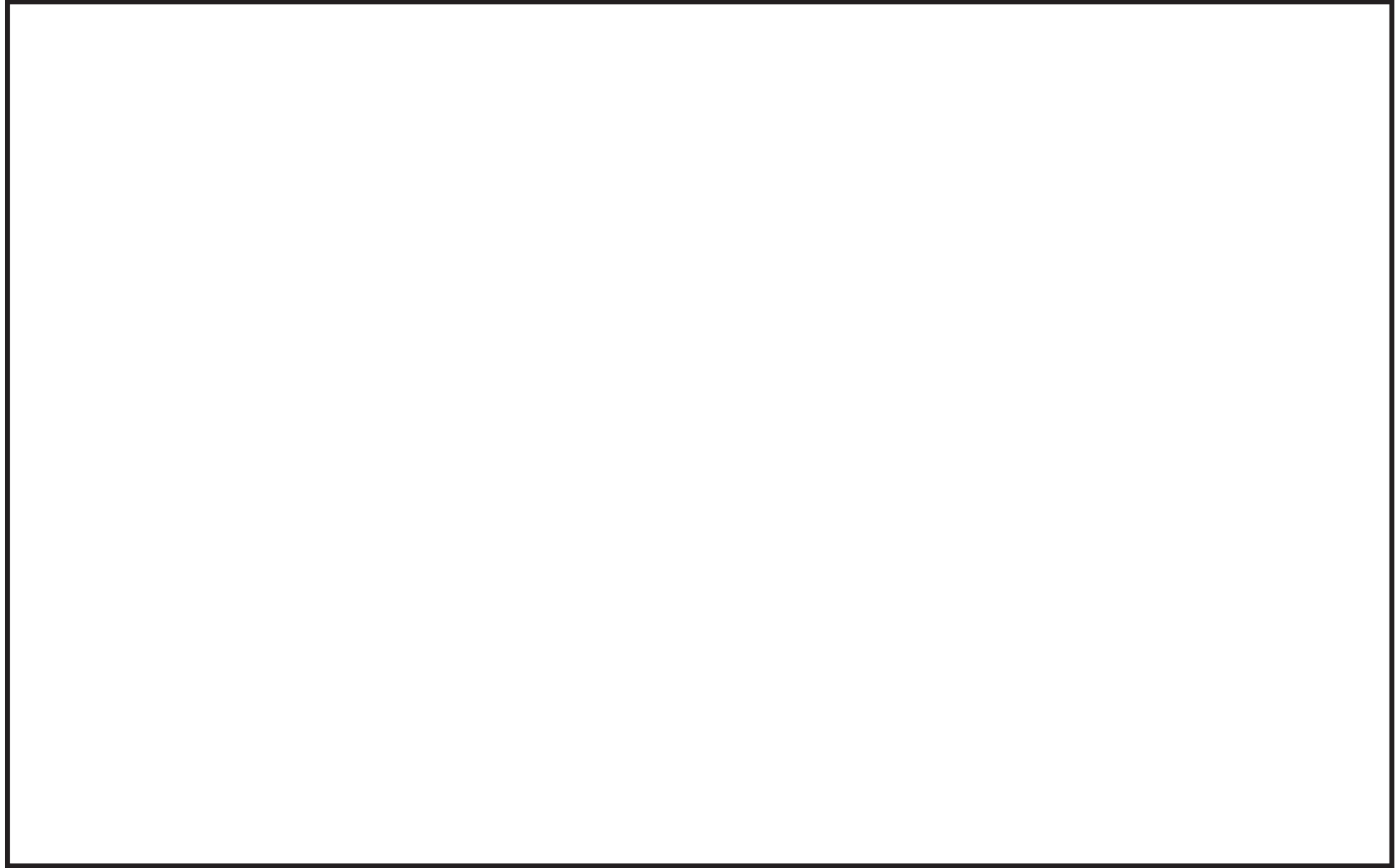


図6-6 設計用床応答曲線（鉛直方向，減衰2%）とクレーン固有周期
（トロリ位置中央の場合の鉛直方向モード）との重ね書き 床応答スペクトル全体図

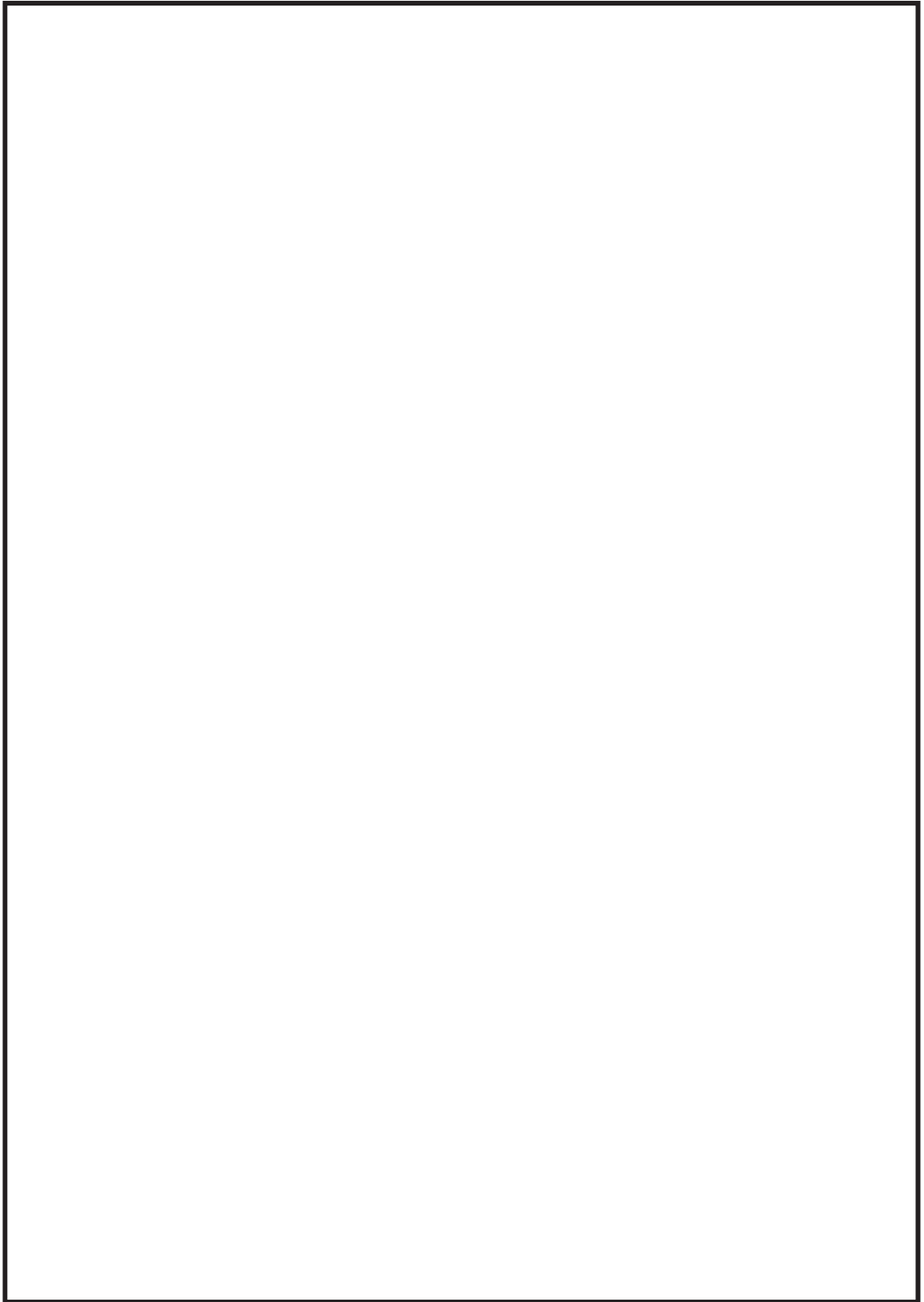


図6-7 設計用床応答曲線（鉛直方向，減衰2%）とクレーン固有周期
（トロリ位置中央の場合の鉛直方向モード）との重ね書き 固有周期帯拡大図（1/3）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

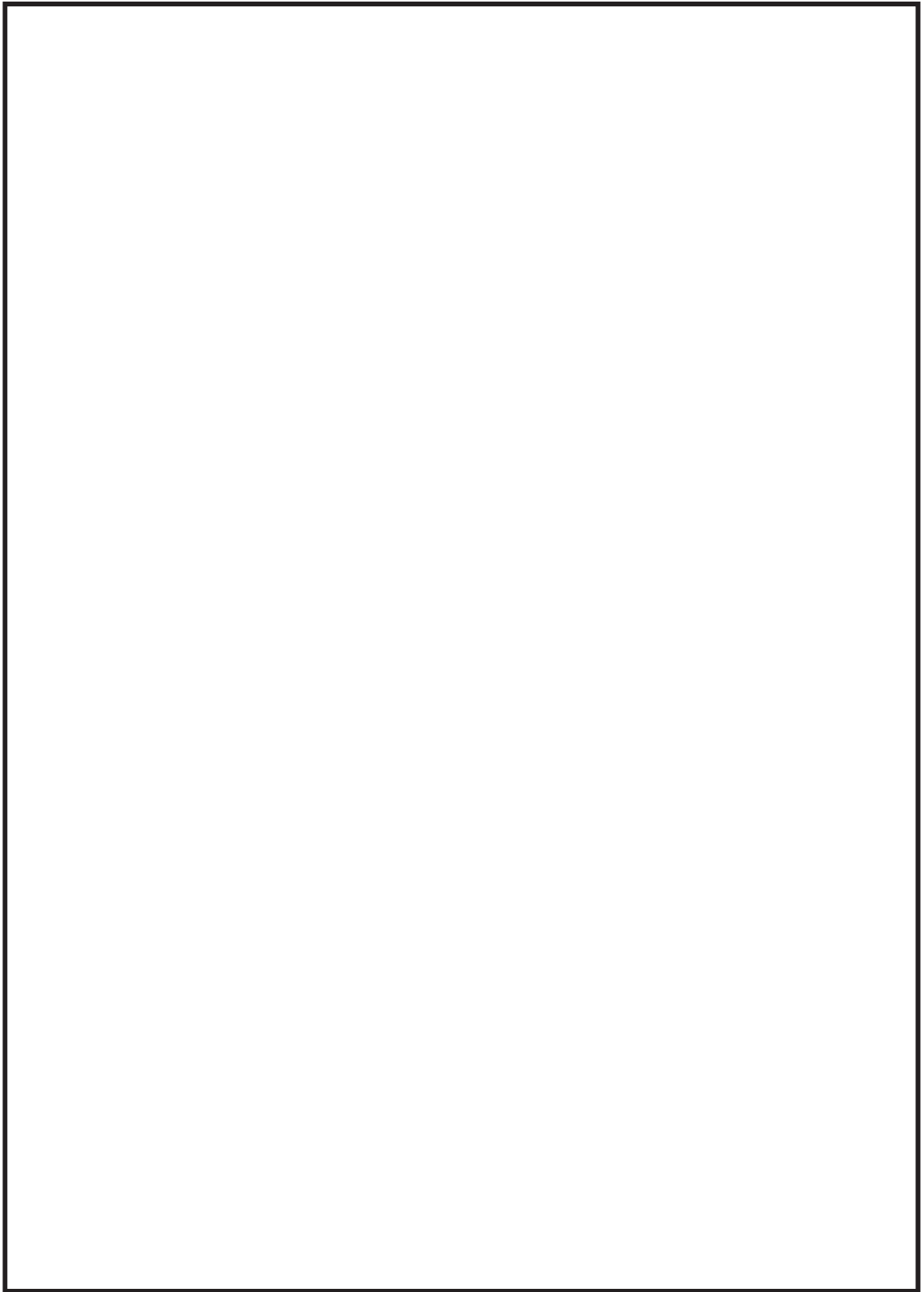


図6-7 設計用床応答曲線（鉛直方向，減衰2%）とクレーン固有周期
（トリ位置中央の場合の鉛直方向モード）との重ね書き 固有周期帯拡大図（2/3）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

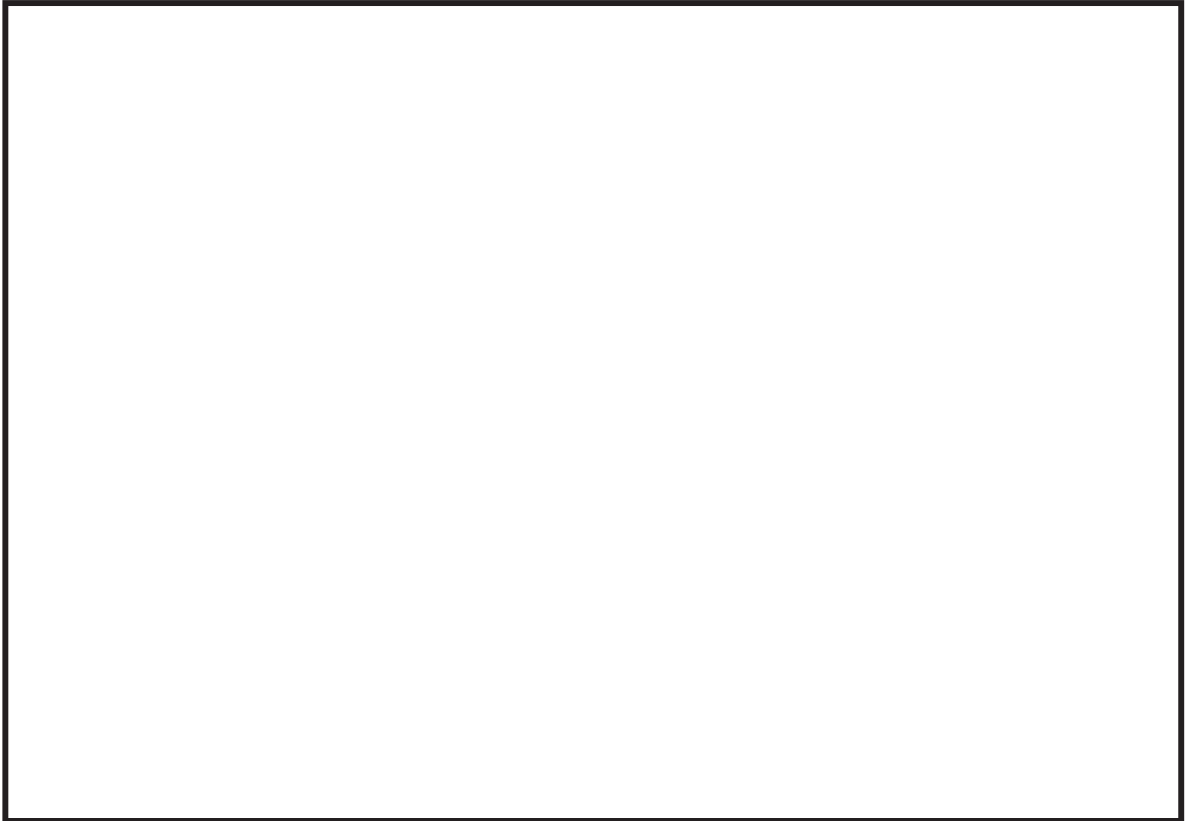
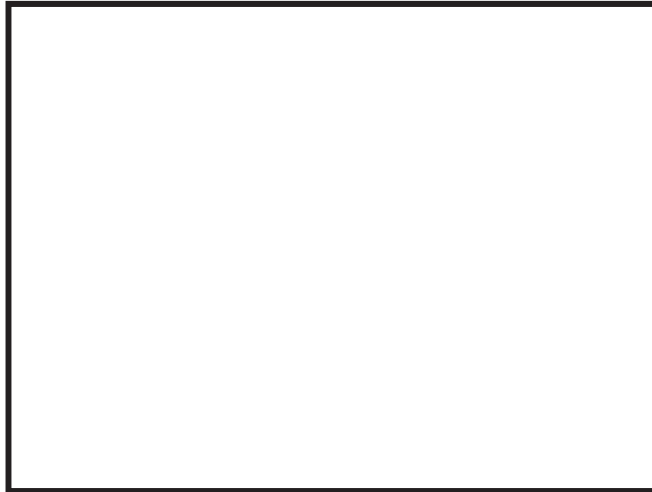


