

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-027-10-48
提出年月日	2022年11月2日

取水槽ガントリ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

2022年11月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

1. はじめに

島根2号機の取水槽ガントリクレーン（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、VI-2-11-2-7-14「取水槽ガントリ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、VI-2-11-2-7-14「取水槽ガントリ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 取水槽ガントリクレーンの耐震評価の基本方針
- 添付2 取水槽ガントリ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 取水槽ガントリクレーンの地震時挙動に関する補足説明
- 添付5 取水槽ガントリクレーン評価用地震動の選定
- 添付6 取水槽ガントリ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 主巻ワイヤのブレーキ制動力
- 添付9 地震時における吊荷の揺動影響
- 添付10 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11 取水槽ガントリクレーン改造概要
- 添付12 単軸粘性ダンパの取水槽ガントリクレーンへの設置
- 添付13 単軸粘性ダンパの保守管理の方針

取水槽ガントリクレーンの耐震評価の基本方針

1. 要求事項

取水槽ガントリクレーン（以下「ガントリクレーン」という。）は取水槽海水ポンプエリア及び取水槽循環水ポンプエリアを跨いで設置されており，原子炉補機海水ポンプ等のメンテナンスに使用される設備である。取水槽ガントリ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原子炉補機海水ポンプ等のメンテナンスを実施しない期間は，ガントリ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，定期検査中など原子炉補機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取水槽海水ポンプエリア付近に位置することとなる。そのため，ガントリクレーンが地震に伴う損傷・落下によって取水槽海水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。

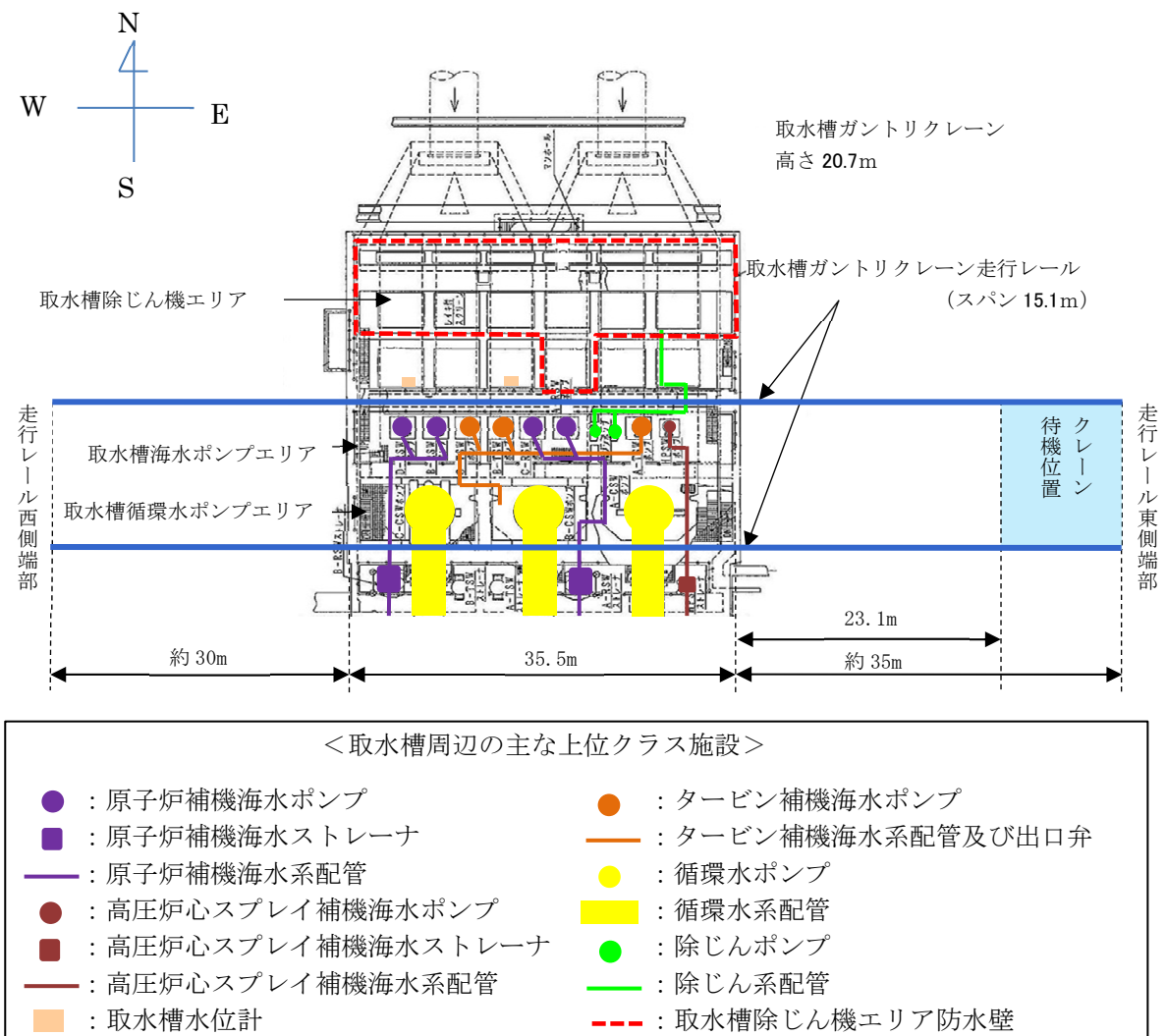


図 1-1 取水槽ガントリクレーンの設置位置概要

2. 構造の概要

ガントリクレーンは脚、ガーダ、トロリ、ホイスト、単軸粘性ダンパ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。また、転倒防止装置、トロリストoppa、走行車輪、横行車輪、ホイストレール及び車輪の概略構造図を図1-3に示す。

脚はガーダを支持し、下部には走行装置が設置されている。ガーダは脚の上部にあり、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おり、下部にはホイスト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（主巻）又はホイストを使用して、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。

ガントリクレーンは大型の構造物であり、制震装置の設置による地震荷重の低減が耐震性向上に有効である。ガントリクレーンの応答は、走行レールの直交方向に脚が変形する振動モードが支配的であり、ガーダと脚の間にブレースを介して単軸粘性ダンパを制震装置として設置する。

単軸粘性ダンパ取付部の構造を図1-4に示す。ダンパ本体の長さは標準設計の約1.5mとし、これに約10mのブレースを接続している。単軸粘性ダンパとガーダの接続、ブレースと脚の接続部にはクレビスと呼ぶ回転部を設けている。このクレビスは単軸粘性ダンパの伸縮方向と直交する一方向にはピンを軸として自由に回転可能となっている。また、ピンの軸受部は球面軸受となっており、クレビスの回転方向以外の方向にも約3度の許容回転角度を有することで、単軸粘性ダンパに伸縮方向以外の荷重が加わらない構造としている。単軸粘性ダンパ及び取付部材の質量は適切に地震応答解析モデルに反映する。

また、クレーン本体は取水槽海水ポンプエリアの北側と取水槽循環水ポンプエリア南寄りに敷設された走行レール上を脚下部にある走行装置及び車輪によって移動する。トロリについては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。ホイストは、ガーダ下に設置されたホイストレールに沿って、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、それぞれ転倒防止装置、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。

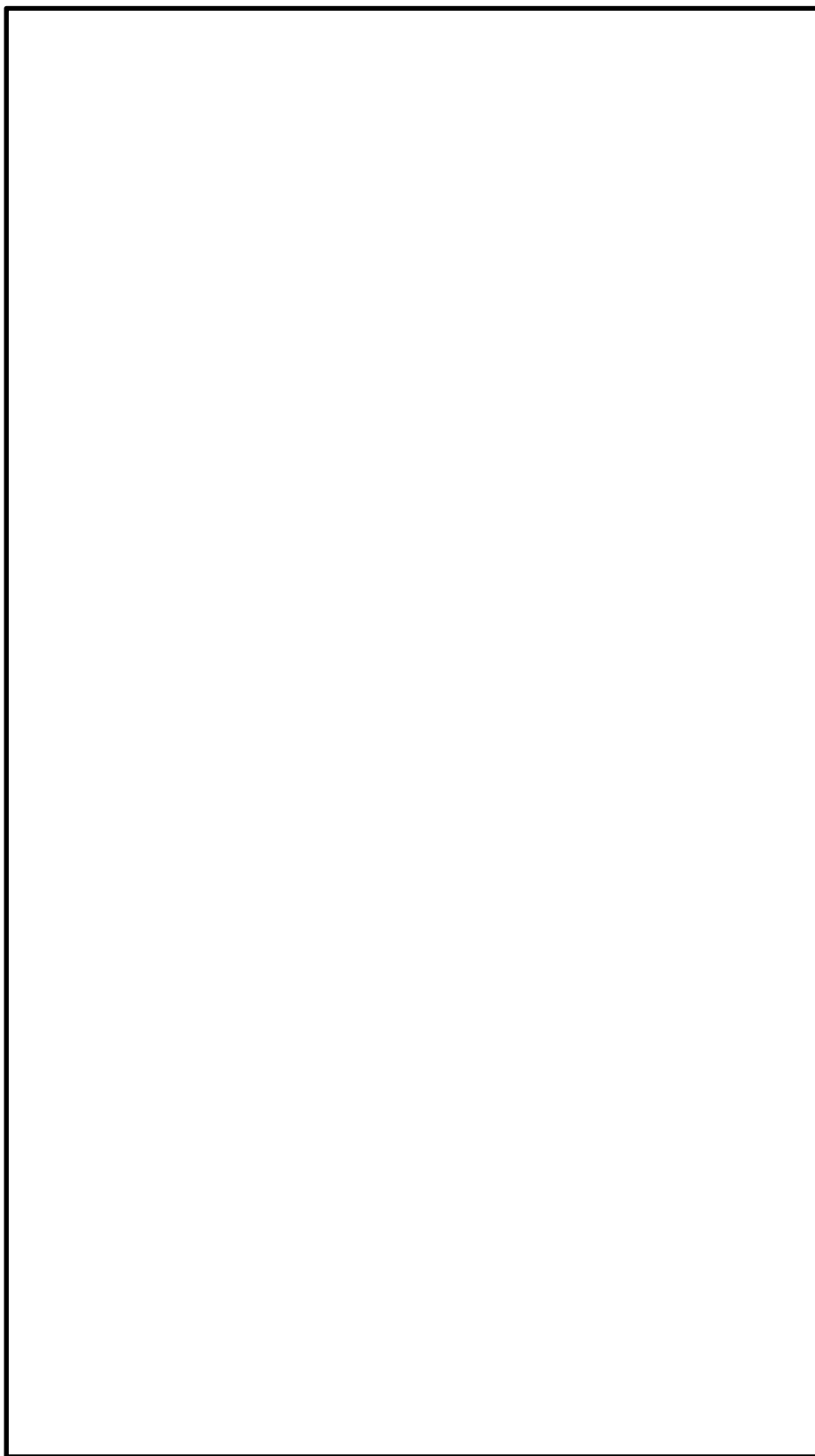
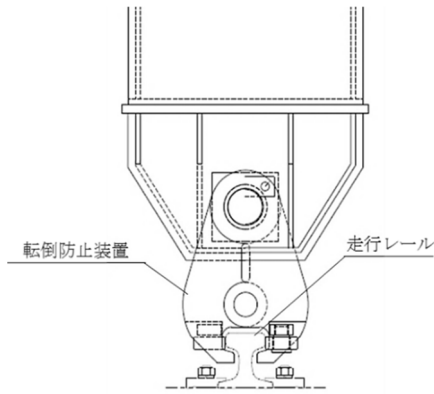
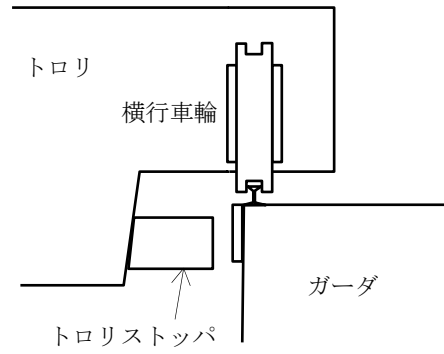


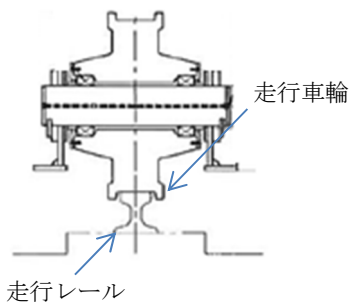
図 1-2 取水槽ガントリクレーン全体構造図



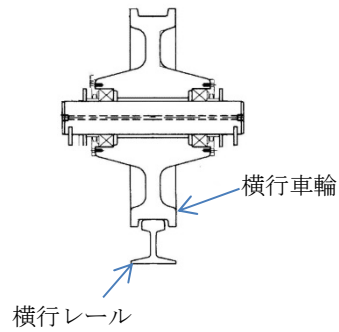
転倒防止装置の概略構造



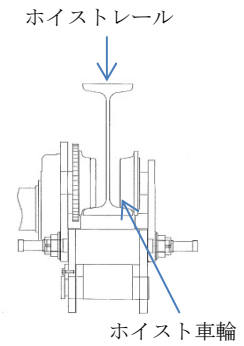
トロリストoppaの概略構造



走行車輪部の概略構造

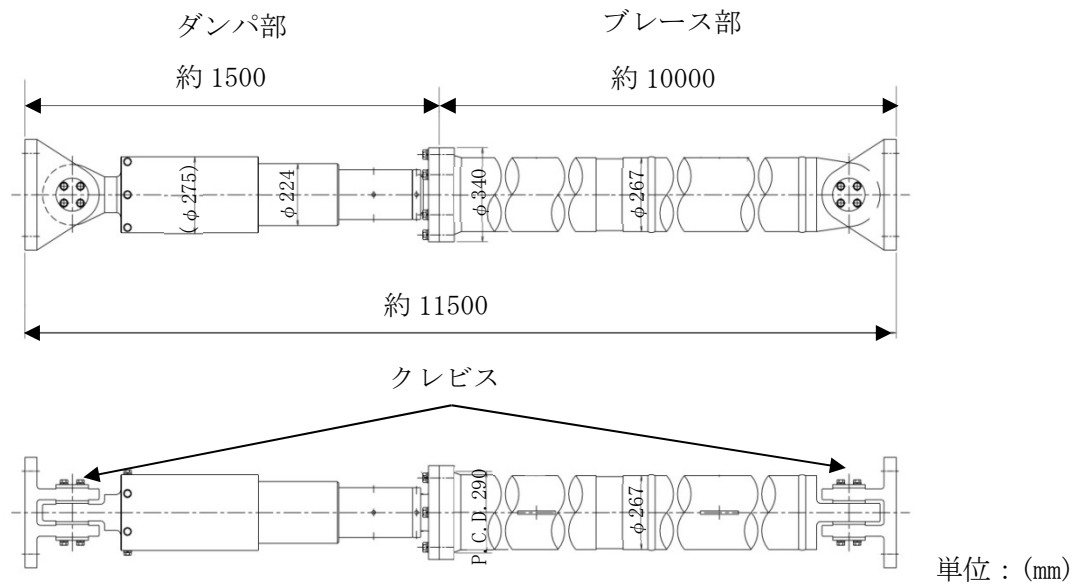


横行車輪部の概略構造

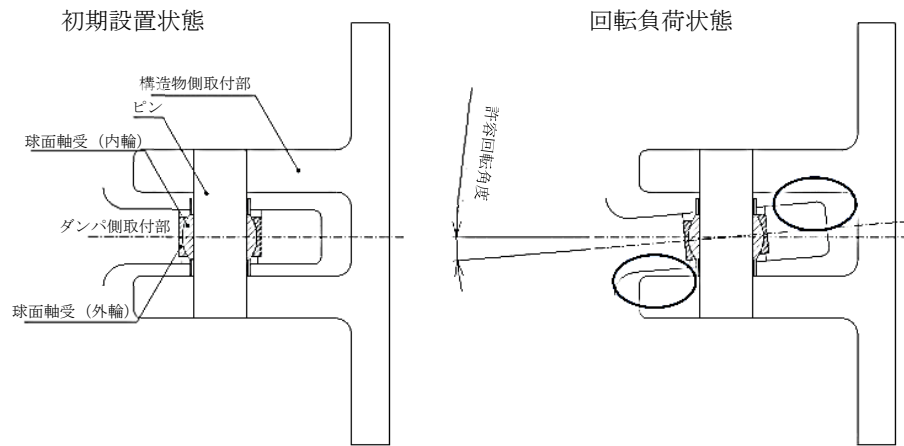


ホイスト車輪部の概略構造

図 1-3 取水槽ガントリクレーン 車輪部周りの概略構造図



単軸粘性ダンパ及びブレースの構造



クレビス部詳細

図 1-4 単軸粘性ダンパ取付部の構造

3. 耐震評価方法

3.1 解析方法及び解析モデル

ガントリ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) ガントリクレーンは、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。ガントリ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2に示す。