図6-7 設計用床応答曲線（鉛直方向，減衰2%）とクレーン固有周期
（トロリ位置中央の場合の鉛直方向モード）との重ね書き 固有周期帯拡大図（3/3）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



クレーン本体ガーダ評価に影響が大きい鉛直方向モード
(ガーダ全体が鉛直方向に大きく撓むモード)

固有周期 :

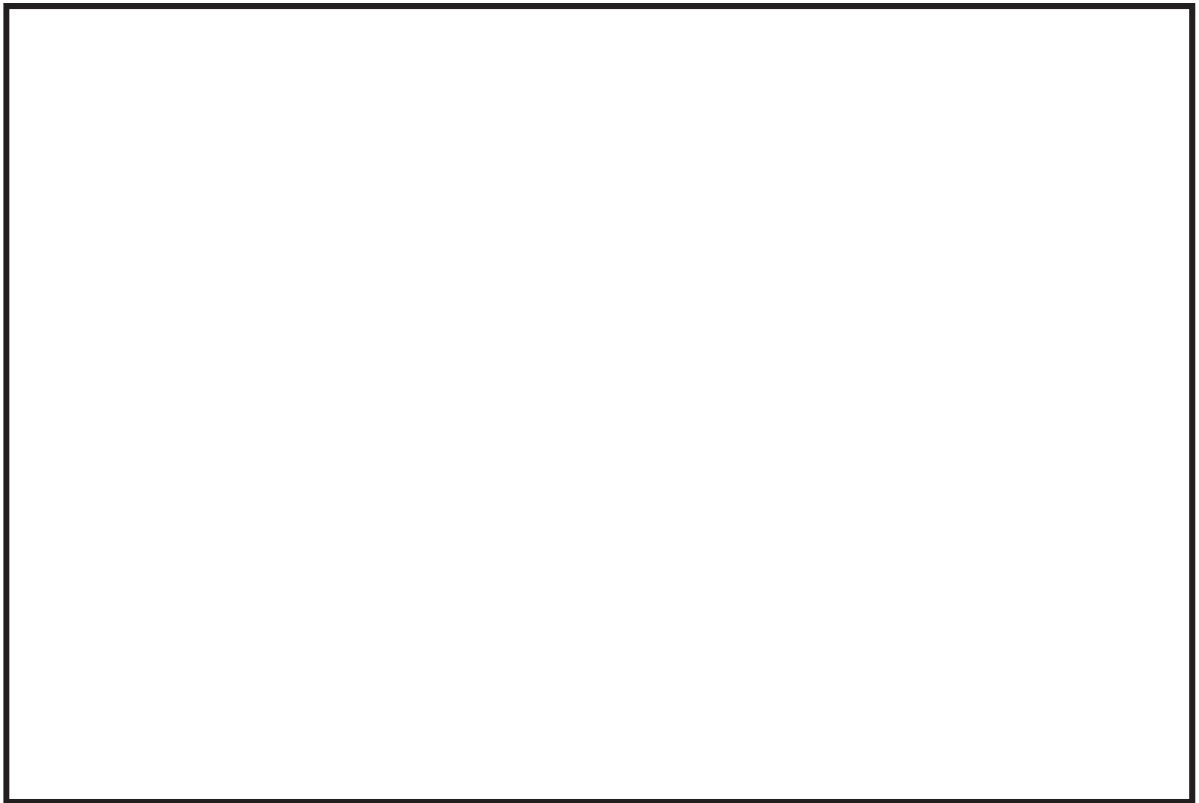


図6-8 設計用床応答曲線（鉛直方向，減衰2%）とクレーン固有周期
(クレーン本体ガーダ評価に影響が大きい鉛直方向モード) との重ね書き図

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.3 時刻歴波の時刻刻み±10%シフト

不確かさ検討用地震動のうち時刻刻み±10%シフトした例を図 6-9 に示す。

+10%シフトについては時刻歴波の時刻刻みを 1.1 倍，-10%シフトについては時刻刻みを 0.9 倍したものを用いている。なお，この時間シフトは，不確かさ検討用地震動の 3 方向全てに対して適用している。

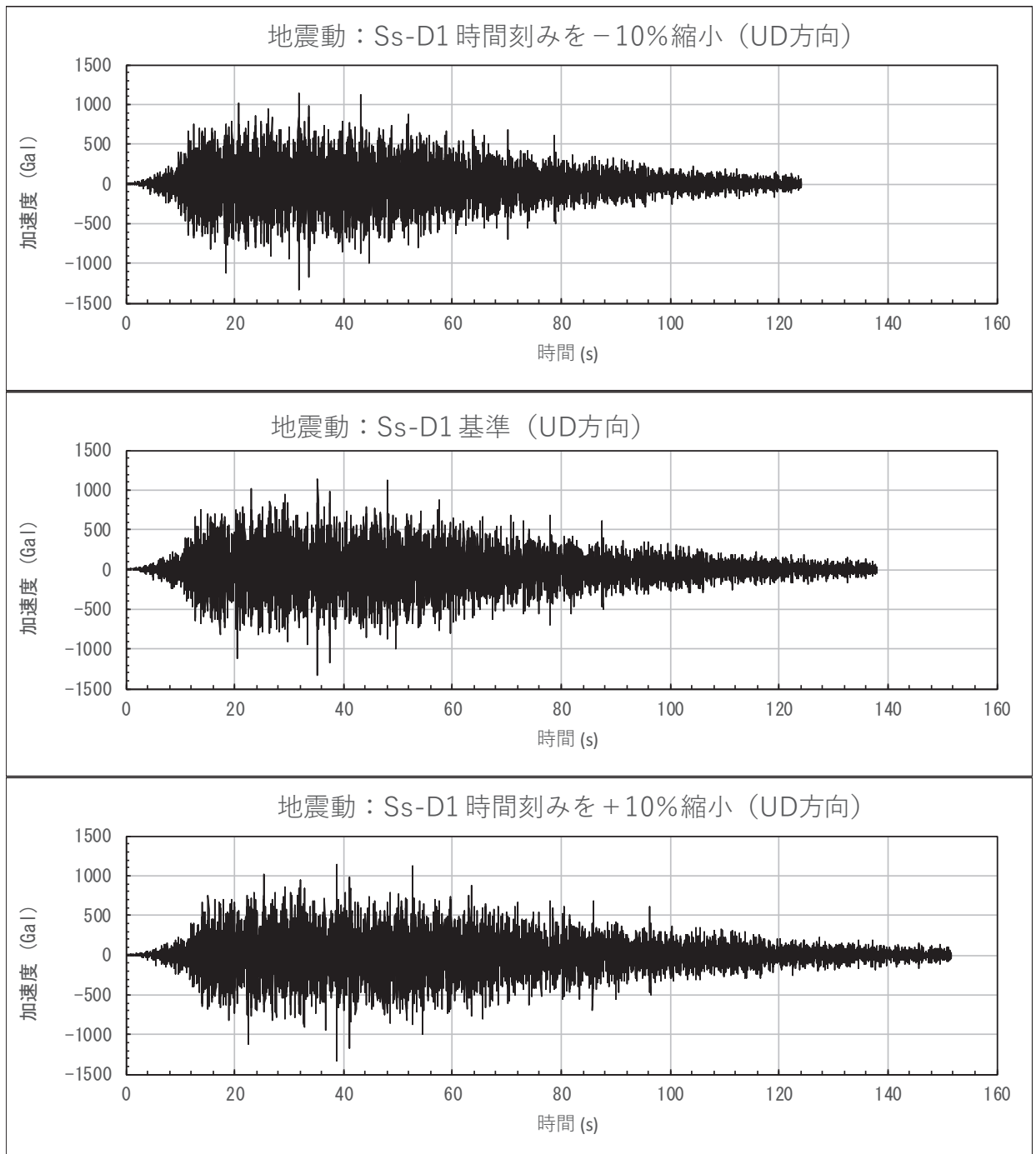


図 6-9 不確かさ検討用地震動の時刻歴波の時刻刻み±10%シフトの例

3.4 地震応答解析結果

3.2項で選定した不確かさ検討用地震動に対する地震応答解析結果を表6-2に示す。本表には裕度最小部位であるクレーン本体ガーダの最も厳しい応力分類である曲げ応力について整理している。

地震応答解析の結果，表6-2に示す通り，全ての解析ケースの発生応力は許容限界を満足しており，代表地震動のS_s-D1を+10%シフトした解析ケースの結果が最も大きな発生応力となっていることを確認した。

なお，海水ポンプ室門型クレーンは，車輪部を非線形要素により模擬しており，トロリやクレーン本体の浮き上がりによる非線形の影響が含まれるため，地震応答解析では複雑な挙動を示すことから，発生応力の大きさの傾向は必ずしも設計用床応答曲線と一致していないと考えられる。

以上より，地震応答解析における材料物性の不確かさ等を考慮した場合の耐震評価について問題のないことを確認した。

表 6-2 材料物性の不確かさ等を考慮した地震応答解析結果

解析ケース				応力 分類	発生応力 (MPa)	許容限界 (MPa)	選定 方法*1
トロリ 位置	吊荷	地震動	時間刻み シフト				
中央	有	S _s -D1	基準	曲げ 応力	240	280	(代表地震動)
			+10%シフト		263*2		3.1項の①
			-10%シフト		235		
		S _s -D2	基準		207		(代表地震動)
		S _s -F1	-7.9%シフト		221		
		S _s -F2	基準		238		3.1項の②

注記*1：3.1項に示す地震動選定の観点を示す

*2：添付書類「VI-2-11-2-1 海水ポンプ室門型クレーンの耐震性についての計算書」の記載値

4. 評価用地震動の選定結果

添付 5 で基準地震動 7 波より代表地震動を選定し、3 項で材料物性の不確かさ等を考慮したケースで評価する地震動を選定した。以上の検討結果を踏まえて、門型クレーンの耐震評価に適用する評価用地震動及びそれぞれの地震動に対する解析ケースを整理した内容を表 6-3 に示すとともに、各解析ケースの評価結果一覧を表 6-4 に示す。

表 6-4 に示す評価結果のうち、各評価部位及び応力分類で最も発生応力が大きくなるケース（赤字のケース）を、門型クレーンに厳しい評価結果として、添付書類「VI-2-11-2-1 海水ポンプ室門型クレーンの耐震性についての計算書」に代表で記載しているものである。

表 6-3 評価用地震動及び解析ケースの整理結果

No.	解析ケース				方向ごとに適用する節点位置		選定理由
	トロリ位置	吊荷	評価用地震動	時間刻みシフト	水平（横行方向）	鉛直方向	
1	剛脚側	有	S s - D 1	基準	2701	1708	代表地震動ケースとして評価
2			S s - D 2	基準	2701	2701	
3*		無	S s - D 1	基準	2701	1708	
4	中央	有	S s - D 1	基準	2701	1708	
5			S s - D 2	基準	2701	2701	
6*		無	S s - D 1	基準	2701	1708	
7	揺脚側	有	S s - D 1	基準	2701	1708	
8			S s - D 2	基準	2701	2701	
9*		無	S s - D 1	基準	2701	1708	
10	中央	有	S s - D 1	+10%シフト	2701	1708	不確かさ等を考慮したケースとして評価
11				-10%シフト	2701	1708	
12			S s - F 1	-7.9%シフト	2701	1708	
13			S s - F 2	基準	2701	1708	

注記* : No. 3, 6, 9については裕度最小部位のクレーン本体ガーダが最も厳しくなる S s - D 1 に対して吊荷無しの条件で評価を実施しているもの。

表6-4 門型クレーンの耐震評価結果一覧 (1/12)

a-1. クレーン本体ガーダ 曲げ応力

No.	解析ケース				発生値 (MPa)	許容限界 (MPa)	裕度
	トロリ 位置	吊荷	評価用 地震動	時間刻み シフト			
1	剛脚側	有	S s - D 1	基準	176	280	1.59
2			S s - D 2	基準	179		1.56
3		無	S s - D 1	基準	139		2.01
4	中央	有	S s - D 1	基準	240		1.16*1
5			S s - D 2	基準	207		1.35
6		無	S s - D 1	基準	160		1.75
7	揺脚側	有	S s - D 1	基準	185		1.51
8			S s - D 2	基準	160		1.75
9		無	S s - D 1	基準	145		1.93
10	中央	有	S s - D 1	+10%シフト	263		1.06*2
11				-10%シフト	235		1.19
12			S s - F 1	-7.9%シフト	221		1.26
13			S s - F 2	基準	238		1.17

注記*1：時間刻みシフト基準のケースのうち、裕度が最小となったもの。

*2：材料物性等の不確かさを考慮したケースを含む全評価ケースで裕度が最小となったもの。

a-2. クレーン本体ガーダ せん断応力

No.	解析ケース				発生値 (MPa)	許容限界 (MPa)	裕度
	トロリ 位置	吊荷	評価用 地震動	時間刻み シフト			
1	剛脚側	有	S s - D 1	基準	35	161	4.60
2			S s - D 2	基準	34		4.73
3		無	S s - D 1	基準	25		6.44
4	中央	有	S s - D 1	基準	30		5.36
5			S s - D 2	基準	26		6.19
6		無	S s - D 1	基準	17		9.47
7	揺脚側	有	S s - D 1	基準	53		3.03
8			S s - D 2	基準	45		3.57
9		無	S s - D 1	基準	27		5.96
10	中央	有	S s - D 1	+10%シフト	26		6.19
11				-10%シフト	26		6.19
12			S s - F 1	-7.9%シフト	30		5.36
13			S s - F 2	基準	25		6.44

表6-4 門型クレーンの耐震評価結果一覧 (2/12)

b-1. 剛脚 引張応力

No.	解析ケース				発生値 (MPa)	許容限界 (MPa)	裕度
	トロリ 位置	吊荷	評価用 地震動	時間刻み シフト			
1	剛脚側	有	S s - D 1	基準	6	280	46.6
2			S s - D 2	基準	8		35.0
3		無	S s - D 1	基準	7		40.0
4	中央	有	S s - D 1	基準	5		56.0
5			S s - D 2	基準	9		31.1
6		無	S s - D 1	基準	7		40.0
7	揺脚側	有	S s - D 1	基準	9		31.1
8			S s - D 2	基準	10		28.0
9		無	S s - D 1	基準	8		40.0
10	中央	有	S s - D 1	+10%シフト	5		56.0
11				-10%シフト	5		56.0
12			S s - F 1	-7.9%シフト	4		70.0
13			S s - F 2	基準	3		93.3

b-2. 剛脚 圧縮応力

No.	解析ケース				発生値 (MPa)	許容限界 (MPa)	裕度
	トロリ 位置	吊荷	評価用 地震動	時間刻み シフト			
1	剛脚側	有	S s - D 1	基準	85	262	3.08
2			S s - D 2	基準	83		3.15
3		無	S s - D 1	基準	50		5.24
4	中央	有	S s - D 1	基準	55		4.76
5			S s - D 2	基準	60		4.36
6		無	S s - D 1	基準	48		5.45
7	揺脚側	有	S s - D 1	基準	58		4.51
8			S s - D 2	基準	58		4.51
9		無	S s - D 1	基準	50		5.24
10	中央	有	S s - D 1	+10%シフト	50		5.24
11				-10%シフト	53		4.94
12			S s - F 1	-7.9%シフト	50		5.24
13			S s - F 2	基準	48		5.45

表6-4 門型クレーンの耐震評価結果一覧 (3/12)

b-3. 剛脚 曲げ応力

No.	解析ケース				発生値 (MPa)	許容限界 (MPa)	裕度
	トロリ 位置	吊荷	評価用 地震動	時間刻み シフト			
1	剛脚側	有	S s - D 1	基準	162	280	1.72
2			S s - D 2	基準	155		1.80
3		無	S s - D 1	基準	132		2.12
4	中央	有	S s - D 1	基準	181		1.54
5			S s - D 2	基準	180		1.55
6		無	S s - D 1	基準	142		1.97
7	揺脚側	有	S s - D 1	基準	172		1.62
8			S s - D 2	基準	161		1.73
9		無	S s - D 1	基準	143		1.95
10	中央	有	S s - D 1	+10%シフト	171		1.63
11				-10%シフト	150		1.86
12			S s - F 1	-7.9%シフト	166		1.68
13			S s - F 2	基準	131		2.13

b-4. 剛脚 組合せ応力

No.	解析ケース				発生値*	許容限界*	裕度
	トロリ 位置	吊荷	評価用 地震動	時間刻み シフト			
1	剛脚側	有	S s - D 1	基準	0.68	1	1.47
2			S s - D 2	基準	0.73		1.36
3		無	S s - D 1	基準	0.54		1.85
4	中央	有	S s - D 1	基準	0.70		1.42
5			S s - D 2	基準	0.69		1.44
6		無	S s - D 1	基準	0.54		1.85
7	揺脚側	有	S s - D 1	基準	0.62		1.61
8			S s - D 2	基準	0.65		1.53
9		無	S s - D 1	基準	0.55		1.81
10	中央	有	S s - D 1	+10%シフト	0.66		1.51
11				-10%シフト	0.61		1.63
12			S s - F 1	-7.9%シフト	0.66		1.51
13			S s - F 2	基準	0.51		1.96

注記* : 単位は無次元

表6-4 門型クレーンの耐震評価結果一覧 (4/12)

c-1. 揺脚 引張応力

No.	解析ケース				発生値 (MPa)	許容限界 (MPa)	裕度
	トロリ 位置	吊荷	評価用 地震動	時間刻み シフト			
1	剛脚側	有	S s - D 1	基準	13	280	21.5
2			S s - D 2	基準	11		25.4
3		無	S s - D 1	基準	12		23.3
4	中央	有	S s - D 1	基準	7		40.0
5			S s - D 2	基準	8		35.0
6		無	S s - D 1	基準	7		40.0
7	揺脚側	有	S s - D 1	基準	7		40.0
8			S s - D 2	基準	7		40.0
9		無	S s - D 1	基準	10		28.0
10	中央	有	S s - D 1	+10%シフト	6		46.6
11				-10%シフト	5		56.0
12			S s - F 1	-7.9%シフト	4		70.0
13			S s - F 2	基準	4		70.0

c-2. 揺脚 圧縮応力

No.	解析ケース				発生値 (MPa)	許容限界 (MPa)	裕度
	トロリ 位置	吊荷	評価用 地震動	時間刻み シフト			
1	剛脚側	有	S s - D 1	基準	74	209	2.82
2			S s - D 2	基準	69		3.02
3		無	S s - D 1	基準	67		3.11
4	中央	有	S s - D 1	基準	63		3.31
5			S s - D 2	基準	71		2.94
6		無	S s - D 1	基準	56		3.73
7	揺脚側	有	S s - D 1	基準	101		2.06
8			S s - D 2	基準	98		2.13
9		無	S s - D 1	基準	62		3.37
10	中央	有	S s - D 1	+10%シフト	70		2.98
11				-10%シフト	67		3.11
12			S s - F 1	-7.9%シフト	67		3.11
13			S s - F 2	基準	59		3.54

表6-4 門型クレーンの耐震評価結果一覧 (5/12)

c-3. 揺脚 曲げ応力

No.	解析ケース				発生値 (MPa)	許容限界 (MPa)	裕度
	トロリ 位置	吊荷	評価用 地震動	時間刻み シフト			
1	剛脚側	有	S s - D 1	基準	92	280	3.04
2			S s - D 2	基準	129		2.17
3		無	S s - D 1	基準	87		3.21
4	中央	有	S s - D 1	基準	117		2.39
5			S s - D 2	基準	150		1.86
6		無	S s - D 1	基準	95		2.94
7	揺脚側	有	S s - D 1	基準	122		2.29
8			S s - D 2	基準	126		2.22
9		無	S s - D 1	基準	96		2.91
10	中央	有	S s - D 1	+10%シフト	134		2.08
11				-10%シフト	93		3.01
12			S s - F 1	-7.9%シフト	108		2.59
13			S s - F 2	基準	109		2.56

c-4. 揺脚 組合せ応力

No.	解析ケース				発生値*	許容限界*	裕度
	トロリ 位置	吊荷	評価用 地震動	時間刻み シフト			
1	剛脚側	有	S s - D 1	基準	0.52	1	1.92
2			S s - D 2	基準	0.60		1.66
3		無	S s - D 1	基準	0.48		2.08
4	中央	有	S s - D 1	基準	0.61		1.63
5			S s - D 2	基準	0.71		1.40
6		無	S s - D 1	基準	0.48		2.08
7	揺脚側	有	S s - D 1	基準	0.75		1.33
8			S s - D 2	基準	0.84		1.19
9		無	S s - D 1	基準	0.48		2.08
10	中央	有	S s - D 1	+10%シフト	0.65		1.53
11				-10%シフト	0.61		1.63
12			S s - F 1	-7.9%シフト	0.68		1.47
13			S s - F 2	基準	0.55		1.81

注記* : 単位は無次元

表6-4 門型クレーンの耐震評価結果一覧 (6/12)

d-1. 連結構（剛脚側） 引張応力

No.	解析ケース				発生値 (MPa)	許容限界 (MPa)	裕度
	トロリ 位置	吊荷	評価用 地震動	時間刻み シフト			
1	剛脚側	有	S s - D 1	基準	20	280	14.0
2			S s - D 2	基準	15		18.6
3		無	S s - D 1	基準	15		18.6
4	中央	有	S s - D 1	基準	17		16.4
5			S s - D 2	基準	14		20.0
6		無	S s - D 1	基準	16		17.5
7	揺脚側	有	S s - D 1	基準	14		20.0
8			S s - D 2	基準	16		17.5
9		無	S s - D 1	基準	14		20.0
10	中央	有	S s - D 1	+10%シフト	15		18.6
11				-10%シフト	16		17.5
12			S s - F 1	-7.9%シフト	15		18.6
13			S s - F 2	基準	11		25.4

d-2. 連結構（剛脚側） 圧縮応力

No.	解析ケース				発生値 (MPa)	許容限界 (MPa)	裕度
	トロリ 位置	吊荷	評価用 地震動	時間刻み シフト			
1	剛脚側	有	S s - D 1	基準	8	249	31.1
2			S s - D 2	基準	8		31.1
3		無	S s - D 1	基準	8		31.1
4	中央	有	S s - D 1	基準	6		41.5
5			S s - D 2	基準	10		24.9
6		無	S s - D 1	基準	7		35.5
7	揺脚側	有	S s - D 1	基準	9		27.6
8			S s - D 2	基準	8		31.1
9		無	S s - D 1	基準	8		31.1
10	中央	有	S s - D 1	+10%シフト	6		41.5
11				-10%シフト	7		35.5
12			S s - F 1	-7.9%シフト	5		49.8
13			S s - F 2	基準	5		49.8

表6-4 門型クレーンの耐震評価結果一覧 (7/12)

d-3. 連結構（剛脚側） 曲げ応力

No.	解析ケース				発生値 (MPa)	許容限界 (MPa)	裕度
	トロリ 位置	吊荷	評価用 地震動	時間刻み シフト			
1	剛脚側	有	S s - D 1	基準	153	280	1.83
2			S s - D 2	基準	188		1.48
3		無	S s - D 1	基準	120		2.33
4	中央	有	S s - D 1	基準	145		1.93
5			S s - D 2	基準	195		1.43
6		無	S s - D 1	基準	121		2.31
7	揺脚側	有	S s - D 1	基準	140		2.00
8			S s - D 2	基準	199		1.40
9		無	S s - D 1	基準	106		2.64
10	中央	有	S s - D 1	+10%シフト	112		2.50
11				-10%シフト	118		2.37
12			S s - F 1	-7.9%シフト	102		2.74
13			S s - F 2	基準	109		2.56

d-4. 連結構（剛脚側） 組合せ応力

No.	解析ケース				発生値*	許容限界*	裕度
	トロリ 位置	吊荷	評価用 地震動	時間刻み シフト			
1	剛脚側	有	S s - D 1	基準	0.58	1	1.72
2			S s - D 2	基準	0.70		1.42
3		無	S s - D 1	基準	0.44		2.27
4	中央	有	S s - D 1	基準	0.53		1.88
5			S s - D 2	基準	0.71		1.40
6		無	S s - D 1	基準	0.45		2.22
7	揺脚側	有	S s - D 1	基準	0.52		1.92
8			S s - D 2	基準	0.71		1.40
9		無	S s - D 1	基準	0.40		2.50
10	中央	有	S s - D 1	+10%シフト	0.42		2.38
11				-10%シフト	0.44		2.27
12			S s - F 1	-7.9%シフト	0.38		2.63
13			S s - F 2	基準	0.40		2.50

注記*：単位は無次元

表6-4 門型クレーンの耐震評価結果一覧 (8/12)

e-1. 連結構（揺脚側） 引張応力

No.	解析ケース				発生値 (MPa)	許容限界 (MPa)	裕度
	トロリ 位置	吊荷	評価用 地震動	時間刻み シフト			
1	剛脚側	有	S s - D 1	基準	21	280	13.3
2			S s - D 2	基準	18		15.5
3		無	S s - D 1	基準	18		15.5
4	中央	有	S s - D 1	基準	14		20.0
5			S s - D 2	基準	14		20.0
6		無	S s - D 1	基準	14		20.0
7	揺脚側	有	S s - D 1	基準	21		13.3
8			S s - D 2	基準	20		14.0
9		無	S s - D 1	基準	15		18.6
10	中央	有	S s - D 1	+10%シフト	13		21.5
11				-10%シフト	15		18.6
12			S s - F 1	-7.9%シフト	18		15.5
13			S s - F 2	基準	18		15.5

e-2. 連結構（揺脚側） 圧縮応力

No.	解析ケース				発生値 (MPa)	許容限界 (MPa)	裕度
	トロリ 位置	吊荷	評価用 地震動	時間刻み シフト			
1	剛脚側	有	S s - D 1	基準	12	245	20.4
2			S s - D 2	基準	10		24.5
3		無	S s - D 1	基準	9		27.2
4	中央	有	S s - D 1	基準	7		35.0
5			S s - D 2	基準	13		18.8
6		無	S s - D 1	基準	8		30.6
7	揺脚側	有	S s - D 1	基準	11		22.2
8			S s - D 2	基準	11		22.2
9		無	S s - D 1	基準	9		27.2
10	中央	有	S s - D 1	+10%シフト	9		27.2
11				-10%シフト	9		27.2
12			S s - F 1	-7.9%シフト	7		35.0
13			S s - F 2	基準	7		35.0