(2) 地震応答解析に用いる減衰定数は、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、減衰定数2.0%となる固有周期点をガントリクレーンの固有周期に合わせて設定することで与える。解析ケース毎に水平(NS)、鉛直の1次固有周期から設定しており、代表ケースを例に説明すると、この固有周期点は、取水槽ガントリクレーンの水平方向1次固有周期が であり、鉛直方向1次固有周期が であることを踏まえて設定している。

Rayleigh減衰の減衰定数 ζ と角振動数 ω の関係式は、係数 α 及び β を用いて以下の式で与えられる。

$$\zeta = \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha}{\omega} + \omega \cdot \beta \right)$$

減衰定数2.0%となる固有周期点との関係より、係数 α 及び β は、それぞれ $\alpha =$ 、 $\beta =$ とする。

減衰定数 ζ と角振動数 ω の関係を図1-5に示す。



図1-5 ガントリクレーンのRayleigh減衰設定における減衰定数 ζ と角振動数 ω の関係

- (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-レール間のすべりを考慮する。
- (4) 吊具の評価を行う場合は、トロリに設置された主巻、ホイストレールに設置されたホイスト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。
- (5) 単軸粘性ダンパの減衰性能は、抵抗力が速度の 0.1 乗に比例するダッシュポットとばねを直列に接続した Maxwell モデルでモデル化する。単軸粘性ダンパの Maxwell モデルを図 1-6 に示す。なお、単軸粘性ダンパの減衰性能とモデル化の詳細については、添付 12「単軸粘性ダンパの取水槽ガントリクレーンへの設置」に示す。

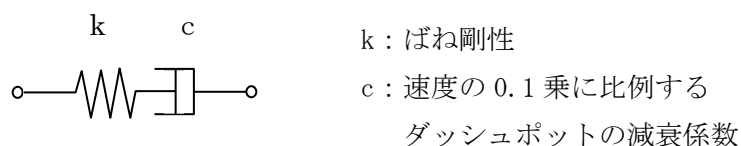


図 1-6 単軸粘性ダンパの Maxwell モデル

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、単軸粘性ダンパを模擬した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 1-7 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、剛な要素でモデル化している。

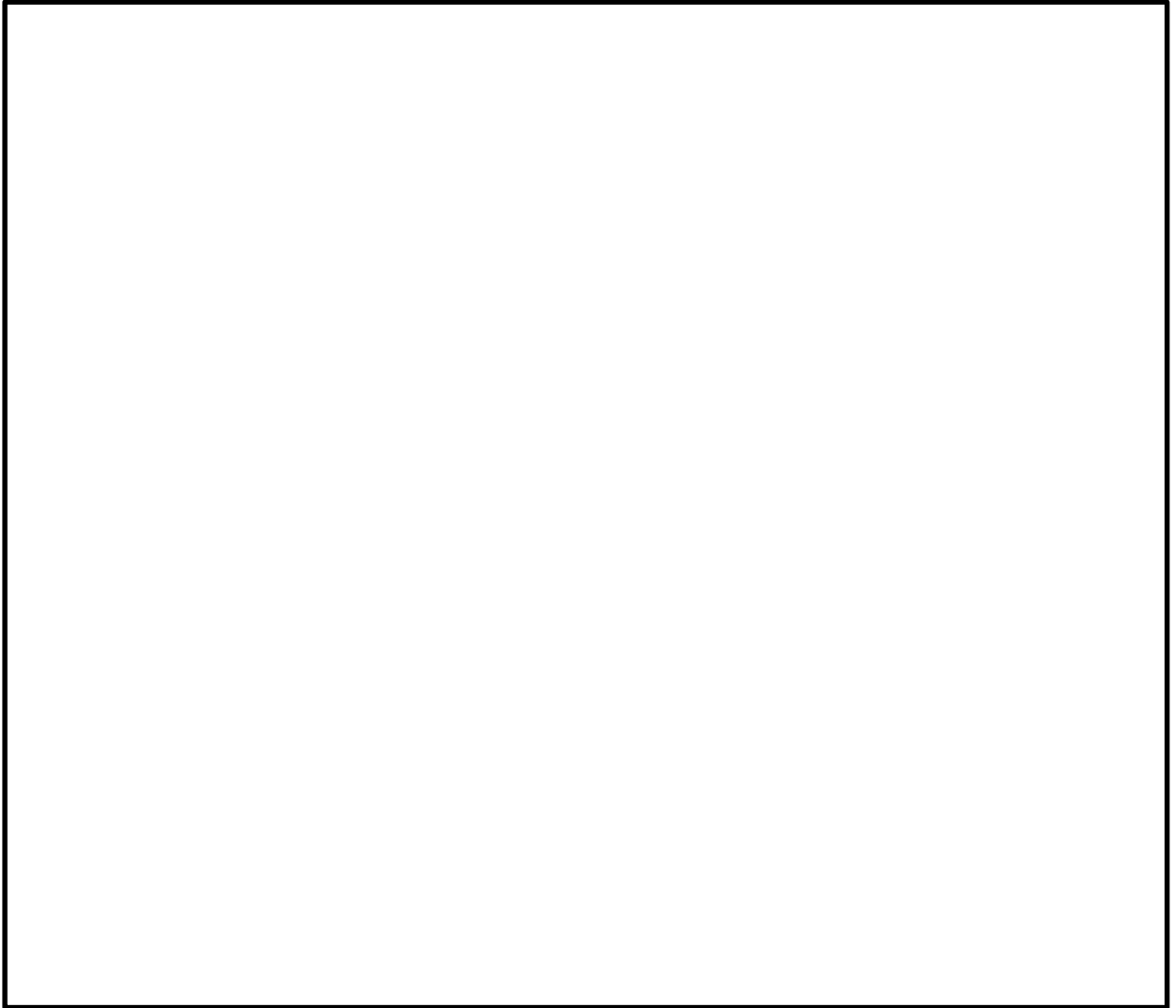


図 1-7(1) 取水槽ガントリクレーンの解析モデル (固有値解析時)

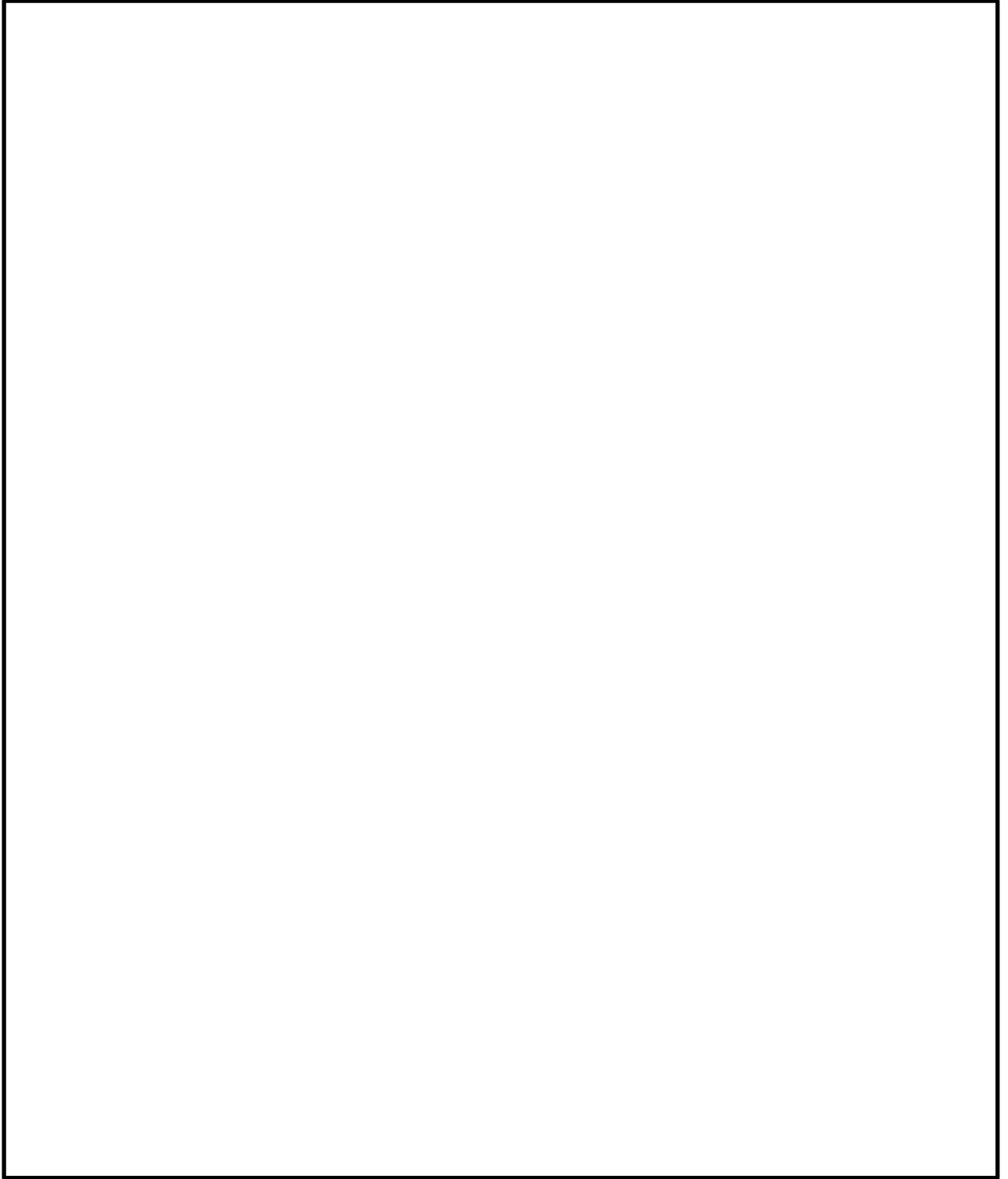



図 1-7(2) 取水槽ガントリクレーンの解析モデル（地震応答解析時）



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，転倒防止装置と走行レール，トロリ車輪部（駆動輪，従動輪）と横行レール，ホイスト車輪部（駆動輪，従動輪）とホイストレールにおける解析モデルの境界条件をそれぞれ表 1-1～表 1-4 に示す。

固有値解析時は，クレーン本体車輪部，トロリ車輪部，ホイスト車輪部において，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，EW 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，NS 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 ）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。さらに，鉛直方向は間隙以上の浮上りを転倒防止装置により拘束される。

一方，トロリ車輪部においては，NS 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，EW 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 ），トロリストッパと躯体の間隙（片側約 ）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。

さらに，ホイスト車輪においては，NS 方向（ホイスト走行方向）及び鉛直方向について，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。但し，鉛直方向は間隙以上の浮上りを拘束している。また，EW 方向（ホイスト走行方向に直交する方向）については，ホイスト車輪とホイストレールの間隙（片側約 ）が小さく，地震時には，ホイスト車輪とホイストレールが接触し，荷重が伝達されるため，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，転倒防止部，トロリ車輪部，ホイスト車輪の各構造の概要図について，図 1-8 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*		EW 方向 (クレーン本体 走行方向)	NS 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：非拘束 回転：非拘束	並進：拘束 回転：非拘束	並進：拘束 回転：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 $\mu = \square$ 回転：非拘束	並進：拘束 ・走行レール及 び車輪つば による拘束 回転：非拘束	並進：非拘束 ・浮上り考慮 回転：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 1-7 中の①～④に対応

記号 μ ：摩擦係数

表 1-2 境界条件 (転倒防止装置と走行レール)

解析内容	部位*		EW 方向 (クレーン本体走行方 向)	NS 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	転倒防止 装置と走 行レール	⑤	並進：非拘束 回転：非拘束	並進：非拘束 回転：非拘束	並進：非拘束 回転：非拘束
地震応 答解析		⑤	並進：非接触時は 非拘束、接 触時はすべ り考慮 $\mu = \square$ 回転：非拘束	並進：非拘束 回転：非拘束	並進：浮上り を拘束 回転：非拘束

注記*：部位欄の番号⑤は、図 1-7 中の⑤に対応

記号 μ ：摩擦係数

表 1-3 境界条件 (トロリ車輪部と横行レール)

解析内容	部位*		EW 方向 (トロリ走行方向の直交方向)	NS 方向 (トロリ走行方向)	UD 方向 (鉛直方向)
固有値解析	トロリ車輪部と横行レール	⑥(駆動輪)	並進：拘束 回転：非拘束	並進：非拘束 回転：非拘束	並進：拘束 回転：非拘束
		⑦(駆動輪)			
		⑧(従動輪)			
		⑨(従動輪)			
地震応答解析	トロリ車輪部と横行レール	⑥(駆動輪)	並進：拘束 ・横行レール及び車輪つばによる拘束 回転：非拘束	並進：非拘束 ・すべり考慮 $\mu = \square$ 回転：非拘束	並進：非拘束 ・浮上り考慮 回転：非拘束
		⑦(駆動輪)		並進：非拘束 ・追従移動 $\mu = 0$ 回転：非拘束	
		⑧(従動輪)			
		⑨(従動輪)			

注記*：部位欄の番号⑥～⑨は、図 1-7 中の⑥～⑨に対応

記号 μ ：摩擦係数

表 1-4 境界条件 (ホイスト車輪部とホイストレール)