表6-4 門型クレーンの耐震評価結果一覧 (9/12)

e-3. 連結構（揺脚側） 曲げ応力

No.	解析ケース				発生値 (MPa)	許容限界 (MPa)	裕度
	トロリ 位置	吊荷	評価用 地震動	時間刻み シフト			
1	剛脚側	有	S s - D 1	基準	116	280	2.41
2			S s - D 2	基準	132		2.12
3		無	S s - D 1	基準	113		2.47
4	中央	有	S s - D 1	基準	113		2.47
5			S s - D 2	基準	156		1.79
6		無	S s - D 1	基準	94		2.97
7	揺脚側	有	S s - D 1	基準	113		2.47
8			S s - D 2	基準	139		2.01
9		無	S s - D 1	基準	104		2.69
10	中央	有	S s - D 1	+10%シフト	131		2.13
11				-10%シフト	131		2.13
12			S s - F 1	-7.9%シフト	100		2.80
13			S s - F 2	基準	115		2.43

e-4. 連結構（揺脚側） 組合せ応力

No.	解析ケース				発生値*	許容限界*	裕度
	トロリ 位置	吊荷	評価用 地震動	時間刻み シフト			
1	剛脚側	有	S s - D 1	基準	0.44	1	2.27
2			S s - D 2	基準	0.50		2.00
3		無	S s - D 1	基準	0.43		2.32
4	中央	有	S s - D 1	基準	0.43		2.32
5			S s - D 2	基準	0.61		1.63
6		無	S s - D 1	基準	0.36		2.77
7	揺脚側	有	S s - D 1	基準	0.44		2.27
8			S s - D 2	基準	0.53		1.88
9		無	S s - D 1	基準	0.38		2.63
10	中央	有	S s - D 1	+10%シフト	0.50		2.00
11				-10%シフト	0.49		2.04
12			S s - F 1	-7.9%シフト	0.38		2.63
13			S s - F 2	基準	0.43		2.32

注記*：単位は無次元

表6-4 門型クレーンの耐震評価結果一覧 (10/12)

f. 脱輪防止装置*

No.	解析ケース				車輪荷重 (kN)
	トロリ 位置	吊荷	評価用 地震動	時刻 シフト	
1	剛脚側	有	S s - D 1	基準	1012
2			S s - D 2	基準	944
3		無	S s - D 1	基準	771
4	中央	有	S s - D 1	基準	1088
5			S s - D 2	基準	1036
6		無	S s - D 1	基準	844
7	揺脚側	有	S s - D 1	基準	947
8			S s - D 2	基準	905
9		無	S s - D 1	基準	729
10	中央	有	S s - D 1	+10%シフト	912
11				-10%シフト	908
12			S s - F 1	-7.9%シフト	727
13			S s - F 2	基準	720

注記*：脱輪防止装置については解析で算出される最大車輪荷重に対して応力評価を実施しているため、地震動ごとの比較は車輪荷重で示す。なお、「VI-2-11-2-1 海水ポンプ室門型クレーンの耐震性に関する計算書」に示すとおり、最も評価の厳しい脱輪防止装置においても裕度2.01の余裕を有している。

表6-4 門型クレーンの耐震評価結果一覧 (11/12)

g. クレーン本体 浮上り量

No.	解析ケース				発生値 (mm)	許容限界 (mm)	裕度
	トロリ 位置	吊荷	評価用 地震動	時間刻み シフト			
1	剛脚側	有	S s - D 1	基準	16	75	4.68
2			S s - D 2	基準	17		4.41
3		無	S s - D 1	基準	11		6.81
4	中央	有	S s - D 1	基準	6		12.5
5			S s - D 2	基準	11		6.81
6		無	S s - D 1	基準	13		5.76
7	揺脚側	有	S s - D 1	基準	12		6.25
8			S s - D 2	基準	11		6.81
9		無	S s - D 1	基準	11		6.81
10	中央	有	S s - D 1	+10%シフト	12		6.25
11				-10%シフト	5		15.0
12			S s - F 1	-7.9%シフト	15		5.00
13			S s - F 2	基準	6		12.5

h. トロリ 浮上り量

No.	解析ケース				発生値 (mm)	許容限界 (mm)	裕度
	トロリ 位置	吊荷	評価用 地震動	時間刻み シフト			
1	剛脚側	有	S s - D 1	基準	13	170	13.0
2			S s - D 2	基準	11		15.4
3		無	S s - D 1	基準	14		12.1
4	中央	有	S s - D 1	基準	35		4.85
5			S s - D 2	基準	10		17.0
6		無	S s - D 1	基準	27		6.29
7	揺脚側	有	S s - D 1	基準	14		12.1
8			S s - D 2	基準	12		14.1
9		無	S s - D 1	基準	27		6.29
10	中央	有	S s - D 1	+10%シフト	24		7.08
11				-10%シフト	21		8.09
12			S s - F 1	-7.9%シフト	33		5.15
13			S s - F 2	基準	15		11.3

表6-4 門型クレーンの耐震評価結果一覧 (12/12)

i. 吊具

No.	解析ケース				発生荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	裕度
	トロリ 位置	吊荷	評価用 地震動	時刻刻み シフト			
1	剛脚側	有	S s - D 1	基準	3364	6396*	1.90
2			S s - D 2	基準	2779		2.30
3		無	S s - D 1	基準	763		8.38
4	中央	有	S s - D 1	基準	4207		1.52
5			S s - D 2	基準	3120		2.05
6		無	S s - D 1	基準	717		8.92
7	揺脚側	有	S s - D 1	基準	3317		1.92
8			S s - D 2	基準	3478		1.83
9		無	S s - D 1	基準	719		8.89
10	中央	有	S s - D 1	+10%シフト	3937		1.62
11				-10%シフト	3250		1.96
12			S s - F 1	-7.9%シフト	3365		1.90
13			S s - F 2	基準	3844		1.66

注記* : 評価対象部位はワイヤロープとフックであり許容荷重が異なることから許容荷重のより低いワイヤロープの許容荷重を記載する。

ワイヤロープの長さや吊荷の速度変化及び発生荷重との関係

1. 目的

解析では、運用上可能な範囲でワイヤロープの長さを短くして、モデル化している。

ワイヤロープの長さを短くすれば、固有周期が短くなるため吊荷の速度変化が大きくなり、ワイヤロープ及びフックの評価において、発生荷重が大きくなる。

解析モデルの妥当性の観点から、「ワイヤロープの長さが短くなれば固有周期が短くなる理由」と「吊荷の速度変化が大きくなると発生荷重が大きくなる理由」について述べる。

2. ワイヤロープの長さを短くすれば固有周期が短くなる理由

吊荷とワイヤの系による発生荷重を検討する際に、ワイヤをばねとみなした一自由度の質量-ばね振動系を考える。

ここで固有周期は、ワイヤの長さ方向の伸縮運動の周期になり、質量-ばね系として、固有周期はワイヤのばね定数 k と質量 m に依存し、固有周期 T は、以下のとおりとなる。

$$T = 2\pi\sqrt{m/k}$$

ばね定数 k は、ばね（ここではワイヤ）の長さに依存し、

$$k = E \cdot A/L$$

これより、

$$T = 2\pi\sqrt{m \cdot L/(E \cdot A)}$$

表7-1 計算諸元

項目		単位	数値
質量（吊荷定格＋フック）	m	kg	
ワイヤの縦弾性係数	E	N/mm ²	
ワイヤの断面積	A	mm ²	
ワイヤの長さ	L	mm	

したがって、ワイヤ長さ L を短くすれば、固有周期 T は短くなる。

なお、上記式により算定される固有周期は、となる。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

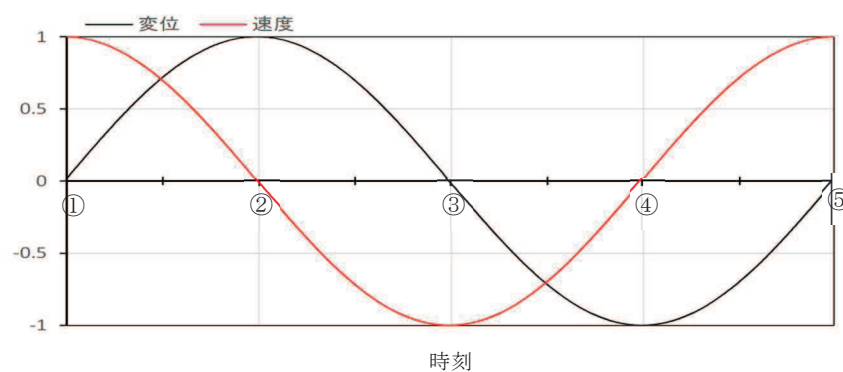
3. 吊荷の速度変化（単位時間当たり）が大きくなると発生荷重が大きくなる理由

ワイヤをばねとみなした場合の質量-ばね系の一自由度振動系において、変位波形は、正弦波となる。

時刻が、固有周期の（①時刻 0）→（②1/4 周期）→（③半周期）→（④3/4 周期）→（⑤ 1 周期）にあたる点において、

変位は、初期位置（①時刻 0）→最上点（②1/4 周期）→初期位置（③半周期）→最下点（④3/4 周期）→初期位置（⑤ 1 周期）を繰り返すことになり、

速度は、上向き最大（①時刻 0）→速度 0（②1/4 周期）→下向き最大（③半周期）→速度 0（④3/4 周期）→上向き最大（⑤ 1 周期）を繰り返すこととなる。



発生荷重は、吊荷の質量に、時間当たりの吊荷の速度変化（加速度）を乗じたものとなる。また、加速度 α （=時間当たりの吊荷の速度変化）は、（③半周期）から（④ 3/4 周期）の間（=0.25T）で、下向き最大速度 V_{max} が、速度0 に減速していることから、

$$\alpha = (V_{max}-0) / (0.25T)$$

となる。

つまり、時間当たりの吊荷の速度変化は、固有周期の大きさに反比例する。したがって、固有周期が短くなると、時間当たりの吊荷の速度変化（加速度）が大きくなり、発生荷重が大きくなる。

地震応答解析においても「ワイヤロープの長さは、短くすれば固有周期が短くなり、吊荷の速度変化が大きくなることから、発生荷重が大きくなる。」

地震応答解析においてクレーンのワイヤロープは非線形トラスでモデル化しており、引張方向に荷重が作用する場合のみ引張ばねとして作用するよう設定し、圧縮方向の荷重を受けないよう設定している。

ここで、ワイヤロープは解析では非線形要素として扱っているが、引張り側には線形ばねとして扱われる。このばねが初期位置（③）から引張りを受けて、最下点（④）に到達し、初期位置に戻るまで（上図では③→⑤までの 1/2周期）は、線形ばねの挙動を示す。なお、その後の初期位置（⑤）→最上点（②）→初期位置（③）への挙動は、ばねの振動周期とは異なる。

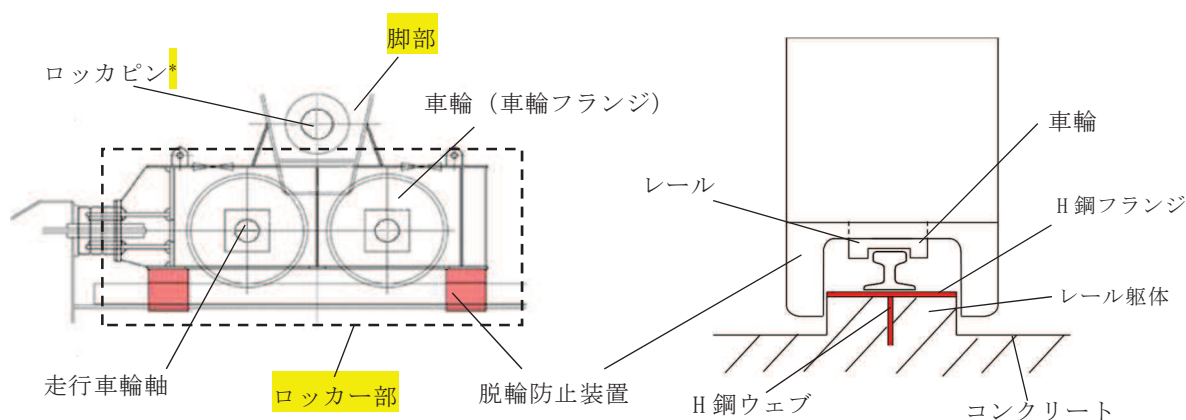
荷重を発生させる加速度は、初期位置（③）から、最下点（④）に到達するまでの 1/4周期期間中の速度変化であるため、地震応答解析であっても、同様の説明になる。

地震時の本体車輪部及び脱輪防止装置が衝突するレール躯体の評価

1. はじめに

門型クレーンに地震力が作用した際は、まず走行車輪とレールが接触し、さらには車輪がレールに乗り上げて脱輪防止装置がレール躯体に衝突する挙動が考えられる。門型クレーンは構造強度部材である脱輪防止装置が健全であることでレールからの脱輪による転倒もしくは落下を生じない構造であることを確認しているが、地震時に本体車輪部各部位及び脱輪防止装置が衝突するレール躯体に発生する応力について評価を行った。

図 8-1 に本体車輪部及びレール躯体周りの概要図を示す。



注記* : ロッカー部（車輪周りの構造物一体）と脚部を接続するピン部材

図 8-1 本体車輪部及びレール躯体周りの概要図

2. 本体車輪部及び脱輪防止装置が衝突するレール躯体の応力評価

2.1 構造材料及び許容応力

本体車輪部及び脱輪防止装置が衝突するレール躯体の材料及び許容応力を表 8-1 に示す。

表 8-1 材料及び許容応力

構造部材	材料	Sy (MPa)	Su (MPa)	許容応力 (MPa)			
				曲げ	せん断	圧縮	組合せ
車輪フランジ				539	311	—	539
走行車輪軸				686	396	—	686
ロッカピン				686	396	—	686
脱線防止装置 が衝突するレール躯体				—	161	280	—

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.2 本体車輪部の応力評価

(1) 車輪フランジの応力評価

図 8-2 の計算モデルに基づき、車輪フランジに加わる曲げ応力およびせん断応力を算出し、応力評価にて車輪フランジへの影響を評価する。表 8-1 に計算諸元を示す。

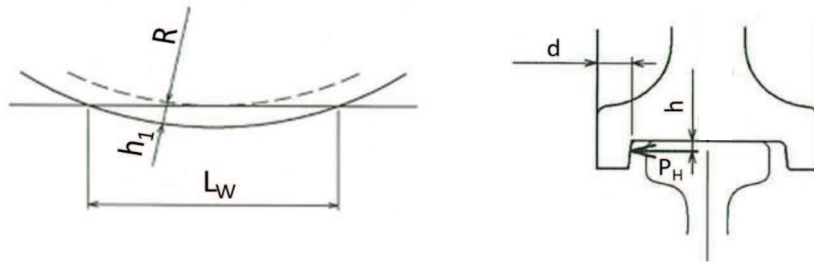


図 8-2 計算モデル（車輪フランジ）

表 8-2 計算諸元（車輪フランジ）

項目		単位	数値
車輪フランジ半径	R	mm	
フランジ深さ	h_1	mm	
フランジ厚さ	d	mm	
アーム長さ	h	mm	
水平力	P_H	kN	
車輪フランジの断面積	A_w	mm ²	
車輪フランジの断面係数	Z_w	mm ³	

車輪フランジの受け長さ： L_w

$$L_w = 2 \times \sqrt{(R + h_1)^2 - R^2}$$

車輪フランジの断面積： A_w

$$A_w = 2 d \cdot L_w$$

車輪フランジの断面係数： Z_w

$$Z_w = \frac{L_w \cdot d^2}{6}$$

車輪フランジ曲げ応力： σ_b

$$\sigma_b = \frac{P_H \cdot h}{Z_w}$$

車輪フランジせん断応力： τ

$$\tau = \frac{P_H}{A_W}$$

車輪フランジ組合せ応力： σ

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau^2}$$

(2) 走行車輪軸の応力評価

図 8-3 の計算モデルに基づき，走行車輪軸に加わる曲げ応力およびせん断応力を算出し，応力評価にて走行車輪軸への影響を評価する。表 8-3 に計算諸元を示す。

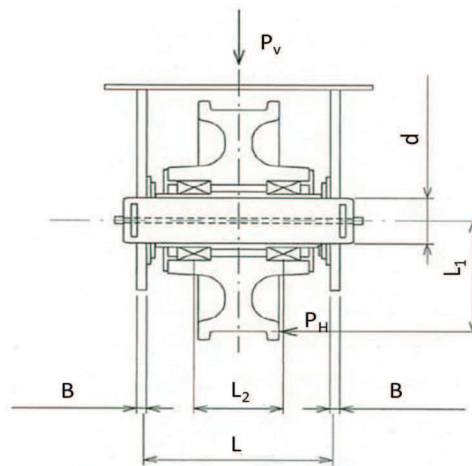


図 8-3 計算モデル（走行車輪軸）

表 8-3 計算諸元（走行車輪軸）

項目		単位	数値
ロッカーウェブ間長さ	L	mm	
アーム長さ	L_1	mm	
車輪軸受間長さ	L_2	mm	
走行車輪軸直径	d	mm	
ロッカーウェブ厚さ	B	mm	
水平力	P_H	kN	
鉛直力	P_V	kN	
走行車輪軸の断面積	A	mm ³	
走行車輪軸の断面係数	Z	mm ⁴	

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

走行車輪軸の断面積：A

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

走行車輪軸の断面係数：Z

$$Z = \frac{\pi d^3}{32}$$

走行車輪軸の曲げ応力： σ_b

$$\sigma_b = \frac{\left(\frac{P_v}{2} + P_H \frac{L_1}{L} \right) \frac{L - L_2}{2}}{Z}$$

走行車輪軸のせん断応力： τ

$$\tau = \frac{\frac{P_v}{2} + P_H \frac{L_1}{L}}{A}$$

走行車輪軸の組合せ応力： σ

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau^2}$$

(3) ロッカピンの応力評価

図 8-4 の計算モデルに基づき、ロッカピンに加わる曲げ応力およびせん断応力を算出し、応力評価にてロッカピンへの影響を評価する。表 8-4 に計算諸元を示す。

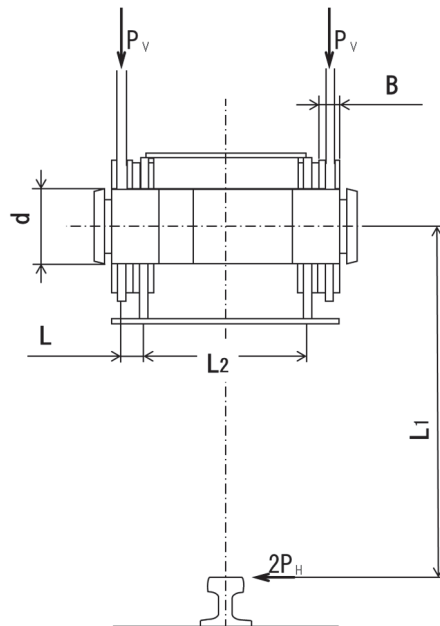


図 8-4 計算モデル (ロッカピン)

表 8-4 計算諸元 (ロッカピン)

項目		単位	数値
脚とロッカーのウェブ間長さ	L	mm	
アーム長さ	L ₁	mm	
ロッカーウェブ間長さ	L ₂	mm	
ロッカピン直径	d	mm	
脚 (ロッカピン接続部) のウェブ厚さ	B	mm	
水平力	P _H	kN	
鉛直力	P _V	kN	
ロッカピンの断面積	A	mm ³	
ロッカピンの断面係数	Z	mm ⁴	

ロッカピンの断面積：A

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

ロッカピンの断面係数：Z

$$Z = \frac{\pi d^3}{32}$$

ロッカピンの曲げ応力：σ_b

$$\sigma_b = \frac{(P_v + W_H \frac{L_1}{L_2})L}{Z}$$

ロッカピンのせん断応力：τ

$$\tau = \frac{P_v + W_H \frac{L_1}{L_2}}{A}$$

ロッカピンの組合せ応力：σ

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau^2}$$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.3 本体車輪部の評価結果

表 8-5 に本体車輪部各部の評価結果を示す。

評価の結果、各部における発生応力値が許容値以下であることを確認した。

表 8-5 本体車輪部評価結果

評価部位		材質	評価項目	発生値*1 (MPa)	許容値 (MPa)	裕度
本体車輪部	車輪フランジ		曲げ	191	539	2.82
			せん断	90	311	3.45
			組合せ	245	539	2.20
	走行車輪軸		曲げ	281	686	2.44
			せん断	54	396	7.33
			組合せ	296	686	2.31
	ロッカピン		曲げ	258	686	2.65
			せん断	103	396	3.84
			組合せ	313	686	2.19

注記*1：添付 6 の 4 項に示す解析ケースにおいて最も評価が厳しいケースの値

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

2.3 脱線防止装置が衝突するレール躯体の応力評価

図 8-5 の計算モデルに基づき、脱輪防止装置衝突部レール躯体（H鋼）に加わる圧縮応力およびせん断応力を算出し、応力評価にて脱輪防止装置衝突部レール躯体への影響を評価する。表 8-6 に計算諸元を示す。

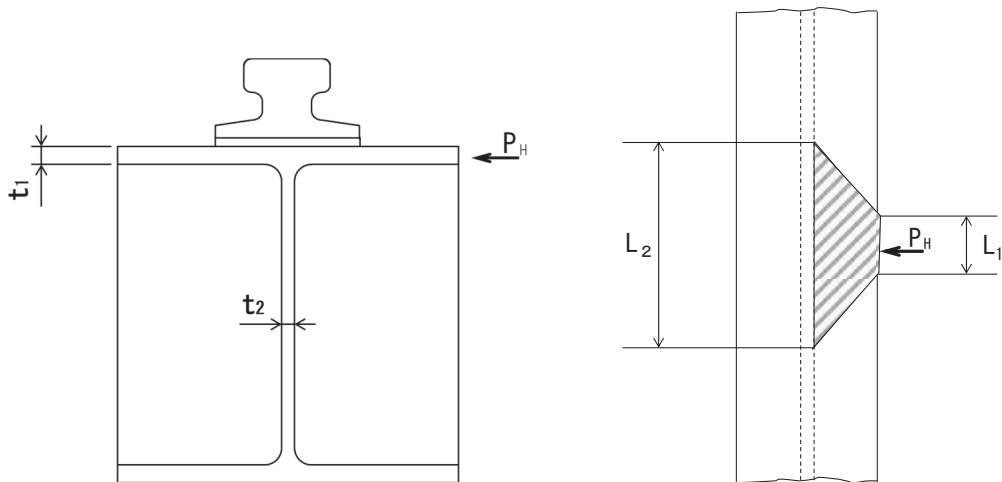


図 8-6 計算モデル（脱輪防止装置衝突部レール躯体）

表 8-5 計算諸元（脱輪防止装置衝突部レール躯体（H鋼））

項目		単位	数値
躯体H鋼フランジ幅	t_1	mm	
躯体H鋼ウェブ幅	t_2	mm	
躯体H鋼フランジ水平力作用幅	L_1	mm	
躯体H鋼ウェブ水平力作用幅	L_2	mm	
水平力	P_H	kN	

躯体H鋼フランジ部の圧縮応力： σ

$$\sigma = \frac{P_H}{L_1 \cdot t_1}$$

躯体H鋼ウェブ部のせん断応力： τ

$$\tau = \frac{P_H}{L_2 \cdot t_2}$$

枠囲みの内容は商業機密を含むため公開できません。

2.4 脱輪防止装置が衝突するレール躯体の評価結果

表 8-6 に脱輪防止装置が衝突するレール躯体の評価結果を示す。

レール躯体は、H鋼とコンクリートで構成されており、脱輪防止装置衝突時にはH鋼とコンクリート両者に荷重が作用するが、保守的にレール躯体上部のH鋼フランジ端部のみに荷重が作用するものとして、H鋼のフランジとウェブの境界部のせん断、H鋼フランジの面内の圧縮の評価を行った。

評価の結果、発生応力値が許容値以下であることを確認した。

表 8-6 レール躯体評価結果

評価部位	材質	評価項目	発生値*1 (MPa)	許容値 (MPa)	裕度
脱輪防止装置 衝突部レール躯体		圧縮	73	280	3.83
		せん断	56	161	2.87

注記*1：添付 6 の 4 項に示す解析ケースにおいて最も評価が厳しいケースの値

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

主巻ワイヤのブレーキ制動力

1. 目的

海水ポンプ室門型クレーンの主巻ワイヤのブレーキ制動力の評価を行い，地震時のすべりによる影響評価を行う。

2. ブレーキ制動力の評価

主巻ワイヤのブレーキによる制動力の評価結果を表9-1に示す。基準地震動 S_s によりワイヤに発生する荷重は，許容荷重であるブレーキ制動力（吊荷を保持している力）を下回り，吊荷はすべらないことを確認した。

表9-1 海水ポンプ室門型クレーンの主巻ワイヤのブレーキ制動力の評価結果

基準地震動 S_s によりワイヤに発生する荷重	主巻ワイヤのブレーキ制動力（許容荷重）
$4.207 \times 10^6 \text{ N}$	$5.149 \times 10^6 \text{ N}$

【算定条件】

(1)ワイヤに発生する荷重 $4.207 \times 10^6 \text{ N}$

（基準地震動 S_s による地震応答解析結果）

(2)ブレーキ制動力の算定

ブレーキ制動力の算定に用いる計算条件を表9-2に，ブレーキ機構概要図を図9-1に示す。

表9-2 ブレーキ制動力の計算条件

項目		単位	数値	備考
ドラム径	D	mm		
定格質量	m_L	kg		
フック質量	m_H	kg		
ロープ掛数	N	本		
ドラムの巻取本数	N'	本		
ブレーキ台数	n	個		
ブレーキ容量	T_B	N・mm		
重力加速度	g	m/s^2		
シーブ効率	η	—		
減速機減速比	i	—		
ロープ荷重	F	N		$(m_L+m_H)g/(N\eta)$
負荷トルク	T	N・mm		$N' F \cdot (D/2 \cdot i)$
安全率	S	—		$n T_B / T$
許容荷重	—	N		5.149×10^6

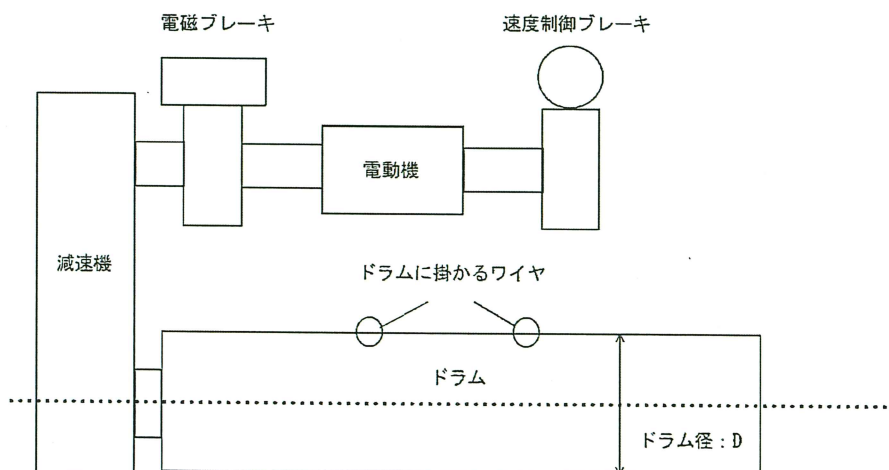


図9-1 ブレーキ機構概要図

枠囲みの内容は商業機密を含むため公開できません。

側面の接触による摩擦力の影響

1. 目的

門型クレーンの評価においては、「各方向地震力の非同時性を考慮することにより側面摩擦を考慮しない」ことについて、側面の接触による摩擦力の影響を評価し、クレーン本体ガーダの曲げ応力への影響を確認した。

2. 算定条件

2.1 検討対象部位

側面摩擦の影響確認においては、直接的に影響を受けるのは脚部や車輪部であるが、クレーン本体ガーダについても脚部からの荷重伝達により間接的に影響を受けると考えられるため、工事計画認可申請書評価部位のうち発生応力が大きく、裕度の小さい「クレーン本体ガーダの曲げ応力」に着目し、検討する。

2.2 検討対象ケース

門型クレーンに水平力が加わった際、図10-1に示す寸法関係より、脱輪防止装置が躯体に接触するよりも先に車輪つばとレール側面が接触する。このため、「車輪つばとレール側面が接触する場合」を側面接触による摩擦力の影響を検討するケースとして選定する。