解析内容	部位*		EW 方向 (ホイスト走行方向の直交方向)	NS 方向 (ホイスト走行方向)	UD 方向 (鉛直方向)
固有値解析	ホイスト車輪部とホイストレール	⑩(駆動輪)	並進：拘束 回転：非拘束	並進：非拘束 回転：非拘束	並進：拘束 回転：非拘束
		⑪(駆動輪)			
		⑫(従動輪)			
		⑬(従動輪)			
地震応答解析	ホイスト車輪部とホイストレール	⑩(駆動輪)	並進：拘束 ・ホイストレール及び車輪つばによる拘束 回転：非拘束	並進：非拘束 ・すべり考慮 $\mu = \square$ 回転：非拘束	並進：浮上りを拘束 回転：非拘束
		⑪(駆動輪)		並進：非拘束 ・追従移動 $\mu = 0$ 回転：非拘束	
		⑫(従動輪)			
		⑬(従動輪)			

注記*：部位欄の番号⑩～⑬は、図 1-7 中の⑩～⑬に対応

記号 μ ：摩擦係数

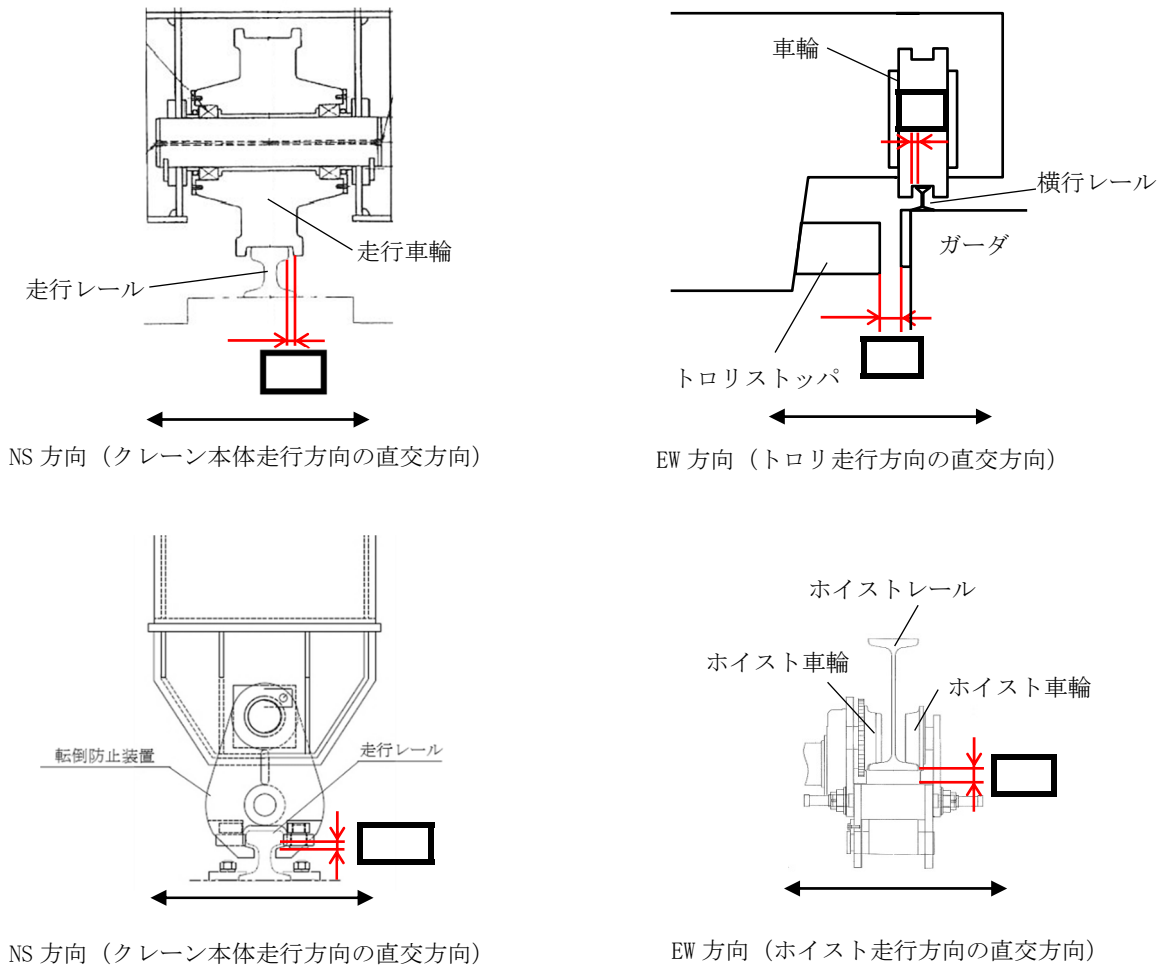


図 1-8 各構造の概要図

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 1-9 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、剛なばね要素によって拘束条件とし、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。

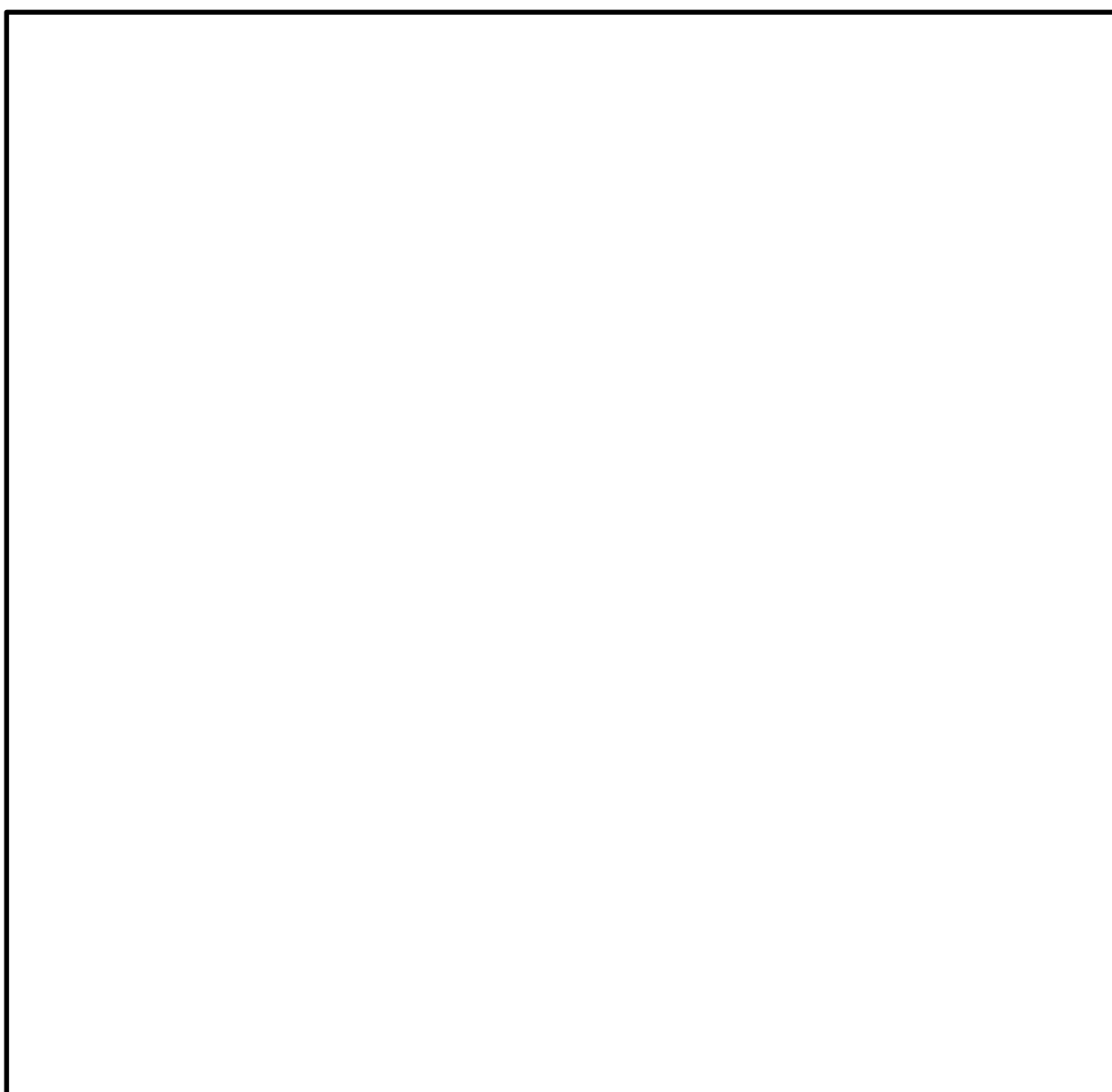


図 1-9 クレーン全体モデル図及び車輪部の非線形要素図

(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、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）とガントリクレーンの構造上の差異（ガントリクレーンには脚が存在）からガントリ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、摩擦係数は、島根2号機原子炉建物天井クレーンの既工認（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。図1-10に島根2号機の原子炉建物天井クレーンの概要図を示す。

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（））を用いてクレーン本体及びトロリを評価

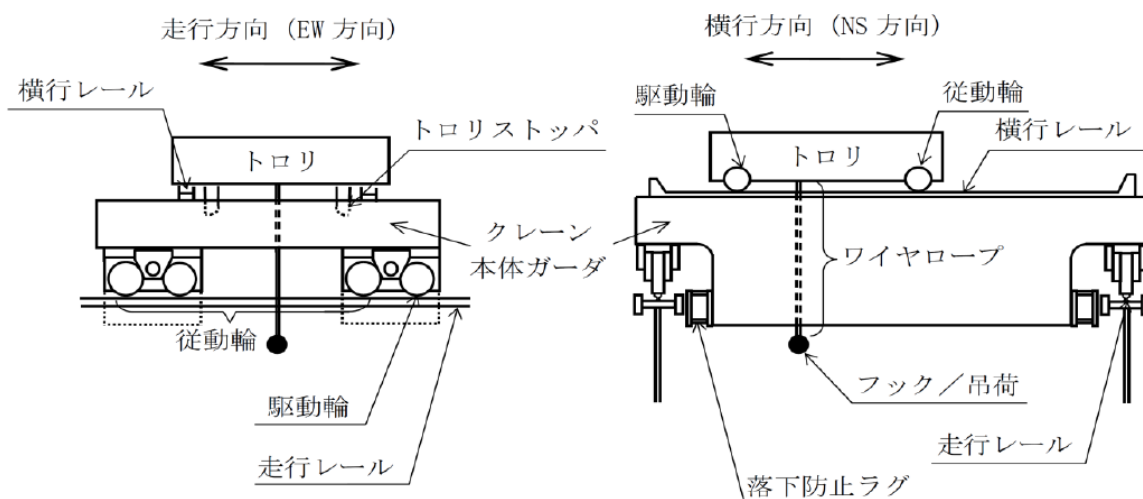


図1-10 島根2号機 原子炉建物天井クレーン概要図

(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 1-11）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 1-12 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、反発係数に相当する減衰比を適用する。

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。

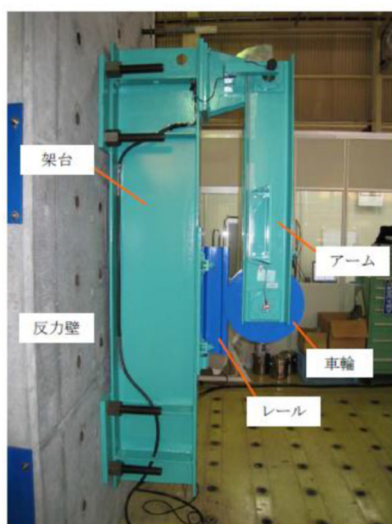


図 1-11 車輪反発係数試験体*

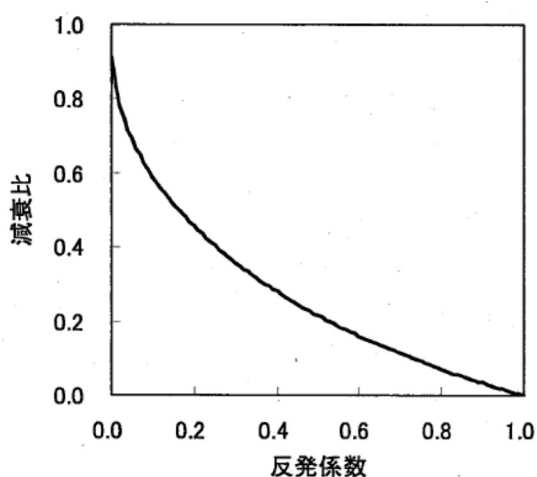


図 1-12 反発係数と減衰比の関係*

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

(5) 転倒防止装置の構造・モデル化について（ギャップ要素）

転倒防止装置は、図 1-13 に示すように、レールの上部からレール頭部をアームで挟み込む構造である。通常運転時、アームの先端の爪部とレールの間には間隙がある。クレーンに浮上りが発生してレール頭部と転倒防止装置のアーム先端の爪部が接触すると鉛直方向の荷重が伝達される。

水平方向については、レール直交方向には転倒防止装置が取付軸により回転する構造となっており、レールに沿った方向（クレーン走行方向）にはガイドローラによって滑る構造のため、水平荷重は発生しない。

以上より、転倒防止装置については、鉛直方向の爪部とレール頭部の間隙を考慮して、ギャップ要素によりモデル化を行う。

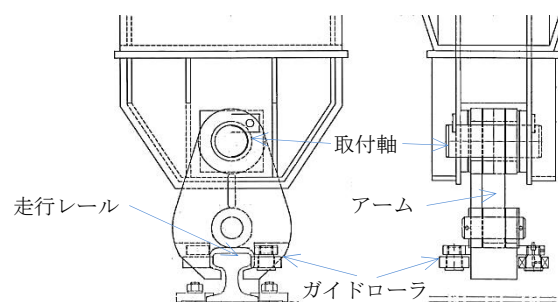


図 1-13 転倒防止装置の構造

3.2 評価ケースの設定

ガントリクレーンの地震応答解析にあたっては、トロリ及びホイストの位置や吊荷の有無によって地震時の挙動が変化する可能性があるため、トロリ及びホイストの位置並びに吊荷の有無に応じた解析ケースを設定する必要がある。設定した解析ケースを表1-5に示す。ガントリクレーン使用時の状況を踏まえて解析ケースについて検討した内容を以下に示す。

トロリにより吊荷を吊り上げる場合は、トロリを横行方向（NS 方向）に対象物の直上まで移動させ、対象物を吊り上げた後、トロリ位置はそのままでクレーン本体が走行方向（EW 方向）に点検等の作業エリアへ移動する。また、ホイストにより吊荷を吊り上げる場合もトロリの場合と同様に、ホイストを横行方向（NS 方向）に対象物の直上まで移動させ、対象物を吊り上げた後、ホイスト位置はそのままでクレーン本体が走行方向（EW 方向）に点検等の作業エリアへ移動する。トロリとホイストを同時に使用することはないため、トロリを使用する場合にはホイストは待機位置、ホイストを使用する場合にはトロリは待機位置から移動しない。トロリ及びホイストの待機位置について図 1-14 に示す。以上のトロリ及びホイストの使用状態を踏まえた解析ケースとして、トロリ及びホイストのいずれかは最大質量の吊荷有りとし、もう一方は待機位置で吊荷なしの条件を設定する。なお、吊荷有りの場合のトロリ及びホイストの位置は中央付近であるためガーダの中央とする。（ケース 1, 2）