また、車輪が走行レールに乗り上げた場合には、脱輪防止装置とレール躯体が接触することから「脱輪防止装置とレール躯体が接触する場合」についても検討を行う。

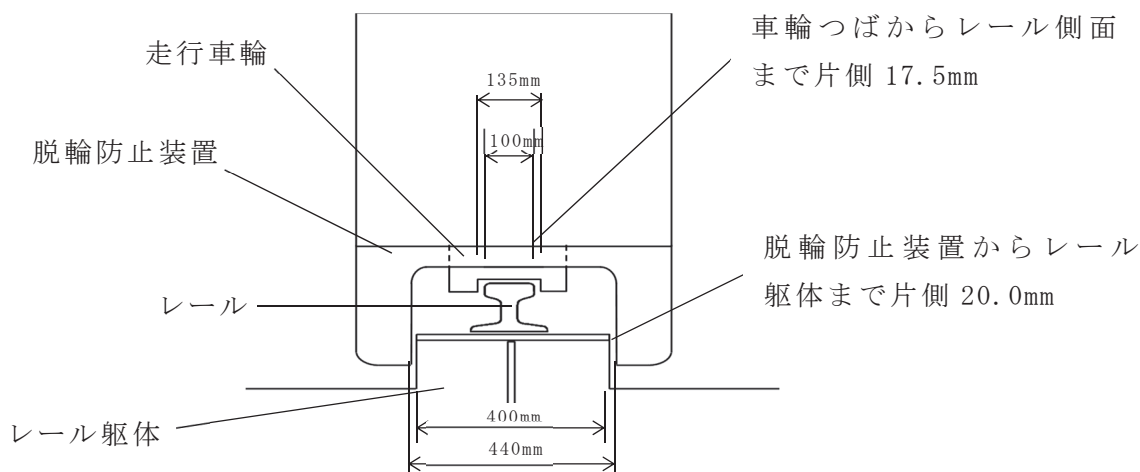


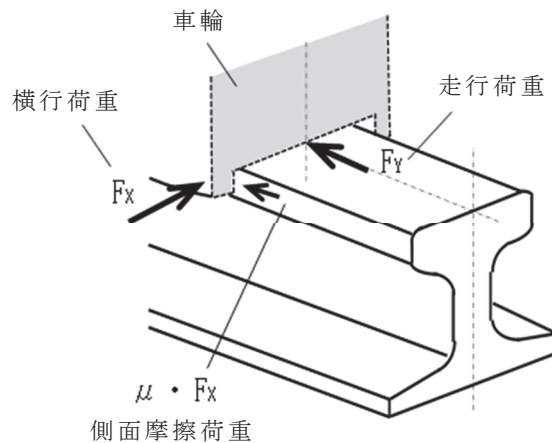
図10-1 走行車輪と脱輪防止装置の隙間関係

2.3 影響試算方法

a. 車輪つばとレール側面が接触する場合

図10-2に示すとおり，横行荷重から側面摩擦の荷重を試算し，側面摩擦による走行荷重の増加分をクレーン本体ガーダ応力に考慮した評価を行う。

なお，側面摩擦を考慮した場合のクレーン本体ガーダ応力は走行荷重（摩擦あり）と走行荷重（摩擦なし）の比率を基に算出する。



$$F_X =$$

$$F_Y =$$

$$\mu = 0.15$$

$$\text{走行荷重（摩擦あり）} = F_Y + \mu \cdot F_X$$

車輪つばとレール側面の接触時

の摩擦係数は走行車輪の数と駆動輪の数の

関係から $\mu = 0.3 \times 4/8 = 0.15$ で評価

水平曲げモーメントによる曲げ応力： σ_{Hq}

鉛直曲げモーメントによる曲げ応力： σ_{Vq}

クレーン本体ガーダに発生する曲げ応力（摩擦なし）： $\sigma_{bg} = \sigma_{Hq} + \sigma_{Vq}$

クレーン本体ガーダに発生する曲げ応力（摩擦あり）： $\sigma_{bg'} = (F_Y + \mu \cdot F_X) / F_Y \times \sigma_{Hq} + \sigma_{Vq}$

図10-2 側面摩擦の影響試算（車輪つばとレール側面が接触する場合）

b. 脱輪防止装置とレール躯体が接触する場合

図 10-3 に示すとおり，横行荷重から側面摩擦の荷重を試算し，側面摩擦による走行荷重の増加分をクレーン本体ガーダ応力に考慮した評価を行う。

なお，側面摩擦を考慮した場合のクレーン本体ガーダ応力は走行荷重（摩擦あり）と走行荷重（摩擦なし）の比率を基に算出する。



$$\text{走行荷重（摩擦あり）} = F_Y + \mu \cdot F_X$$

脱輪防止装置とレール躯体の接触時

の摩擦係数は $\mu = 0.3$ で評価

$$F_X =$$

$$F_Y =$$

$$\mu = 0.3$$

水平曲げモーメントによる曲げ応力： σ_{H_g}

鉛直曲げモーメントによる曲げ応力： σ_{V_g}

クレーン本体ガーダに発生する曲げ応力（摩擦なし）： $\sigma_{bg} = \sigma_{H_g} + \sigma_{V_g}$

クレーン本体ガーダに発生する曲げ応力（摩擦あり）： $\sigma_{bg'} = (F_Y + \mu \cdot F_X) / F_Y \times \sigma_{H_g} + \sigma_{V_g}$

図 10-3 側面摩擦の影響試算（脱輪防止装置とレール躯体が接触する場合）

枠囲みの内容は商業機密を含むため公開できません。

3. 影響検討結果

側面の接触による摩擦力がクレーン本体ガーダの評価に及ぼす影響について、確認結果を表10-1に示す。

「車輪つばとレール側面が接触する場合」及び「脱輪防止装置とレール躯体が接触する場合」のどちらのケースにおいてもクレーン本体ガーダの曲げ応力は許容応力以下であることを確認した。

表10-1 側面摩擦の影響確認結果

検討ケース	側面摩擦 有無	クレーン本体ガーダの曲げ応力 (MPa)	
		発生値	許容値
側面摩擦なし		263	280
車輪つばとレール側面が 接触する場合	側面摩擦あり	266	
脱輪防止装置とレール躯体 が接触する場合	側面摩擦あり	270	

海水ポンプ室門型クレーンの地震時におけるストッパへの影響

1. 目的

海水ポンプ室門型クレーン（以下「門型クレーン」という。）が地震により走行方向にすべり、脱線を防止するために設置された走行ストッパへ衝突した際の影響を評価する。また、同様にトロリが地震により横行方向にすべり、脱線を防止するために設置された横行ストッパへ接触した際の影響を評価する。

2. 走行ストッパへの影響評価

2.1 評価対象

門型クレーンの走行レール端部にはクレーン通常待機位置及び補機ポンプエリア側にそれぞれ2つの走行ストッパが設置されている。添付資料1の1項に記載のとおり、門型クレーンは通常待機位置において、周辺の上位クラス施設とは十分な離隔距離があり、波及的影響を及ぼすおそれはないことから、補機ポンプエリア側の走行ストッパを対象として影響評価を実施する。

走行ストッパの位置関係図を図 11-1 に示す。



図 11-1 走行ストッパの位置関係図

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

2.2 評価方針及び評価条件

門型クレーンの走行車輪部にはストッパに衝突する際の荷重を和らげるために緩衝材が設置されていることから、緩衝材による荷重低減効果を見込んで衝突荷重を算出する。

衝突荷重を計算するにあたって、門型クレーンの衝突速度は、添付書類「VI-2-11-2-1 門型クレーンの耐震性についての計算書」に基づく地震応答解析により算出した走行方向の最大速度とする。

図 11-2 に門型クレーンと走行ストッパの衝突概念図を示す。

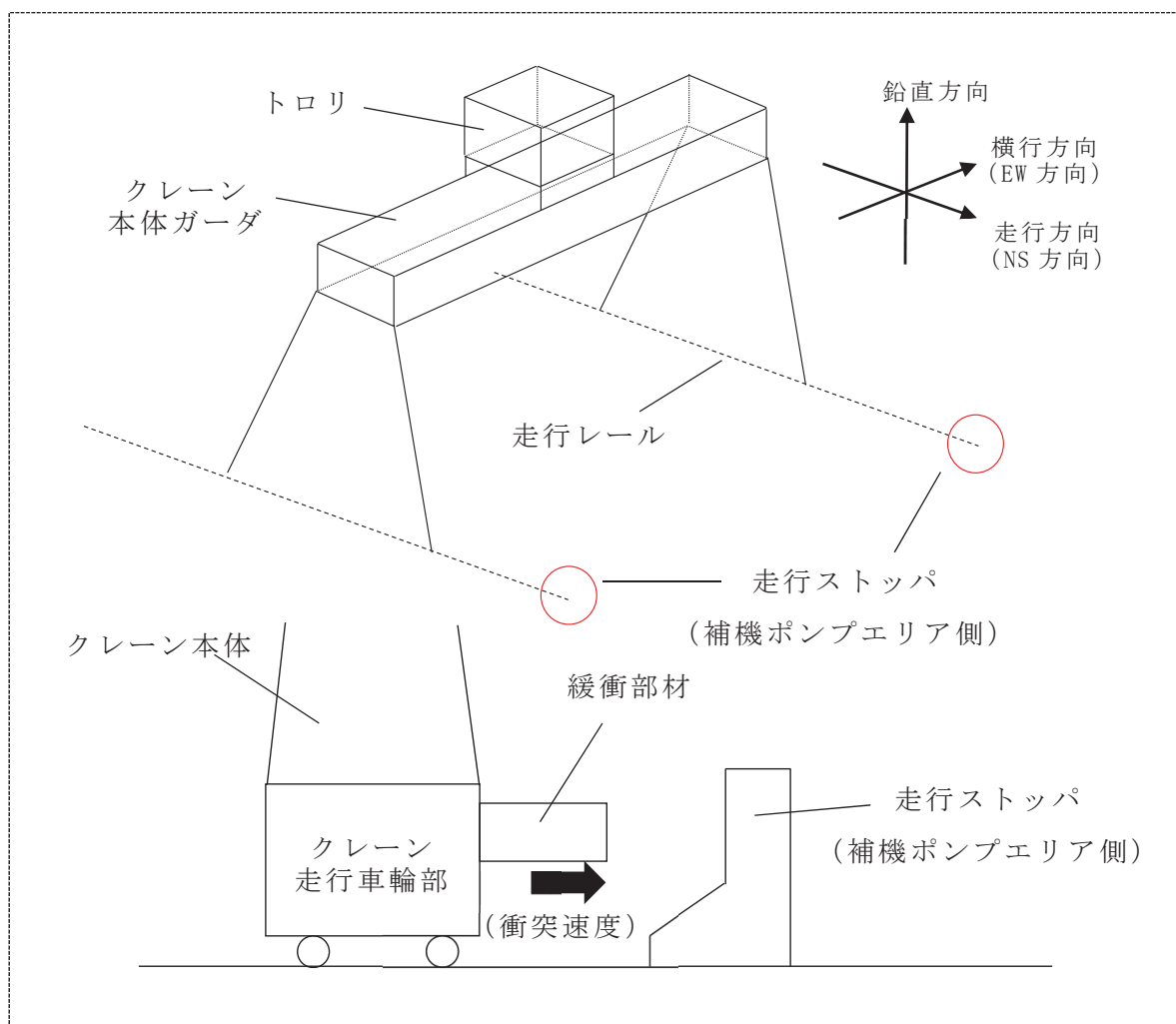


図 11-2 走行ストッパへの衝突概念図

2.3 走行ストッパへの衝撃荷重の算出

門型クレーンがすべって走行ストッパに衝突する際には、衝突する両脚における走行車輪部の緩衝部材で衝突荷重を受ける。走行ストッパが受ける衝突荷重＝緩衝部材が受ける衝突荷重であるため、緩衝材の単位面積当たりの衝撃力に受圧面積を乗じた荷重として計算することができる。

表 11-1 に走行ストッパへの衝撃荷重の算出結果を示す。

表 11-1 走行ストッパ（1個あたり）への衝撃荷重の算出結果

門型クレーンの衝突時の質量*1 m (kg)	門型クレーンの衝突速度*2 v (m/s)	緩衝部材が受ける単位面積当たりの衝撃力*3 R (N/cm ²)	緩衝部材の受圧面積 A (cm ²)	走行ストッパへの衝撃荷重 F (kN)
	1.12	508	1960	996

注記*1：クレーン及びトロリ質量（合計質量 kg）に吊荷定格（ kg(フック含む)）を加えた質量

*2：門型クレーンの地震応答解析結果から求めた走行方向の最大速度

*3：門型クレーンの衝突速度と緩衝部材の特性から求まる値（倉敷化工株式会社 高性能衝撃緩衝器ハイバッファー カタログ値より）

2.4 走行ストッパの応力評価

図 11-3 の計算モデルに基づき、ストッパ断面に加わる曲げモーメントおよびせん断力を算出し、応力評価にてストッパへの影響を評価する。表 11-3 に評価諸元を示す。

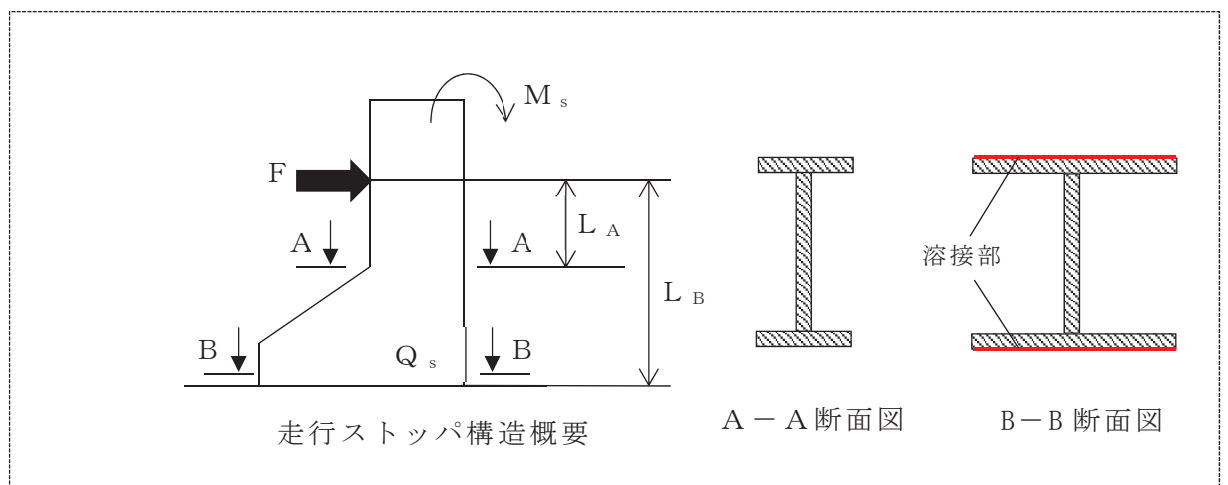


図 11-3 計算モデル（ストッパ応力評価）

枠囲みの内容は商業機密を含むため公開できません。

表 11-3 評価諸元

記号	記号の説明	入力値	単位	備考
R	緩衝部材が受ける単位面積当たりの衝撃力	508	N/cm ²	
A	緩衝部材の受圧面積	1960	cm ²	
F	走行ストッパへの衝撃荷重	996	kN	R × A
L _A	ストッパ高さ (荷重作用点から A-A断面まで)		mm	
L _B	ストッパ高さ (荷重作用点から B-B断面まで)		mm	
A _A	ストッパ断面積 (A-A断面)		mm ²	
A _B	ストッパ断面積 (B-B断面)		mm ²	
Z _A	ストッパ断面係数 (A-A断面)		mm ³	
Z _B	ストッパ断面係数 (B-B断面)		mm ³	

曲げモーメントM_sは次式となる

$$M_s = F \cdot L_s$$

せん断力Q_sは次式となる。

$$Q_s = F$$

したがって、応力は次式となる。

$$\sigma = \frac{M_s}{Z}$$

$$\tau = \frac{Q_s}{A}$$

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

枠囲みの内容は商業機密を含むため公開できません。

2.5 走行ストッパの評価結果

表 11-4 の通り，算出応力が許容値を満足することを確認し，門型クレーンのすべりによる衝突が走行ストッパ機能へ影響を及ぼさないことを確認した。

表 11-4 走行ストッパ応力評価結果まとめ

評価断面	材質	応力分類	算出応力 (MPa)	許容値 (MPa)	裕度	判定
				IV _A S		
A - A 断面 (母材)		引張り σ	184	343	1.86	○
		せん断 τ	129	198	1.53	○
		組合せ σ_c	290	343	1.18	○
B - B 断面 (溶接部)		引張り σ	100	161	1.61	○
		せん断 τ	44	161	3.65	○
		組合せ σ_c	126	161	1.27	○

枠囲みの内容は商業機密を含むため公開できません。

3. 横行ストッパへの影響評価

3.1 評価対象

門型クレーンの横行レール端部には片側 2 個ずつ計 4 個の横行ストッパが設置されており、トロリの脱線を防止する構造であるため、トロリが地震によってすべり、移動した際の横行ストッパへの影響評価を実施する。

横行ストッパの位置関係図を図 11-4 に示す。

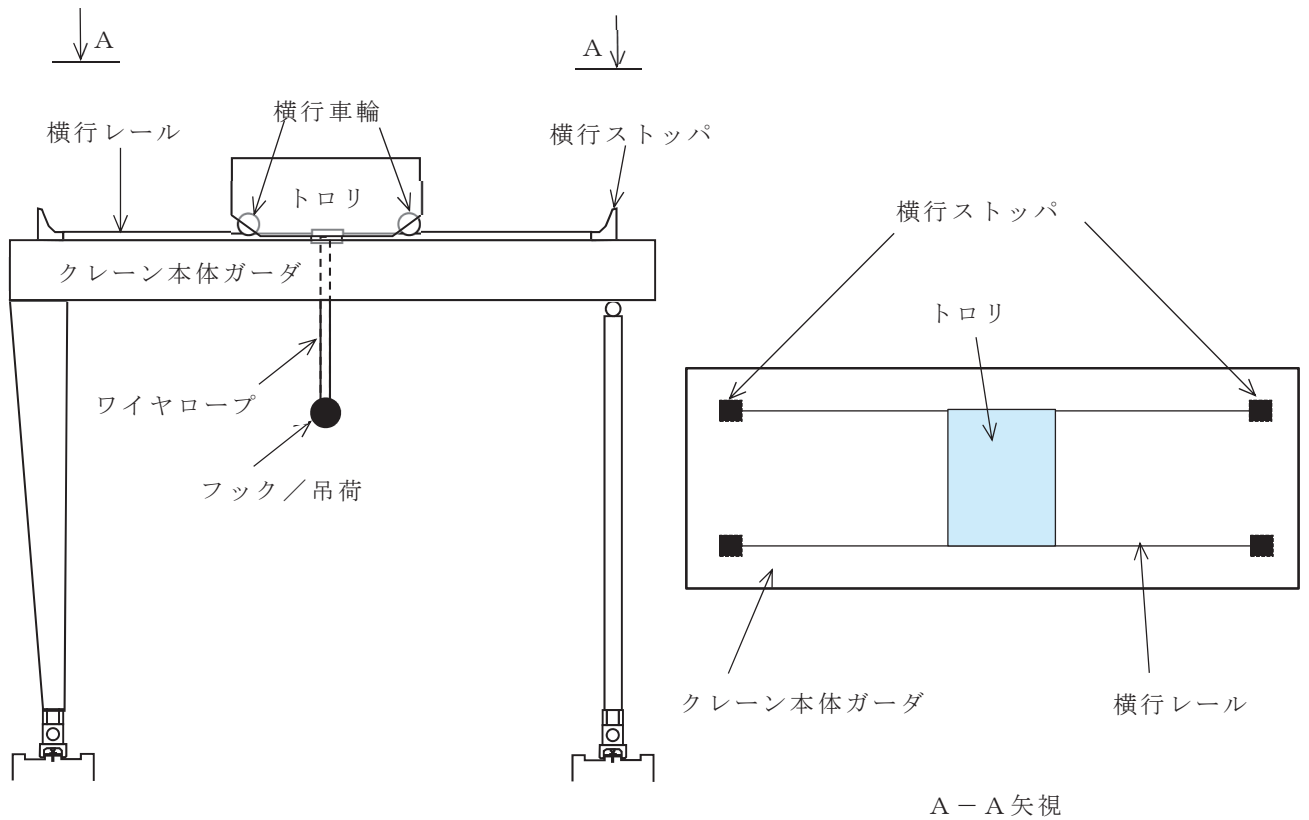


図 11-4 横行ストッパの位置関係図

3.2 評価方針及び評価条件

横行ストッパは接触面が曲面形状になっており，トロリがすべって移動し，横行車輪が接触した際は，横行ストッパに横行車輪が乗り上げる可能性がある。

したがって，横行ストッパに横行車輪が乗り上げた際に乗り上げ高さが横行ストッパの高さ以上になりトロリが落下しないことを確認する。

また，その際に生じる水平荷重に対して横行ストッパの強度評価を実施する。

なお，乗り上げ高さや水平荷重を計算するにあたって，トロリの速度は，添付書類「VI-2-11-2-1 門型クレーンの耐震性についての計算書」に基づく地震応答解析により算出した横行方向の最大速度とする。

図 11-5 に横行車輪と横行ストッパの接触概念図を示す。

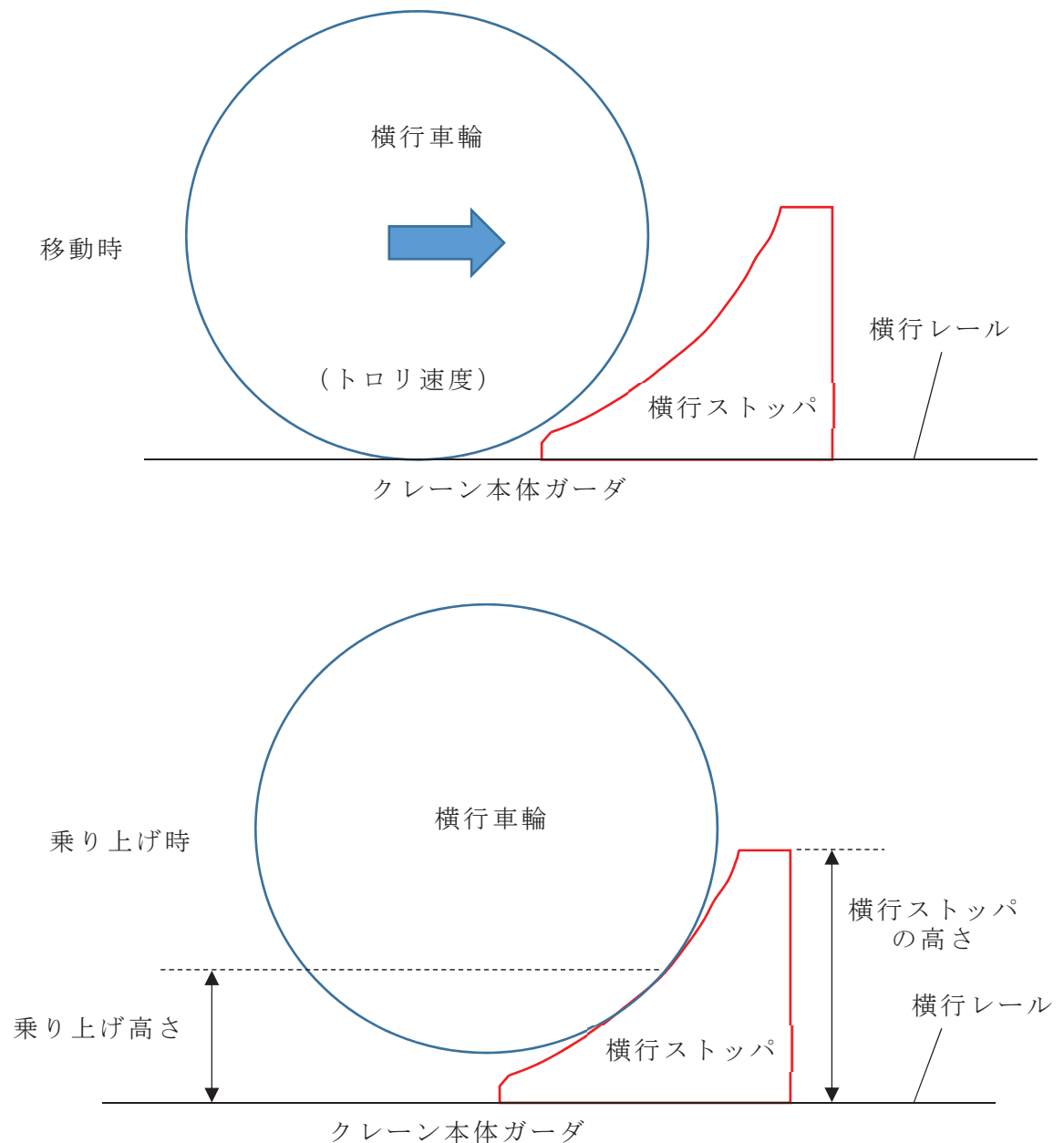


図11-5 横行車輪と横行ストッパの接触概念図

3.3 横行ストッパへの乗り上げ高さの算出

横行車輪が横行ストッパに到達すると、横行ストッパの曲面に沿って、車輪が乗り上げていく。この際の速度と乗り上げ高さの関係は、以下の式で計算することができる。

$$\frac{1}{2} \cdot M_T \cdot V^2 = m_T \cdot g \cdot H$$

- M_T : トロリの全質量 (kg)
- V : すべりによるトロリの速度 (m/s)
- m_T : トロリの乗り上げに寄与する質量 (kg)
- g : 重力加速度 (=9.80665 m/s²)
- H : 横行車輪止めへの乗り上げ高さ (m)
- V : すべりによるトロリの速度 (m/s)

横行車輪が横行ストッパに乗り上げる際は、片側2車輪が乗り上げることになるため、トロリの乗り上げに寄与する質量 (m_T) は、トロリ全質量 (M_T) の半分 ($m_T = 1/2 \cdot M_T$) とすると、乗り上げ高さは下式により求められる。

$$H = \frac{V^2}{g}$$

計算の結果、横行車輪乗り上げ高さは表 11-5 の通りとなり、横行ストッパの高さ以下であることからトロリはすべりにより落下しないことを確認した。

表 11-5 横行車輪のすべりによる横行ストッパへの乗り上げ高さ

すべりによる トロリの速度* V (m/s)	発生値	許容値	裕度	判定
	横行ストッパへの 乗り上げ高さ H (m)	横行ストッパ の高さ (m)		
1.09	0.121			○

注記* : 門型クレーンの地震応答解析結果から求めた横行方向の最大速度

枠囲みの内容は商業機密を含むため公開できません。

3.4 横行ストッパに作用する荷重の算出

横行車輪が乗り上げた場合に横行ストッパには、図 11-6 に示すように荷重が作用するため、横行ストッパに作用する水平方向荷重は下式で求めることができる。

表 11-6 に横行ストッパに作用する水平方向荷重の算出結果を示す。

$$F_H = \frac{1}{2} m_T \cdot g \cdot \tan \theta$$

$$= \frac{1}{2} m_T \cdot g \cdot \frac{\sqrt{R_s^2 - (R_s - 0.121)^2}}{R_s - 0.121}$$

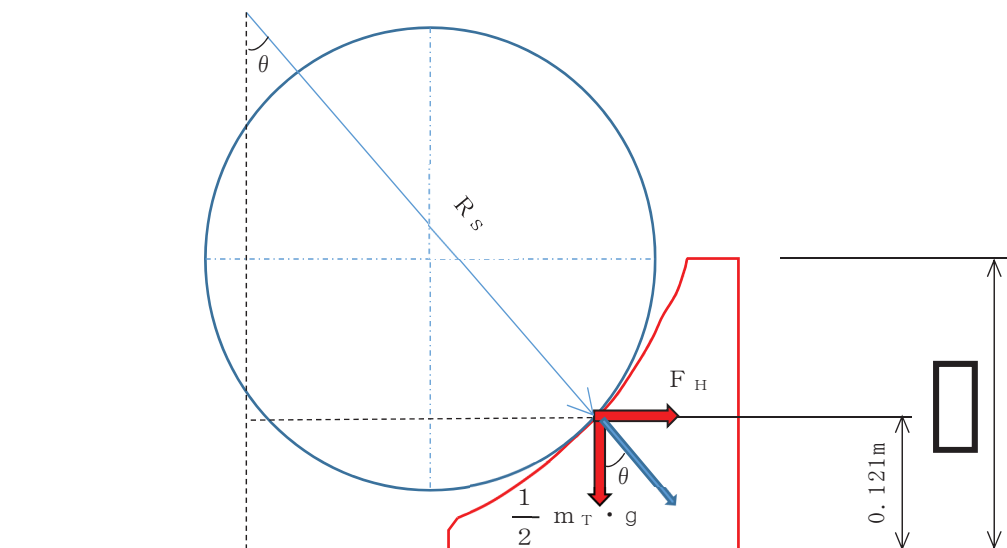


図 11-6 横行ストッパへの作用荷重概念図

表 11-6 横行ストッパに作用する水平方向荷重の算出結果

トロリの乗り上げに寄与する質量* m (kg)	横行ストッパの曲率半径 R _s (m)	横行ストッパに作用する水平荷重 F _H (kN)
	0.504	267