ガントリクレーンを使用する場合は、クレーン本体が待機位置から吊り上げ対象物に向けて走行方向（EW 方向）に移動する。クレーン本体の移動中は、トロリ及びホイストはそれぞれの待機位置にある。このような状態を踏まえた解析ケースとして、トロリ及びホイストがいずれも待機位置で吊荷なしの条件を設定する。（ケース 3）

表 1-5 ガントリクレーンの耐震評価ケース

ケース	トロリ		ホイスト	
	位置	吊荷有無（質量）	位置	吊荷有無（質量）
1	中央	有り <input type="text"/>	待機位置	なし
2	待機位置	なし	中央	有り <input type="text"/>
3	待機位置	なし	待機位置	なし



図 1-14 取水槽ガントリクレーンのトロリ，ホイスト待機位置

3.3 評価用地震動及び解析ケース

ガントリ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表 1-6 に示す。

なお、評価用地震動及び解析ケースの詳細については、添付 5「取水槽ガントリクレーン評価用地震動の選定」及び添付 6「取水槽ガントリ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」に示す。

表 1-6 評価用地震動及び解析ケース

No.	解析ケース							選定理由		
	トロリ位置	ホイスト位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相*	時間刻みシフト			
1	中央	待機	標準	Ss-D	平均	++	基準	基本ケースとして評価		
2	待機	中央							Ss-N1	代表地震動の妥当性確認用として評価
3		Ss-F2								
4				+σ				基準	床応答スペクトルの拡幅 ±10%相当の不確かさ	
5		+9.1%シフト								
6				基準				ダンパ性能の不確かさ		
7		+10%シフト								
8				基準				位相反転地震動の確認		
9		-10%シフト								
10				基準				位相反転地震動の確認		
11		-10%シフト								
12				基準				位相反転地震動の確認		
13		-10%シフト								
14				基準				位相反転地震動の確認		
		-10%シフト								

■ : 基準ケースからの変更部分

注記* : ++の最初の符号は水平動, 次の符号は鉛直動を示し, 「-」は位相で反転させたケースを示す。

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)」

取水槽ガントリクレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用性

1. 概要

島根2号機取水槽ガントリクレーン（以下「ガントリクレーン」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。

ガントリ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。

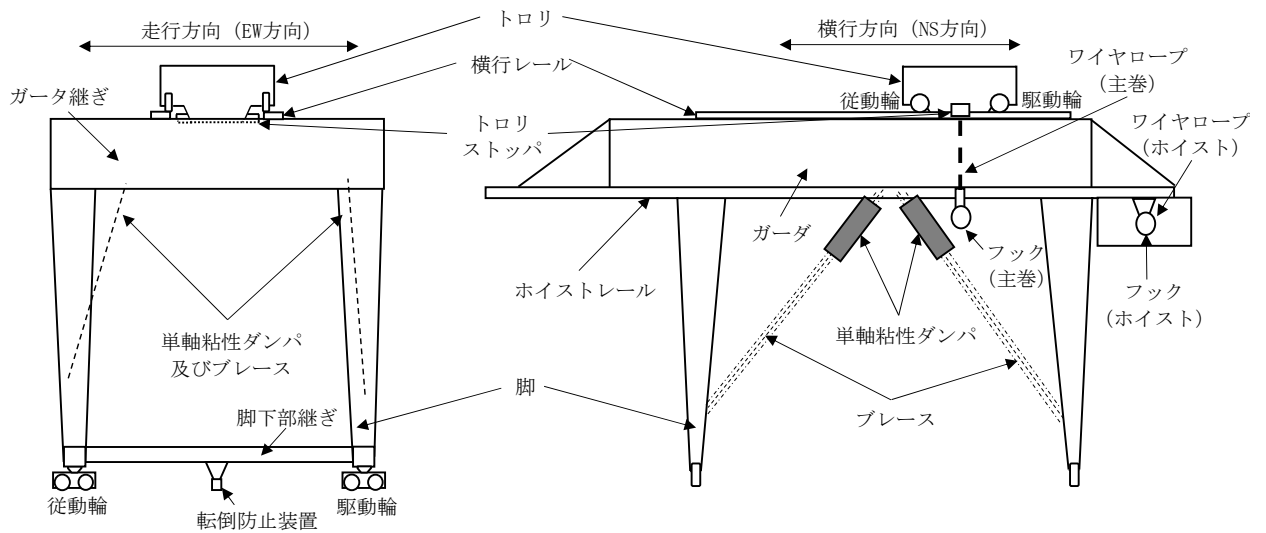


図 2-1 構造概要図

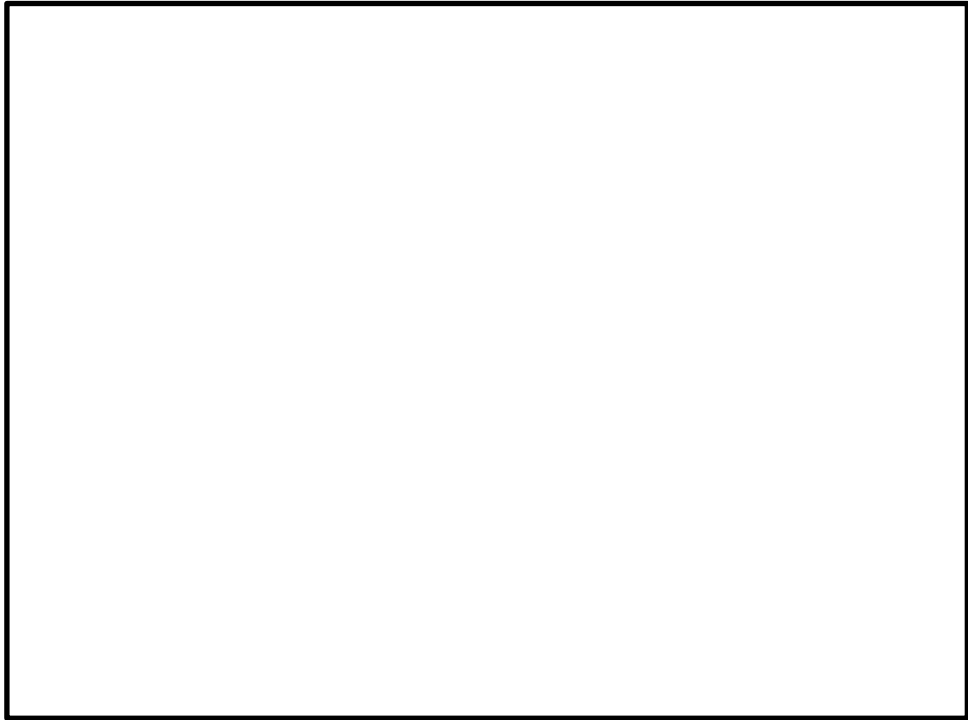


図 2-2 解析モデル概要図

2. 先行実績（BWR プラント原子炉建屋クレーン）との比較

ガントリ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女川2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。

ガントリクレーンは、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。

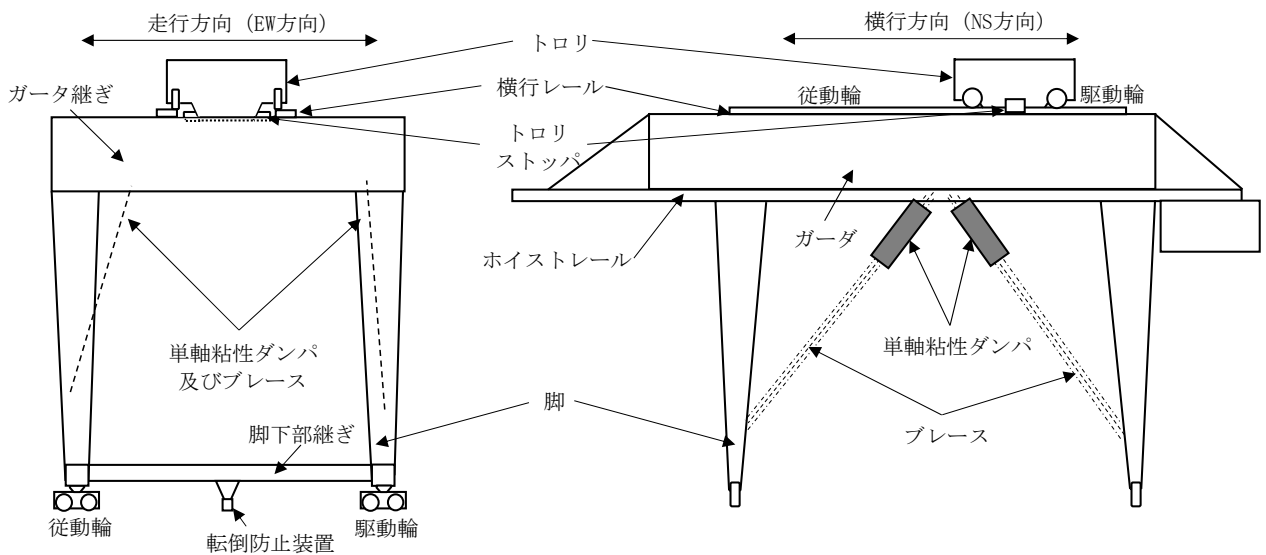
原子炉建屋クレーン及びガントリクレーンの概要図について図2-3に示す。



(a) 大間1号機原子炉建屋クレーン



(b) 女川2号機原子炉建屋クレーン



(c) 島根2号機ガントリクレーン

図 2-3 原子炉建屋クレーン及びガントリクレーンの構造概要図

(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。ガーダは走行レール上に、トロリは横行レール上とともに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。

ガントリ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。脚は走行レール上に4箇所にある車輪を介して固定されずに設置されており、転倒防止装置により鉛直方向の走行レールからの浮上りを抑制する構造としていることから、地震時には、原子炉建屋クレーンと同様に水平方向にすべりが発生する。また、トロリは横行レール上に4箇所にある車輪を介して固定されずに設置されており、地震時には、原子炉建屋クレーンと同様に水平方向にすべり、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ガントリ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。

両設備の違いは脚及び単軸粘性ダンパの有無だけであり、それ以外の構造物としての特徴は類似している。また、レールと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ガントリ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	女川2号機 原子炉建屋クレーン	島根2号機 ガントリクレーン
構造概要			同左
主要構造物			<ul style="list-style-type: none"> ・ガーダ ・ガーダ継ぎ ・トロリ ・脚 ・<u>単軸粘性ダンパ</u>
構造形状			同左
			同左

注：下線は相違点を示す。

2.1.2 荷重伝達

原子炉建屋クレーンとガントリ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水平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）の水平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ガントリ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ガントリ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随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) ガントリクレーン

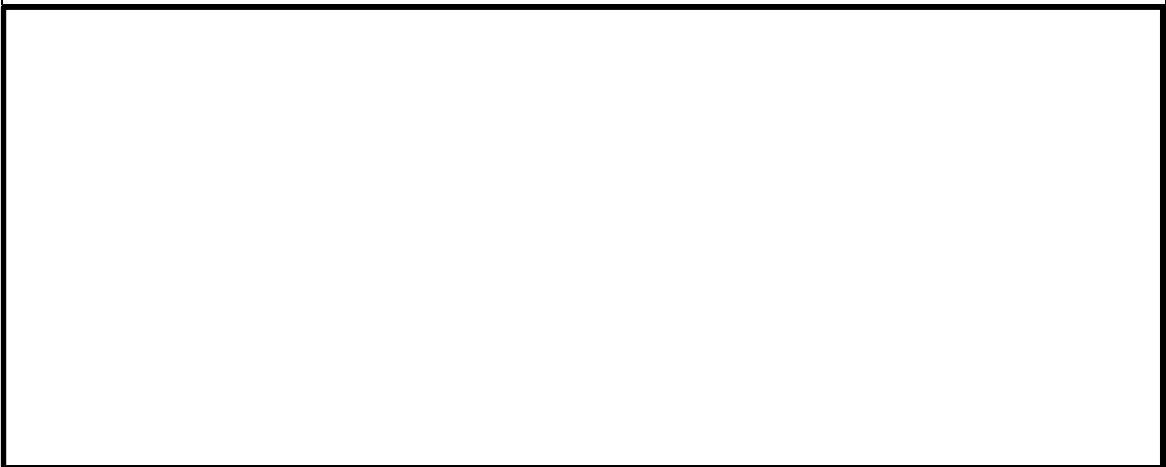
ガントリクレーンの本体車輪まわりは、図2-4に示すとおり走行装置が前後左右の4隅に配置された構造であり、各走行装置は2輪ずつの車輪で構成されている。車輪とレール間は鋼製部材同士の接触で上向きの拘束がなく浮上りが発生する点や駆動輪と従動輪で車輪が構成されている点など、原子炉建屋クレーンと同一の構造となっている。トロリの車輪まわりについても車輪(駆動輪、従動輪)配置や接触状況などについて同一構造となっている。

ガントリクレーン本体車輪まわり及びトロリ車輪まわりには、それぞれ転倒防止装置及びトロリストoppaが設置されているため、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。

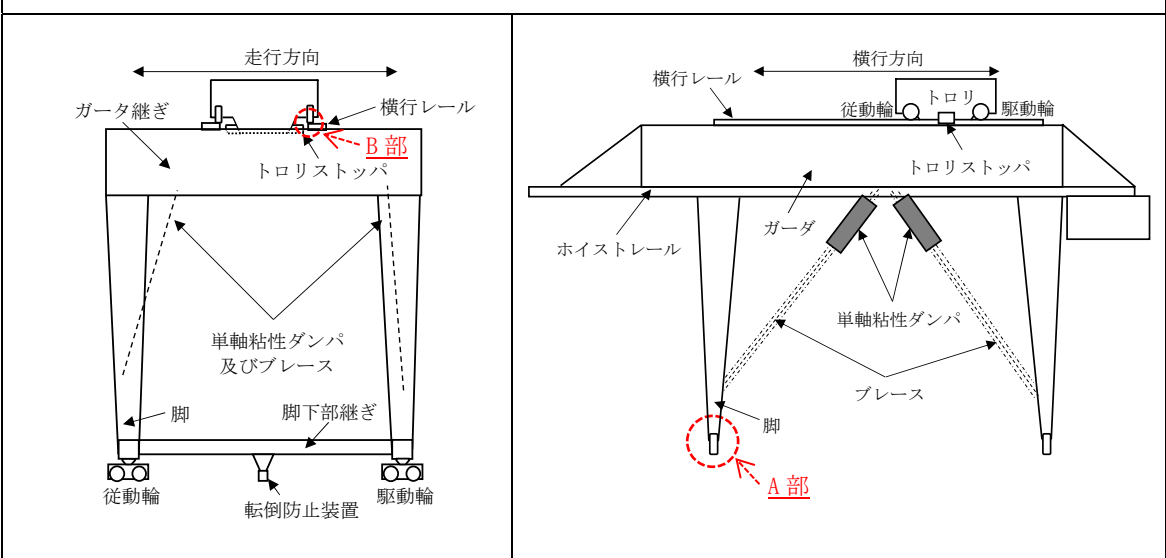
大間 1 号機 原子炉建屋クレーン



女川 2 号機 原子炉建屋クレーン

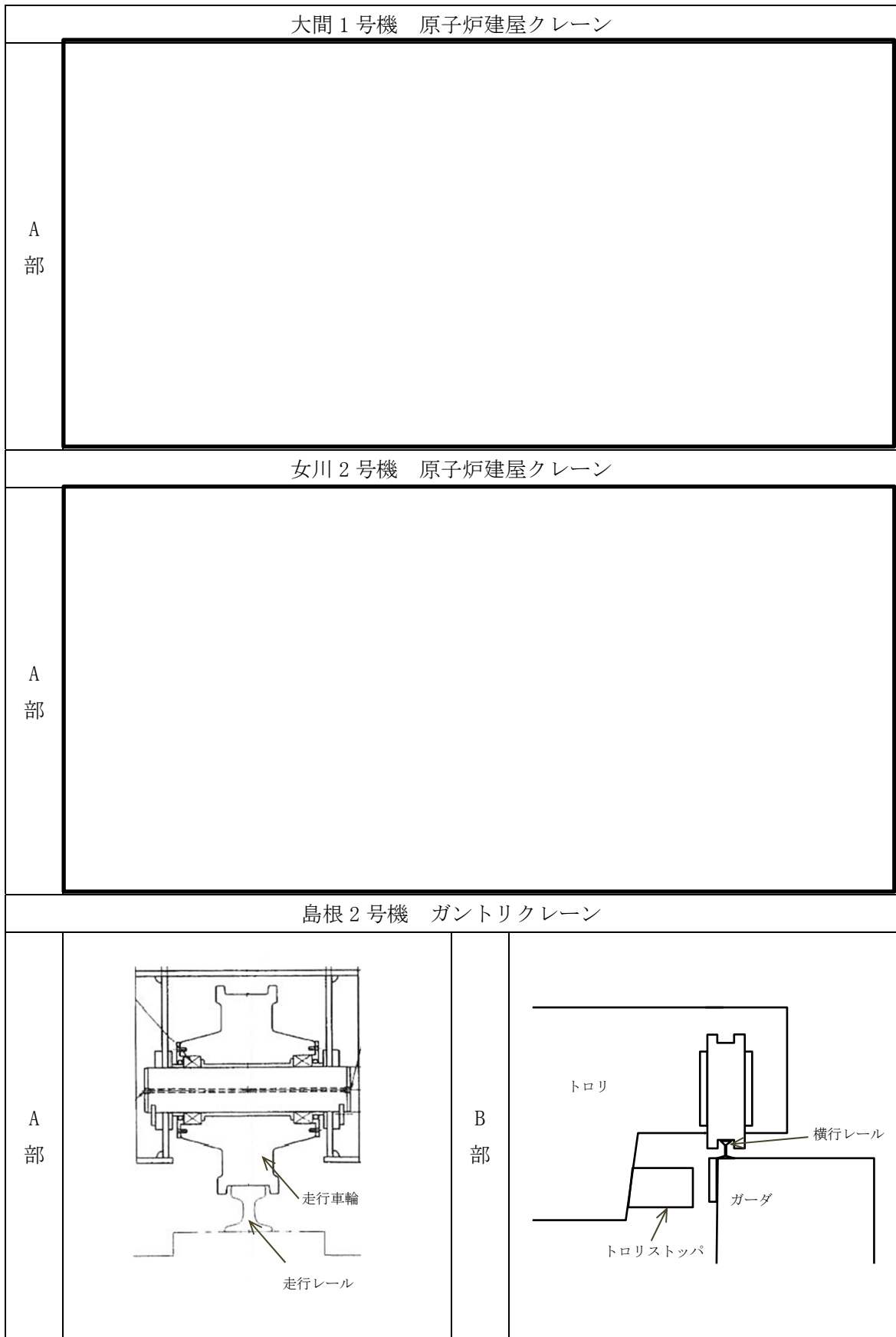


島根 2 号機 ガントリクレーン



(a) 概略構造比較

図 2-4 原子炉建屋クレーン及びガントリクレーンの構造比較 (1/2)



(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ガントリクレーンの構造比較 (2/2)

2.2 評価方法の比較

原子炉建屋クレーンとガントリクレーンの評価方法の比較を表 2-2 に示す。ガントリ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ガントリ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	女川2号機 原子炉建屋クレーン	島根2号機 ガントリクレーン
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			同左
入力地震動				取水槽におけるクレーン設置位置の時刻歴加速度
減衰定数	水平			同左
	鉛直			同左
解析プログラム				同左

3. 先行実績（PWR プラント及びBWR プラント門形クレーン）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ガントリ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（伊方3号機）及びBWRプラント（女川2号機）の門形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

伊方3号機、女川2号機の門形クレーン及び島根2号機のガントリ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プラント及びBWRプラントの門形クレーンと島根2号機のガントリクレーンでは一部の形状及び単軸粘性ダンパの差異はあるが、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。なお、島根2号機のガントリクレーンの転倒防止装置は、走行レールを掴むことで、転倒・脱線を防止する構造となっている。この構造は女川2号機の門型クレーンと異なっているが、伊方3号機の門型クレーンの浮上り防止装置と同様の構造である。島根2号機のガントリクレーンの転倒防止装置と伊方3号機の門型クレーンの浮上り防止装置の構造を図2-6に示す。

(a)伊方3号機門型クレーン

(b)女川2号機門型クレーン

(c)島根2号機ガントリクレーン

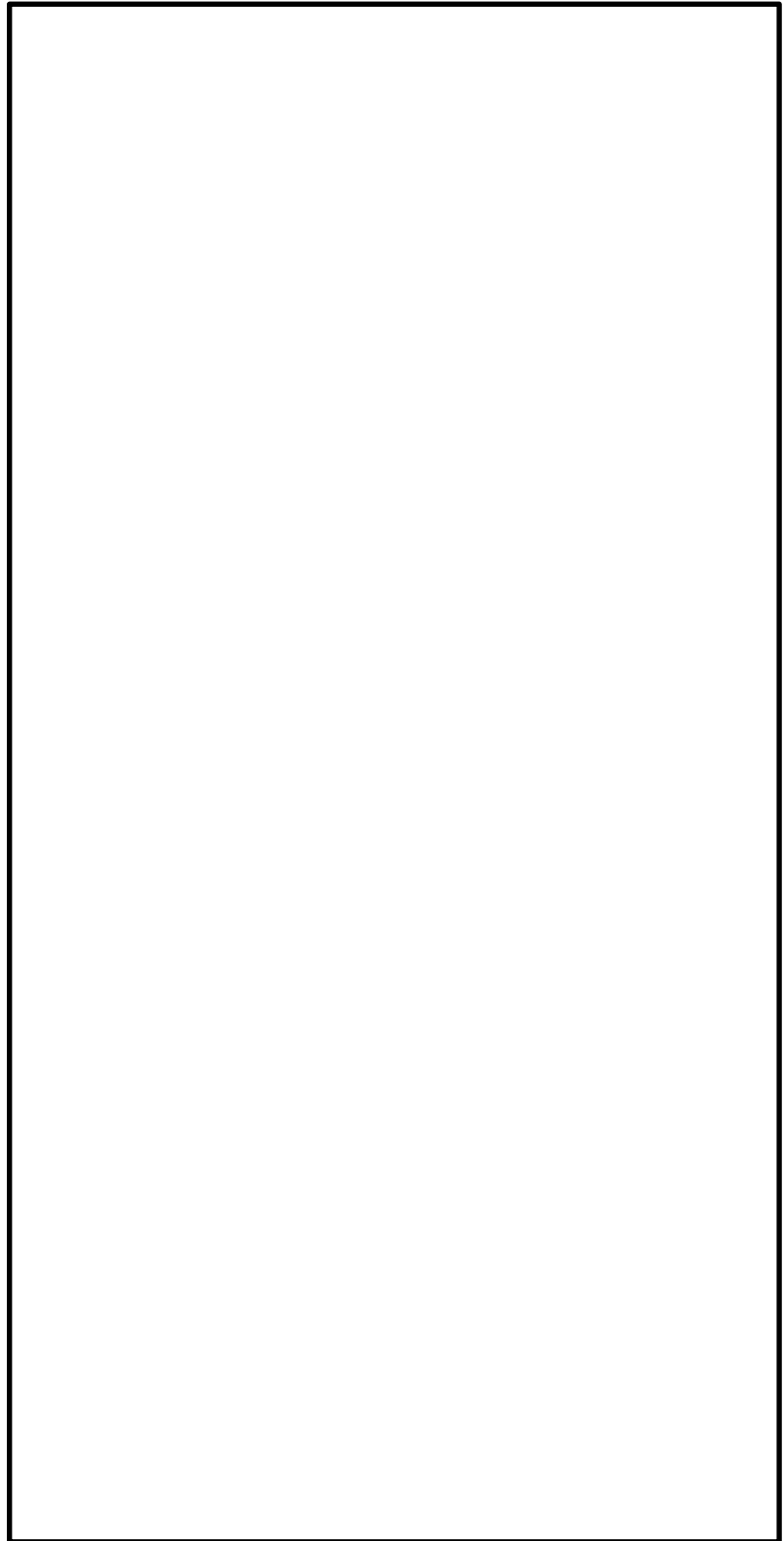
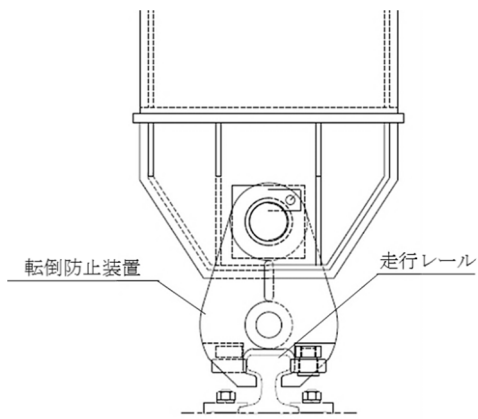


図 2-5 ガントリクレーン概略構造図

表 2-3 PWR 及び BWR プラント門形クレーンと島根 2 号機ガントリクレーンの構造の特徴比較

	伊方 3 号機 門型クレーン	女川 2 号機 門型クレーン	島根 2 号機 ガントリクレーン
構造概要			同左
主要構造物			<ul style="list-style-type: none"> ・ ガーダ ・ トロリ ・ ガーダ継ぎ ・ 脚 ・ 転倒防止装置 ・ トロリストoppa ・ 単軸粘性ダンパ
構造形状			同左
			同左

注：下線は相違点を示す。



島根 2 号機
ガントリクレーンの
転倒防止装置



伊方 3 号機
門型クレーンの
浮上り防止装置

図 2-6 ガントリクレーンの転倒防止装置及び伊方 3 号機門型クレーンの浮上り防止装置の構造

3.2 評価方法の比較

伊方3号機の門型クレーン、女川2号機の門形クレーン及び島根2号機のガントリ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島根2号機のガントリクレーンと同一の評価方法である。

表2-4 PWR及びBWRプラント門形クレーンと島根2号機ガントリクレーンの評価方法比較

項目		伊方3号機 門形クレーン	女川2号機 門形クレーン	島根2号機 ガントリクレーン
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	動的地震力			同左
	鉛直			
入力地震動				取水槽におけるクレーン設置位置の時刻歴加速度
減衰 定数	2.0%			同左
	鉛直			
解析プログラム				同左

4. 非線形時刻歴応答解析の適用性（まとめ）

島根2号機取水槽ガントリ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女川2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、ガントリクレーンは、クレーン本体の鋼構造物として脚が存在し単軸粘性ダンパを有する点及び脱線防止ラグと転倒防止装置の構造において差異があるが、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及び単軸粘性ダンパ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とし、単軸粘性ダンパを有する構造物への解析手法については、添付12「単軸粘性ダンパの取水槽ガントリクレーンへの設置」に示す。

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FEM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3項のとおり、新規制基準対応工認で実績のあるPWRプラント及びBWRプラントの門形クレーンと比較しても島根2号機のガントリクレーンは一部構造の差異があるが主要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、島根2号機取水槽ガントリ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	女川 2 号機 原子炉建屋クレーン	島根 2 号機 取水槽ガントリクレーン
構造分類			同左
主要構造物			<ul style="list-style-type: none"> ・ガード ・ガード継ぎ ・トロリ ・脚 ・単軸粘性ダンパ
構造形状			同左
構造概略図	構造比較		

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	女川 2 号機 原子炉建屋クレーン	島根 2 号機 取水槽ガンントリクレーン	
解析手法	構造比較	構造比較	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				
地震力			水平	
			鉛直	
入力地震動			水平	
			鉛直	
解析プログラム				
時刻歴の保守性検討				

PWR 及び BWR プラント型クレーンとの構造比較

項目	伊方3号機 海水ピットクレーン	女川2号機 海水ポンプ室門型クレーン	島根2号機 取水槽ガントリクレーン
構造分類			
主要構造物			
構造形状			
構造概略図			
構造比較			

PWR及びBWRプラント門型クレーンとの評価手法比較

項目	伊方3号機 海水ピットクレーン	女川2号機 海水ポンプ室門型クレーン	島根2号機 取水槽ガントリクレーン
解析手法			同左
解析モデル			同左
解析モデル 概要図			
構造比較	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			同左
時刻歴の保守性検討			同左

取水槽ガントリ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、取水槽ガントリ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、レール直交方向に対しては走行車輪つば又はトロリスト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、接触による摩擦力の考慮

ガントリ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。

ガントリ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（走行車輪つば～走行レール間）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 一定の条件の下、垂直抗力Nを時々刻々変化させた摩擦力 $F (= \mu N)$ 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、走行車輪つばがレール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。

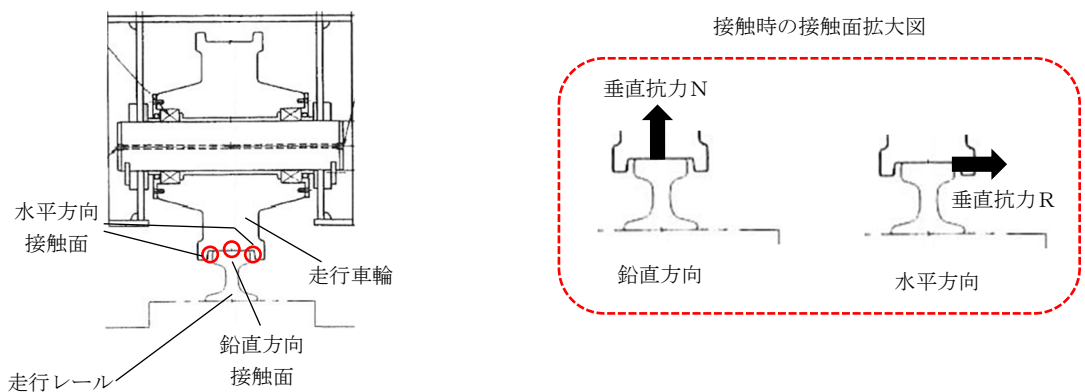


図 4-1 鉛直方向と水平方向の接触面

3. レール等の破損による解析条件への影響

ガントリ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、レール直交方向に対しては走行車輪つばまたはトロリスト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」が走行車輪つばまたはトロリストoppaの健全性を確認することで満足されることを示す。