注記*：トロリ全質量（トロリ質量（ kg）と吊荷定格（ kg（フック含む））の合計質量）の半分

枠囲みの内容は商業機密を含むため公開できません。

3.5 横行ストッパの応力評価

図 11-7 の計算モデルに基づき、ストッパ固定部（溶接部）に加わるせん断力を算出し、応力評価にてストッパへの影響を評価する。

表 11-7 に評価諸元を示す。

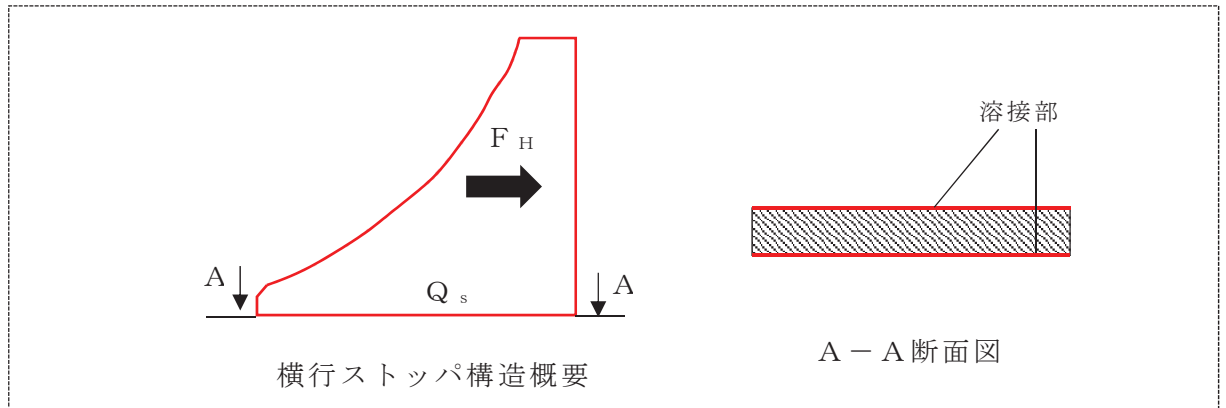


図 11-7 計算モデル（横行ストッパ応力評価）

表 11-7 評価諸元

記号	記号の説明	入力値	単位	備考
F_H	横行ストッパに作用する水平荷重		kN	
A_A	ストッパ断面積（A-A 断面）		mm ²	

3.6 横行ストッパの評価結果

表 11-8 の通り、算出応力が許容値を満足することを確認し、トロリが乗り上げた場合の荷重によって横行ストッパ機能へ影響を及ぼさないことを確認した。

表 11-8 横行ストッパ応力評価結果まとめ

評価断面	材質	応力分類	算出応力 (MPa)	許容値 (MPa)	裕度	判定
				IV_{AS}		
A-A 断面 (溶接部)		せん断 τ	63	161	2.55	○

枠囲みの内容は商業機密を含むため公開できません。

地震時における吊荷の揺動影響

1. 目的

地震時における海水ポンプ室門型クレーン（以下「門型クレーン」という。）の吊り荷の揺動影響を確認する。

2. 吊荷の振動

吊荷の水平方向の振動モードは、単振り子の振動モードとして模擬することができる。その固有周期は下式で計算することができる。

$$f = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

f : 固有周期 (s)

g : 重力加速度

L : 振り子の長さ

門型クレーンの主巻ワイヤ長さが最短 m ~ 最長の m の場合、振り子としての固有周期は s ~ s となる。

門型クレーンの1次固有周期（トロリ位置：中央，吊荷：有）は、 s であり、振り子の振動モードと固有周期が離れていること、また、短周期帯と比較して長周期帯の加速度が低い女川2号機の地震動の特性を踏まえると、吊荷が揺動するモードが励起される可能性は低い。

以上より、地震時における吊荷の揺動により上位クラス施設へ波及的影響を及ぼす可能性はないと考えられる。

枠囲みの内容は商業機密を含むため公開できません。

トロリストッパ評価における非線形時刻歴応答解析から求めた水平力適用の影響

1. 目的

海水ポンプ室門型クレーン（以下「門型クレーン」という。）のトロリストッパについては、最大静止摩擦力以上の水平力がクレーンに加えられた場合、すべりが生じ、クレーン走行方向（トロリ横行方向）にはレールと走行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらないことから、摩擦係数より求めた水平方向設計震度を用いて計算した設計用地震力による評価を実施している。

本項では、トロリストッパの評価において、非線形時刻歴応答解析から求めた水平力を適用した場合の影響について確認を行う。

2. 評価方法

トロリストッパには、自重及び水平方向地震(NS方向)によって水平力が作用する。図 13-1 にトロリストッパの構造概要図を示す。

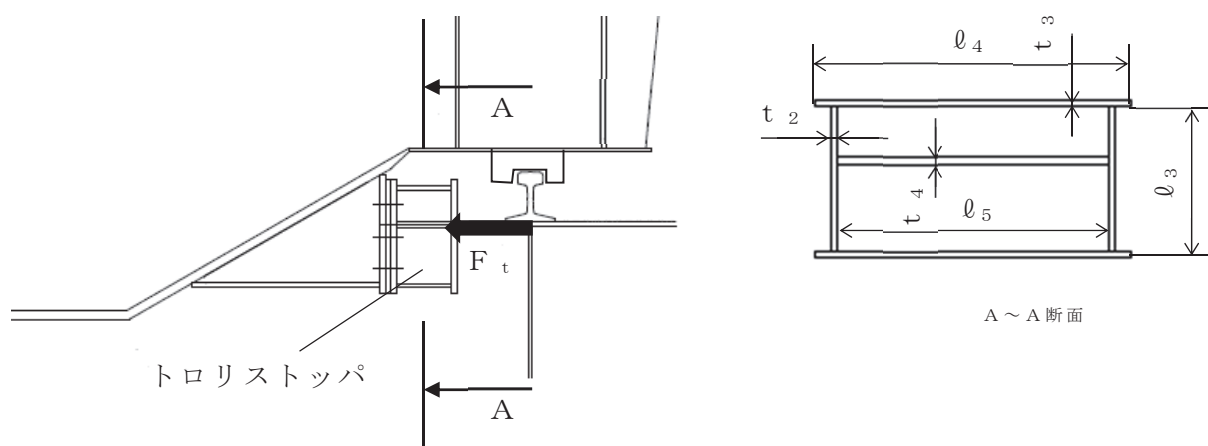


図 13-1 トロリストッパの構造概要図

トロリストッパに生じる応力を以下の式により計算する。

トロリストッパ当たり面の断面積： A_2

$$A_2 = 2 \cdot (t_2 \cdot l_3 + t_3 \cdot l_4) + t_4 \cdot l_5$$

トロリストッパの圧縮応力： σ_{ct}

$$\sigma_{ct} = \frac{F_t}{A_2} \quad \text{ここで } F_t : \text{非線形時刻歴応答解析から求めたトロリ車輪部における横行方向の最大反力}$$

表13-1 計算諸元

項目		単位	数値
非線形時刻歴応答解析から求めた 横行方向反力 (トロリストッパ1箇所当たり)	F_t	kN	
トロリストッパ当たり面の断面積	A_2	mm ²	

3. 評価結果

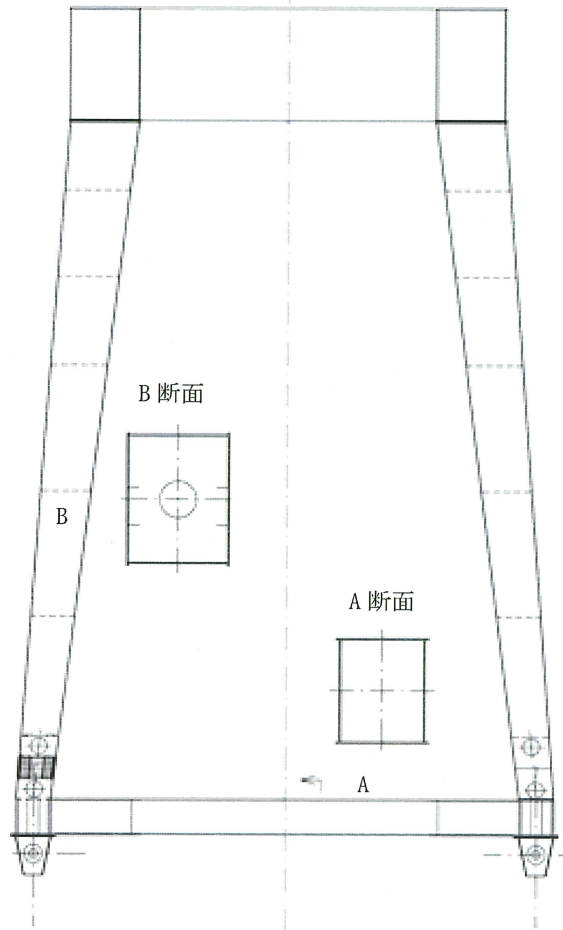
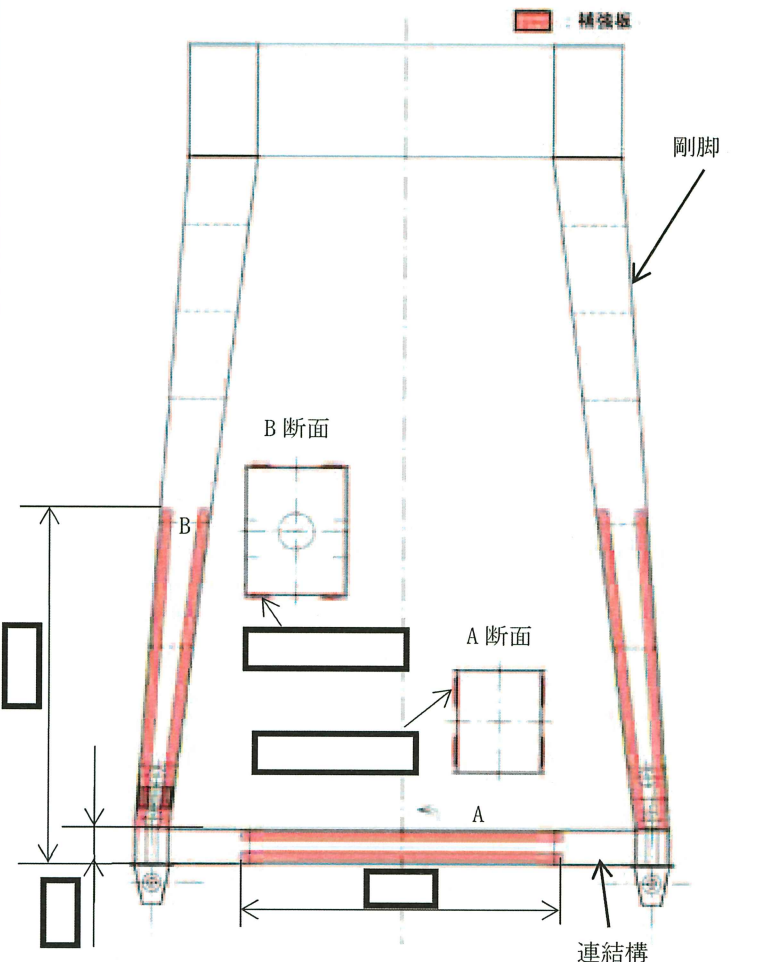
表 13-2 にトロリストッパの評価結果を示す。非線形時刻歴応答解析から求めた水平力を適用して評価を行った場合、摩擦係数より求めた水平方向設計震度を用いて計算した水平力を適用した場合と比較して算出応力は増加するが、許容応力に対して十分に裕度があり、トロリストッパの機能に影響を及ぼさないことを確認した。

表 13-2 トロリストッパの評価結果

部位	材料	応力	評価手法	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
トロリストッパ		圧縮	非線形時刻歴応答解析から求めた水平力適用	13	280
			摩擦係数より求めた水平方向設計震度を用いて計算した設計用地震力適用	2	

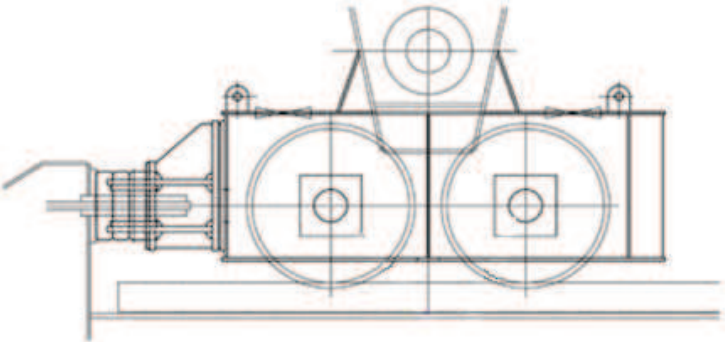
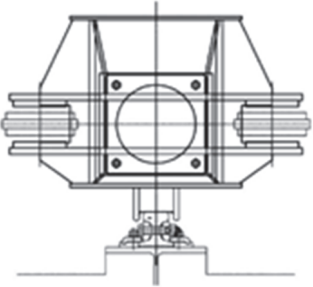
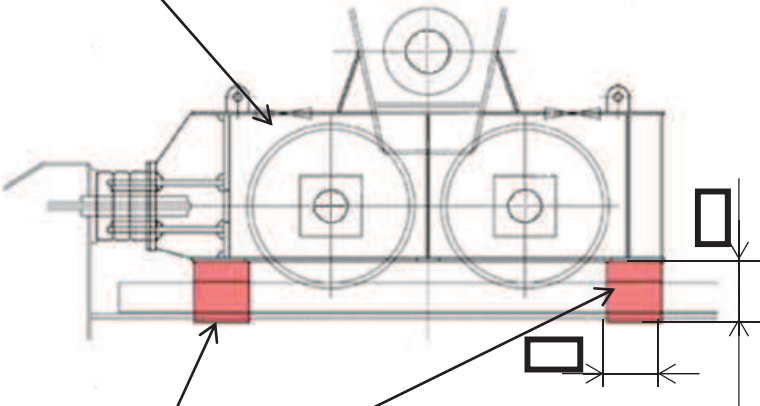
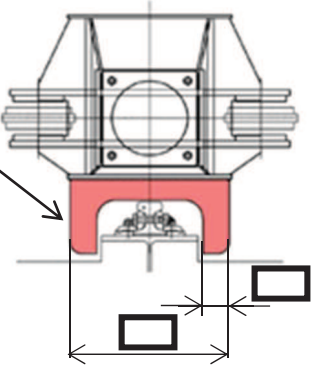
枠囲みの内容は商業機密を含むため公開できません。

海水ポンプ室門型クレーン改造工事概要

改造前	改造後	改造内容
		<p>剛脚及び連結構の補強（剛性向上）</p>

添付 14-1

枠囲みの内容は商業機密を含いたため公開できません。

改造前	改造後	改造内容
 	<p>走行装置</p>  <p>p</p> <p>脱輪防止装置</p> 	脱輪防止装置 追設（走行装 置の取替）