ガントリ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、走行車輪つばが走行レールに、トロリストoppaがガーダに接触することでレール直交方向の移動量は制限される。

走行車輪つば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、走行車輪つばと走行レール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)。

トロリストoppa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、トロリストoppaとガーダ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横行レール上から落ちることは無い (図4-3)。また、トロリストoppaとガーダが接触する前に車輪から横行レールに荷重が伝わることになるが、車輪のつばと横行レールが接触 (移動量) してからトロリストoppaとガーダが接触 (移動量) し、移動量が制限されるまでの移動量は 程度であることから、トロリストoppaが接触して機能する前に鋼製部材である横行レールが大きく破損することは無いと考える。

以上より、地震時に走行車輪つばが走行レールに、トロリストoppaがガーダに接触して機能する前に車輪がすべり面であるレールから落下することや、レールが大きく破損することが無いことから走行車輪つば及びトロリストoppa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。

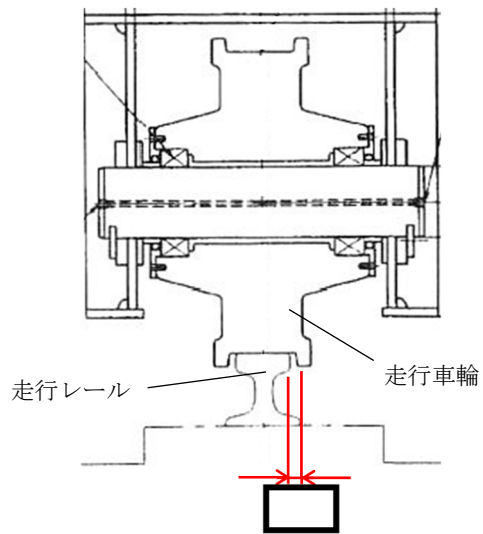
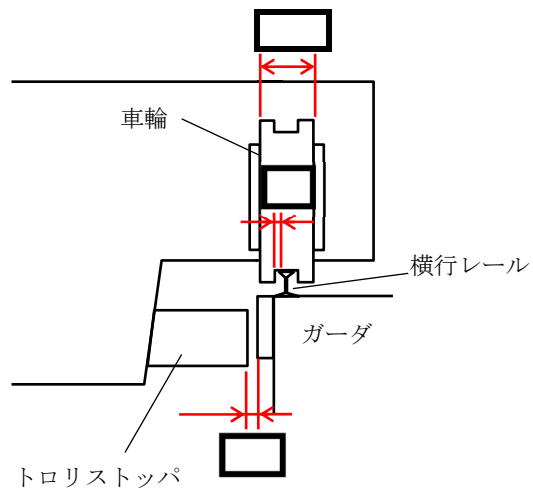
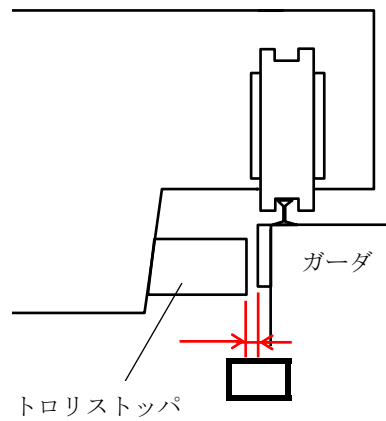


図 4-2 本体車輪部概念図

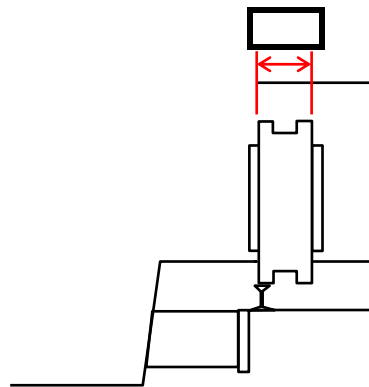
(本図は車輪が走行レールから外れないことを示すための概念図であり，構造物の大きさや間隙については実物と異なる。)



(a) 通常時



(b) 地震力による車輪のつばが横行レールに接触（水平移動力)



(c) 地震力によるトロリストoppaと横行レールに接触（水平移動力)

図 4-3 トロリ車輪部概念図

(本図は車輪が横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。)

取水槽ガントリクレーン評価用地震動の選定

1. はじめに

取水槽ガントリクレーン（以下「ガントリクレーン」という。）の耐震評価においては、地震加速度によってクレーン全体の走行車輪、及びトロリの横行車輪に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時刻歴加速度波の3方向同時入力による非線形時刻歴応答解析を適用している。そのため、スペクトルモーダル解析のような基準地震動 S_s の包絡条件を用いた耐震評価ではなく、個々の基準地震動 S_s それぞれを入力条件とした耐震評価を実施している。

VI-2-11-2-7-14「取水槽ガントリ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 5波のうち、ガントリクレーンの耐震評価への影響が大きい（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。

2. ガントリクレーンの耐震評価に適用する地震動の選定

以下に、ガントリクレーンに適用する評価用地震動の選定方法と結果を示す。ガントリクレーンは取水槽に沿って敷設される走行レール上に、トロリはクレーン本体ガーダ上に敷設される横行レール上に各々設置されるため、地震時にクレーン全体もしくはトロリにすべりが発生する構造特徴があることから、地震動の影響が大きいガントリクレーンの応答方向を絞り込んだ上で、評価用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

図 5-1 に示すとおり、ガントリクレーンは走行レール上を脚を有するクレーン本体ガーダが走行し、ガーダ上面にある横行レール上をトロリが走行する。脚は転倒防止装置を備えており、鉛直方向の浮上りを拘束する構造である。トロリはトロリストoppaを備えており、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（EW 方向）に、トロリは横行方向（NS 方向）に滑りが発生し、トロリは鉛直方向（UD 方向）に浮上りが発生する。

これらの構造特徴を踏まえ、ガントリクレーンの各方向の地震影響は以下のとおり整理できることから、地震応答方向の選定では横行方向（NS 方向）及び鉛直方向（UD 方向）の2方向に着目する。

(1) 走行方向（EW 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ガントリクレーン全体に滑りが発生するため、走行方向（EW 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 (NS 方向)

地震時にトロリは滑るものの、走行レールに対して直角方向となるクレーン本体ガード、脚はクレーン本体の走行車輪部で拘束されるため、地震による水平力がクレーン本体ガードに発生する。

(3) 鉛直方向 (UD 方向)

鉛直下向き方向は取水槽躯体に支持されるため、クレーン脚部は一定以上の浮上りが発生しないように拘束されているが、トロリはレールに固定されていないため浮上りが発生する。

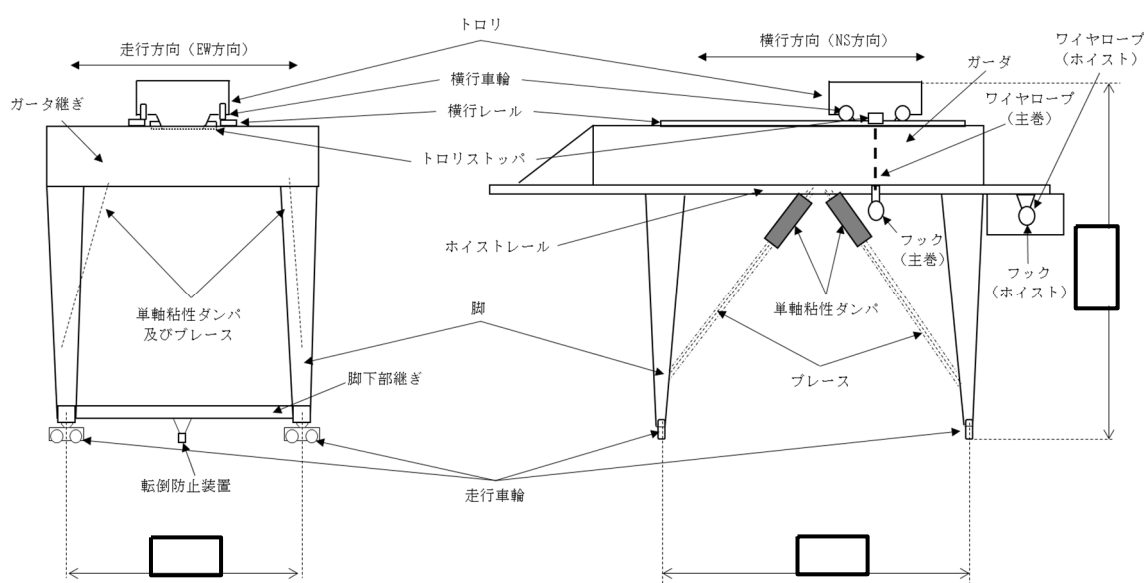


図 5-1 構造概要図

2.2 評価用地震動の選定

2.2.1 評価用地震動の選定方法

表 5-1 に、基準地震動 S_s の概要を示す。

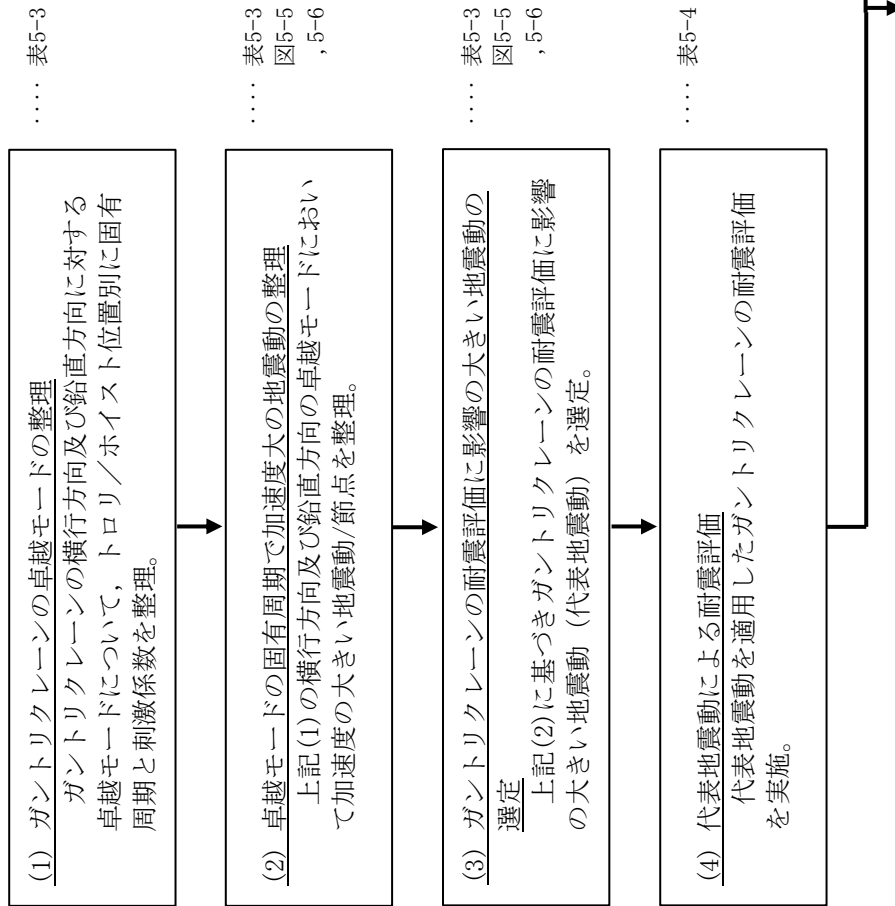
図 5-2 に、評価用地震動の選定及び妥当性確認手順を示す。

島根原子力発電所第 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 5 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)の手順でガントリークレーンの耐震評価への影響が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 S s			最大加速度 (cm/s ²)		
			水平方向	鉛直方向	
Ss-D	敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動	応答スペクトル手法による基準地震動		820	547
Ss-F1		断層モデル手法による基準地震動	宍道断層による地震の中越沖地震の短周期レベルの不確かさ 破壊開始点 5	549 (NS) 560 (EW)	337
Ss-F2			宍道断層による地震の中越沖地震の短周期レベルの不確かさ 破壊開始点 6	522 (NS) 777 (EW)	
Ss-N1	震源を特定せず策定する地震動による基準地震動	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
Ss-N2	震源を特定せず策定する地震動による基準地震動	2000 年鳥取県西部地震の賀祥ダム (監査廊) の観測記録		528 (NS) 531 (EW)	485

[地震動の選定手順 (2.2 項)]



[選定した地震動の妥当性確認手順 (2.3 項)]

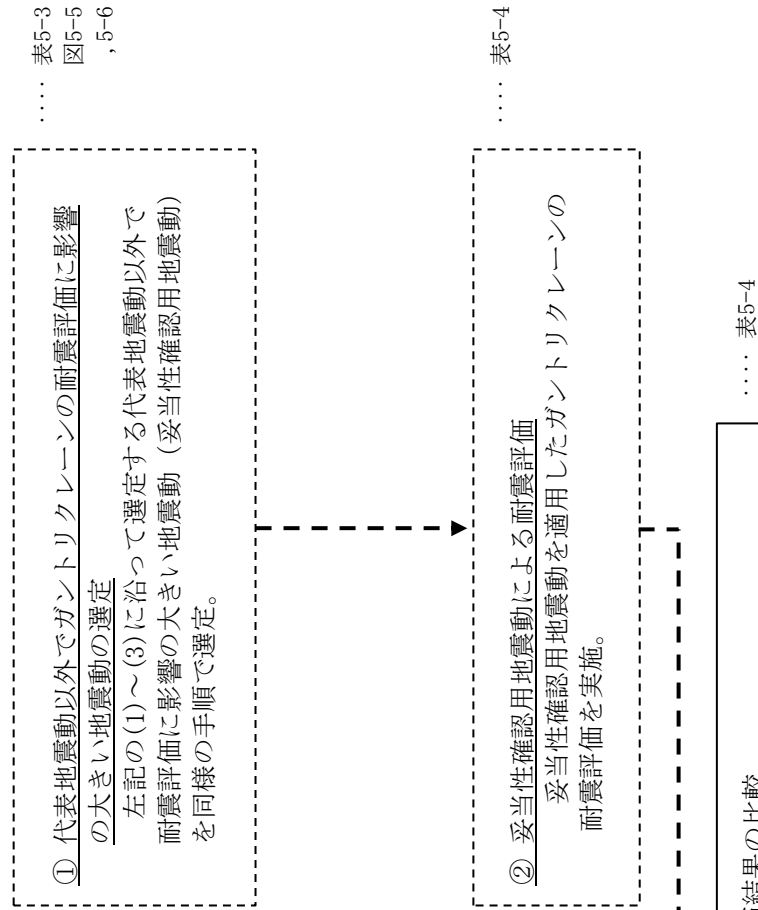


図 5-2 ガントリクレーンの評価用地震動の選定及び妥当性確認手順

2.2.2 評価用地震動の選定結果

前述の図 5-2 に示す手順に沿って検討した結果を以下に示す。

(1) ガントリクレーンの卓越モードの整理

表 5-2 及び図 5-3 に、ガントリクレーンの固有値解析結果と振動モードを示す。

表 5-3 に、ガントリクレーンの卓越モードを整理した結果を示す。

(2) 卓越モードの固有周期で加速度大の地震動の整理

表 5-3 に、卓越モードで加速度大となる地震動/節点を整理した結果を示す。

また、取水槽の地震応答解析モデルを図 5-4 に、床応答スペクトルの重ね合わせを図 5-5～図 5-10 に示す。

(3) ガントリ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ガントリ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 に示す通り、S_s-D がガントリクレーンの卓越モードで加速度大となる地震動の上位となっていることが分かる。これは、S_s-D 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-N1 がガントリクレーンの卓越モードで最大加速度となっているものがあるが、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や、震源を特定せずに策定する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る。このため、ガントリクレーン全体評価に及ぼす影響は小さいと考えられる。以上の内容を踏まえ、S_s-D を代表地震動として選定した。

(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 5-4)は、2.3 項にて後述する。

表 5-2(1) 固有値解析結果 <トロリ中央 /ホイスト待機, ダンパ標準>

モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*		
			水平方向		鉛直方向
			EW	NS	UD
1次	水平 (NS) 方向				
2次	水平 (NS) 方向				
3次	水平 (EW) 方向				
4次	—				
5次	—				
6次	水平 (NS) 方向				
7次	水平 (NS) 方向				
8次	水平 (NS) 方向				
9次	水平 (NS) 方向				
10次	鉛直方向				
11次	鉛直方向				
12次	鉛直方向				
13次	鉛直方向				
14次	鉛直方向				
15次	鉛直方向				
16次	鉛直方向				
17次	鉛直方向				
18次	鉛直方向				
19次	水平 (NS) 方向				
20次	水平 (NS) 方向				
21次	水平 (NS) 方向				
22次	鉛直方向				
23次	—				
24次	鉛直方向				
25次	鉛直方向				
26次	鉛直方向				
27次	鉛直方向				
28次	鉛直方向				
29次	鉛直方向				
30次	鉛直方向				
31次	水平 (NS) 方向				
32次	鉛直方向				
33次	鉛直方向				
34次	鉛直方向				
35次	鉛直方向				
36次	水平 (NS) 方向				
37次	水平 (NS) 方向				
38次	鉛直方向				
39次	鉛直方向				
40次	鉛直方向				

モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*		
			水平方向		鉛直方向
			EW	NS	UD
41次	水平(NS)方向				
42次	鉛直方向				
43次	鉛直方向				
44次	鉛直方向				
45次	鉛直方向				
46次	鉛直方向				
47次	鉛直方向				
48次	鉛直方向				
49次	鉛直方向				
50次	鉛直方向				
51次	鉛直方向				
52次	鉛直方向				
53次	—				
54次	水平(NS)方向				
55次	水平(NS)方向				
56次	水平(NS)方向				
57次	鉛直方向				
58次	鉛直方向				
59次	水平(NS)方向				
60次	水平(NS)方向				

注記* : モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

注 : ■ 有効質量最大の振動モードを示す。

表 5-2(2) 固有値解析結果 <トロリ待機/ホイスト中央 , ダンパ標準>

モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*		
			水平方向		鉛直方向
			EW	NS	UD
1次	水平 (EW) 方向				
2次	水平 (NS) 方向				
3次	水平 (NS) 方向				
4次	—				
5次	—				
6次	水平 (NS) 方向				
7次	水平 (NS) 方向				
8次	水平 (NS) 方向				
9次	水平 (NS) 方向				
10次	鉛直方向				
11次	鉛直方向				
12次	鉛直方向				
13次	鉛直方向				
14次	鉛直方向				
15次	水平 (NS) 方向				
16次	鉛直方向				
17次	鉛直方向				
18次	鉛直方向				
19次	水平 (NS) 方向				
20次	水平 (NS) 方向				
21次	水平 (NS) 方向				
22次	鉛直方向				
23次	—				
24次	鉛直方向				
25次	鉛直方向				
26次	鉛直方向				
27次	鉛直方向				
28次	鉛直方向				
29次	鉛直方向				
30次	鉛直方向				
31次	鉛直方向				
32次	鉛直方向				
33次	鉛直方向				
34次	鉛直方向				
35次	水平 (NS) 方向				
36次	鉛直方向				
37次	鉛直方向				
38次	鉛直方向				
39次	鉛直方向				
40次	鉛直方向				

モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*		
			水平方向		鉛直方向
			EW	NS	UD
41次	鉛直方向				
42次	鉛直方向				
43次	鉛直方向				
44次	鉛直方向				
45次	鉛直方向				
46次	鉛直方向				
47次	鉛直方向				
48次	水平(NS)方向				
49次	水平(NS)方向				
50次	水平(NS)方向				
51次	水平(NS)方向				
52次	鉛直方向				
53次	鉛直方向				
54次	鉛直方向				
55次	鉛直方向				
56次	水平(NS)方向				
57次	鉛直方向				
58次	鉛直方向				
59次	鉛直方向				
60次	鉛直方向				
61次	鉛直方向				

注記* : モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

注 : ■ 有効質量最大の振動モードを示す。

表 5-2(3) 固有値解析結果 <トロリ待機/ホイスト待機, ダンパ標準>

モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*		
			水平方向		鉛直方向
			EW	NS	UD
1次	水平 (EW) 方向				
2次	水平 (NS) 方向				
3次	水平 (NS) 方向				
4次	水平 (NS) 方向				
5次	水平 (NS) 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	鉛直方向				
12次	水平 (NS) 方向				
13次	鉛直方向				
14次	鉛直方向				
15次	鉛直方向				
16次	水平 (NS) 方向				
17次	水平 (NS) 方向				
18次	水平 (NS) 方向				
19次	鉛直方向				
20次	—				
21次	鉛直方向				
22次	鉛直方向				
23次	鉛直方向				
24次	鉛直方向				
25次	鉛直方向				
26次	鉛直方向				
27次	鉛直方向				
28次	鉛直方向				
29次	鉛直方向				
30次	鉛直方向				
31次	鉛直方向				
32次	鉛直方向				
33次	鉛直方向				
34次	水平 (NS) 方向				
35次	水平 (NS) 方向				
36次	鉛直方向				
37次	鉛直方向				
38次	鉛直方向				
39次	鉛直方向				
40次	鉛直方向				

モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*		
			水平方向		鉛直方向
			EW	NS	UD
41次	鉛直方向				
42次	鉛直方向				
43次	鉛直方向				
44次	鉛直方向				
45次	水平(NS)方向				
46次	鉛直方向				
47次	鉛直方向				
48次	鉛直方向				
49次	鉛直方向				
50次	水平(NS)方向				
51次	鉛直方向				
52次	水平(NS)方向				
53次	鉛直方向				
54次	鉛直方向				
55次	鉛直方向				
56次	鉛直方向				
57次	鉛直方向				
58次	水平(NS)方向				

注記* : モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

注 : ■ 有効質量最大の振動モードを示す。

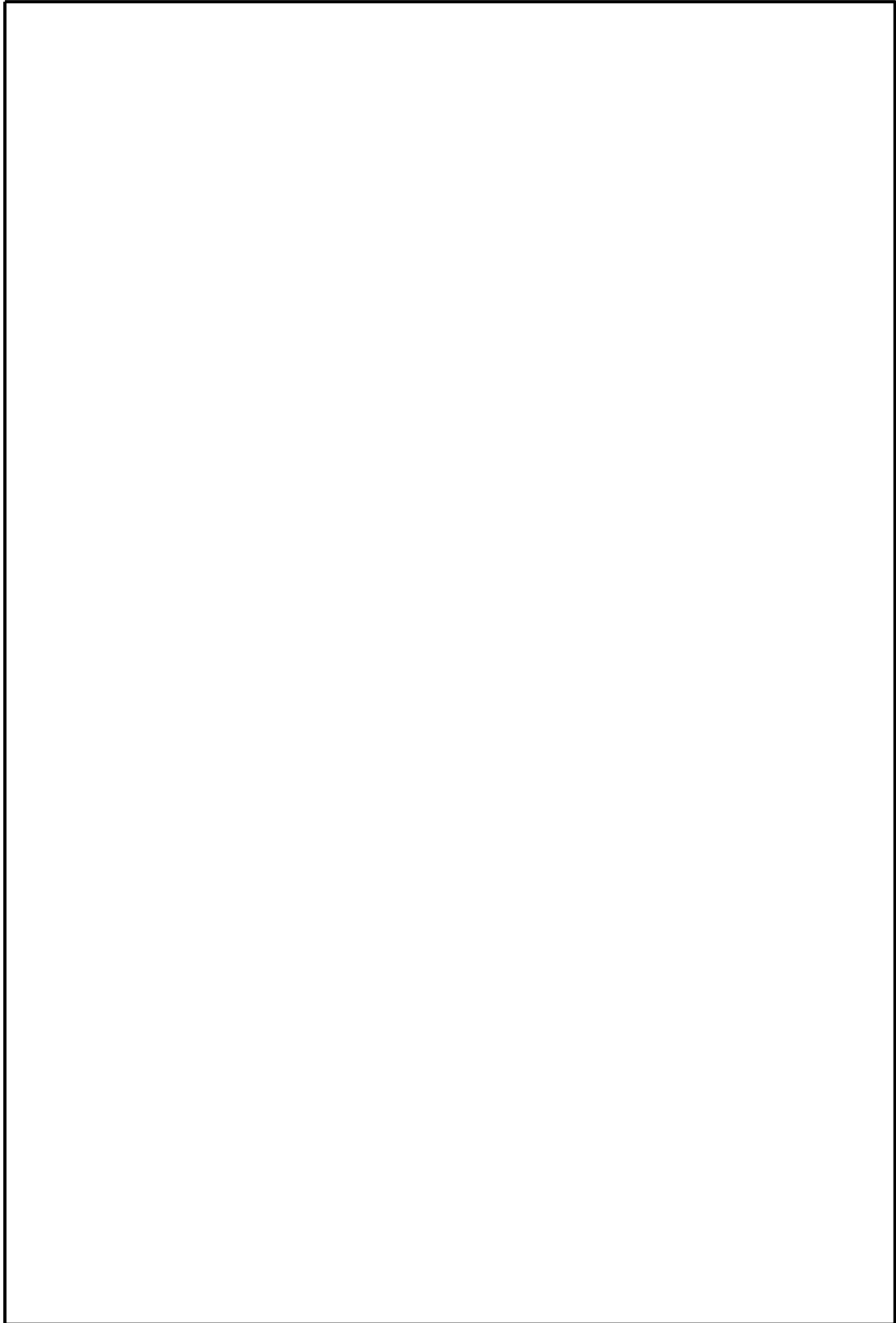


図 5-3(1) 振動モード図 <トロリ中央□/ホイスト待機, ダンパ標準>

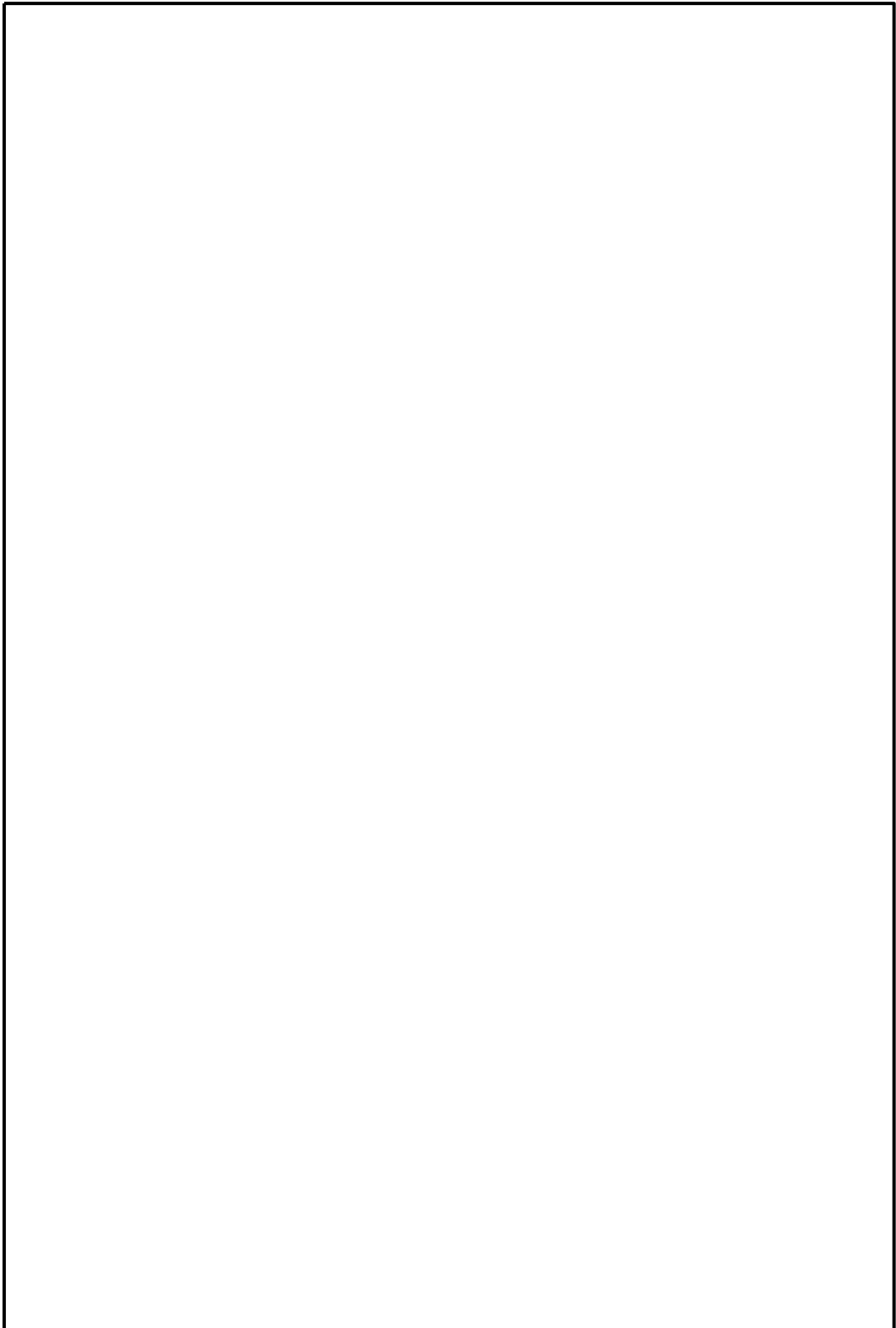


図 5-3(2) 振動モード図 <トロリ待機/ホイスト中央 , ダンパ標準>

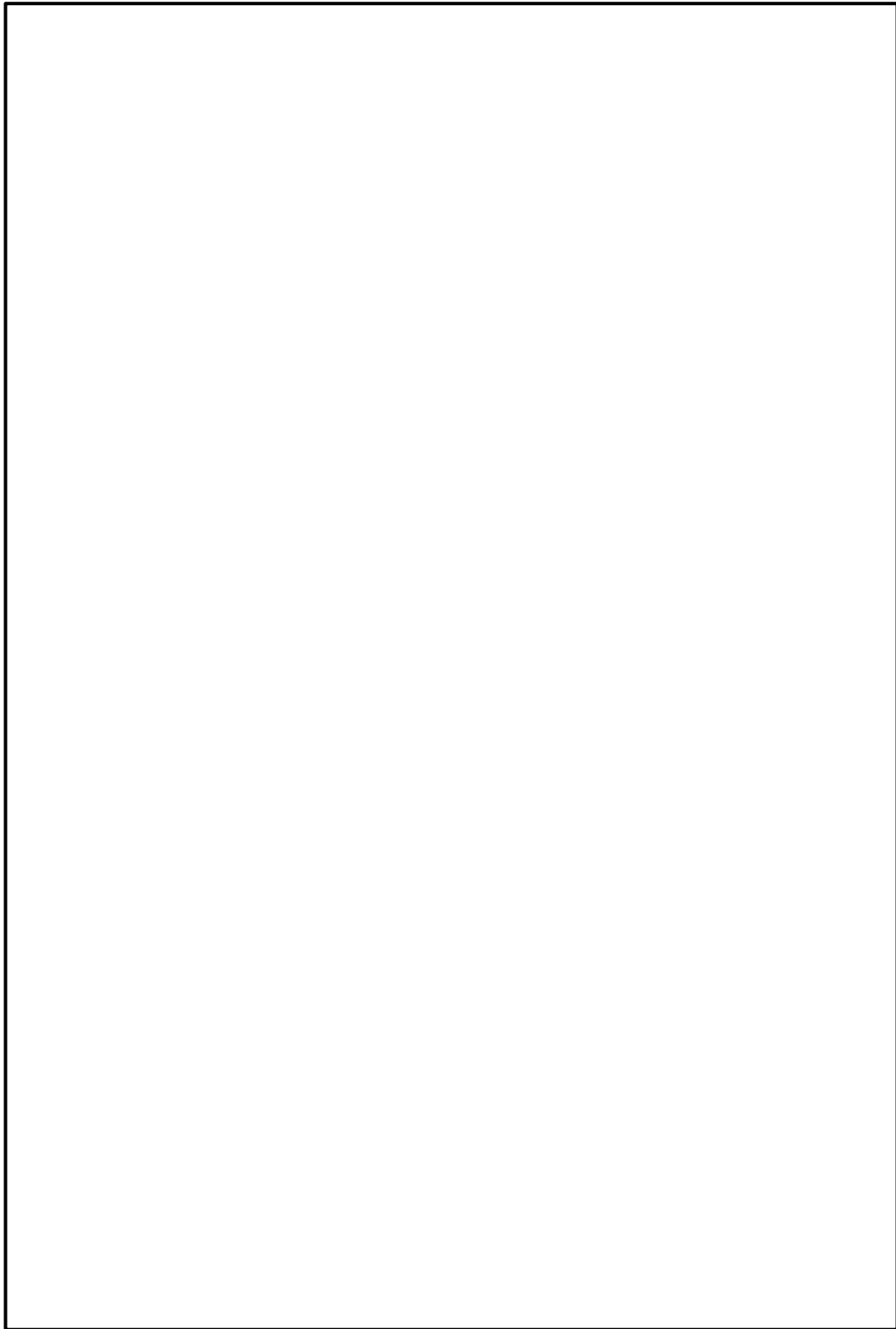


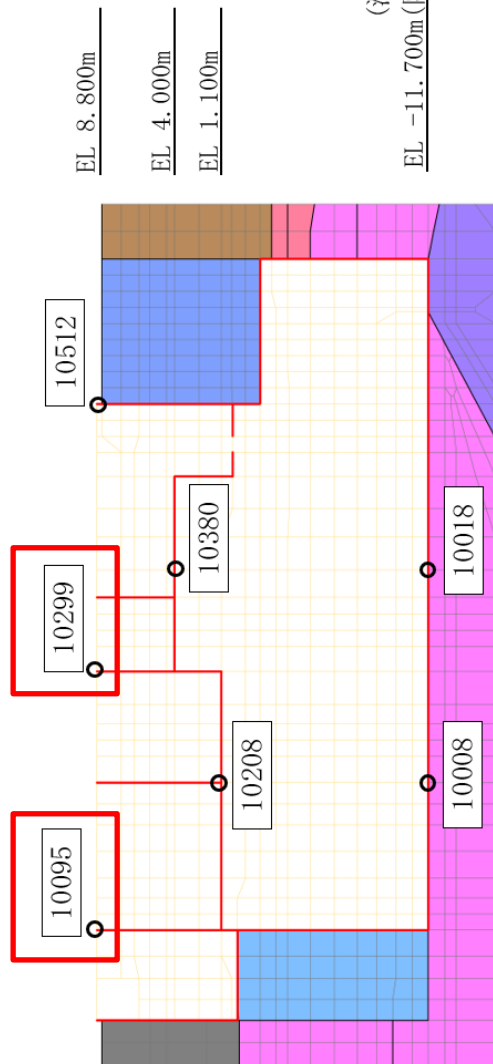


図 5-3(3) 振動モード図 <トロリ待機/ホイスト待機, ダンパ標準>

表 5-3 ガントリクレーンの耐震評価に影響の大きい地震動の整理

No.	トロリ (吊荷)	ホイス (吊荷)	ダンパ 性能	水平方向						鉛直方向					
				横行方向卓越モード固有値 (有効質量最大)			加速度大となる地震動*1			鉛直方向卓越モード固有値 (有効質量最大)			加速度大なる地震動*1		
				固有 振動数 [Hz]	固有 周期 [s]	床応答 スベクトル 図番	順位	地震動	節点	加速度 [m/s ²]	固有 振動数 [Hz]	固有 周期 [s]	床応答 スベクトル 図番	順位	地震動
1	中央 	待機	標準	図5-5	1位	Ss-N1	10299	18.44	図5-8	1位	Ss-F2(NS)	10095	19.184		
					2位	Ss-N1	10095	18.409		2位	Ss-F2(NS)	10299	18.875		
					3位	Ss-D	10299	16.513		3位	Ss-D	10095	16.939		
					4位	Ss-D	10095	16.455		4位	Ss-F2(EW)	3033	16.818		
					5位	Ss-F2	10029	16.352		5位	Ss-D	10299	16.045		
					6位	Ss-F2	10095	16.307		6位	Ss-D	3000	15.730		
2	待機 中央 	標準	図5-6	1位	Ss-N1	10029	18.473	図5-9	1位	Ss-D	10095	20.860			
				2位	Ss-N1	10095	18.44		2位	Ss-F2(NS)	10299	19.217			
				3位	Ss-D	10299	16.486		3位	Ss-D	10299	18.851			
				4位	Ss-D	10095	16.429		4位	Ss-F2(NS)	10095	17.843			
				5位	Ss-F2	10299	16.424		5位	Ss-F2(NS)	10095	17.390			
				6位	Ss-F2	10095	16.376		6位	Ss-D	3000	17.241			
3	待機	標準	図5-7	1位	Ss-N1	10299	18.451	図5-10	1位	Ss-F2(EW)	3033	20.042			
				2位	Ss-N1	10095	18.419		2位	Ss-F2(EW)	3000	19.918			
				3位	Ss-D	10299	16.504		3位	Ss-D	3033	19.777			
				4位	Ss-D	10095	16.447		4位	Ss-N2(NS)	3000	18.048			
				5位	Ss-F2	10299	16.376		5位	Ss-N2(NS)	3033	17.977			
				6位	Ss-F2	10095	16.33		6位	Ss-F1(EW)	3000	17.795			

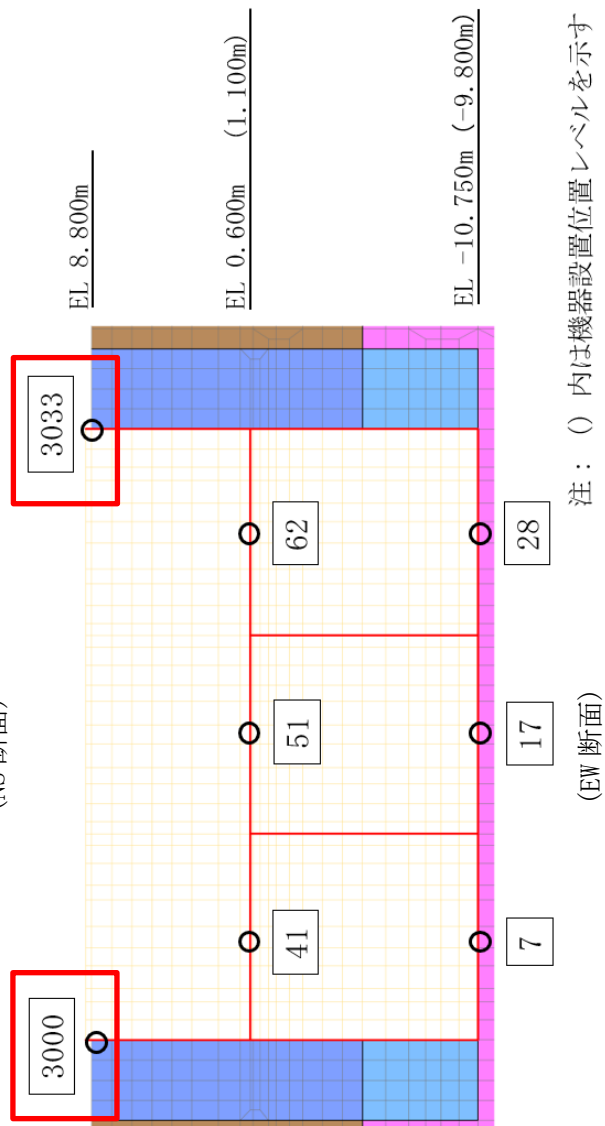
注記*1：節点位置の詳細は、図5-4に示す。



(海水ポンプエリア：-9.800m)
 (除じん機エリア：-9.700m)

注：○内は機器設置位置レベルを示す

(NS断面)



注：○内は機器設置位置レベルを示す

(EW断面)

□：ガントリクレーン用の
地震応答出力点

図 5-4 取水槽の地震応答解析モデル



図 5-5(1/2) 床応答スペクトルとガントリクレーン固有周期の重ね合わせ
〈トロリ中央/ホイスト待機, ダンパ性能標準, NS 方向〉

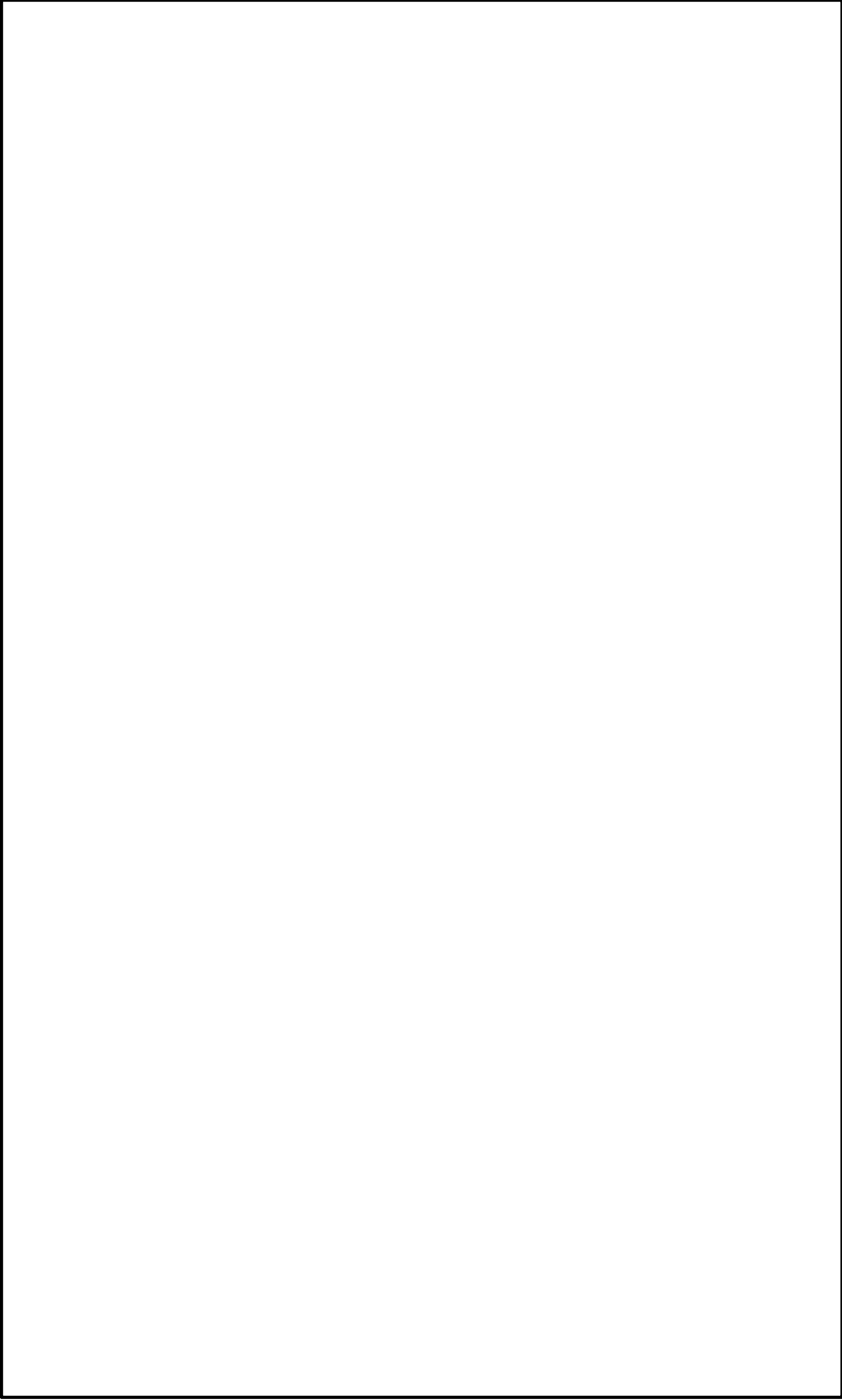


図 5-5(2/2) 床応答スペクトルとガントリクレーション固有周期の重ね合わせ
〈トロリ中央/ホイスト待機, ダンパ性能標準, NS 方向(拡大)〉

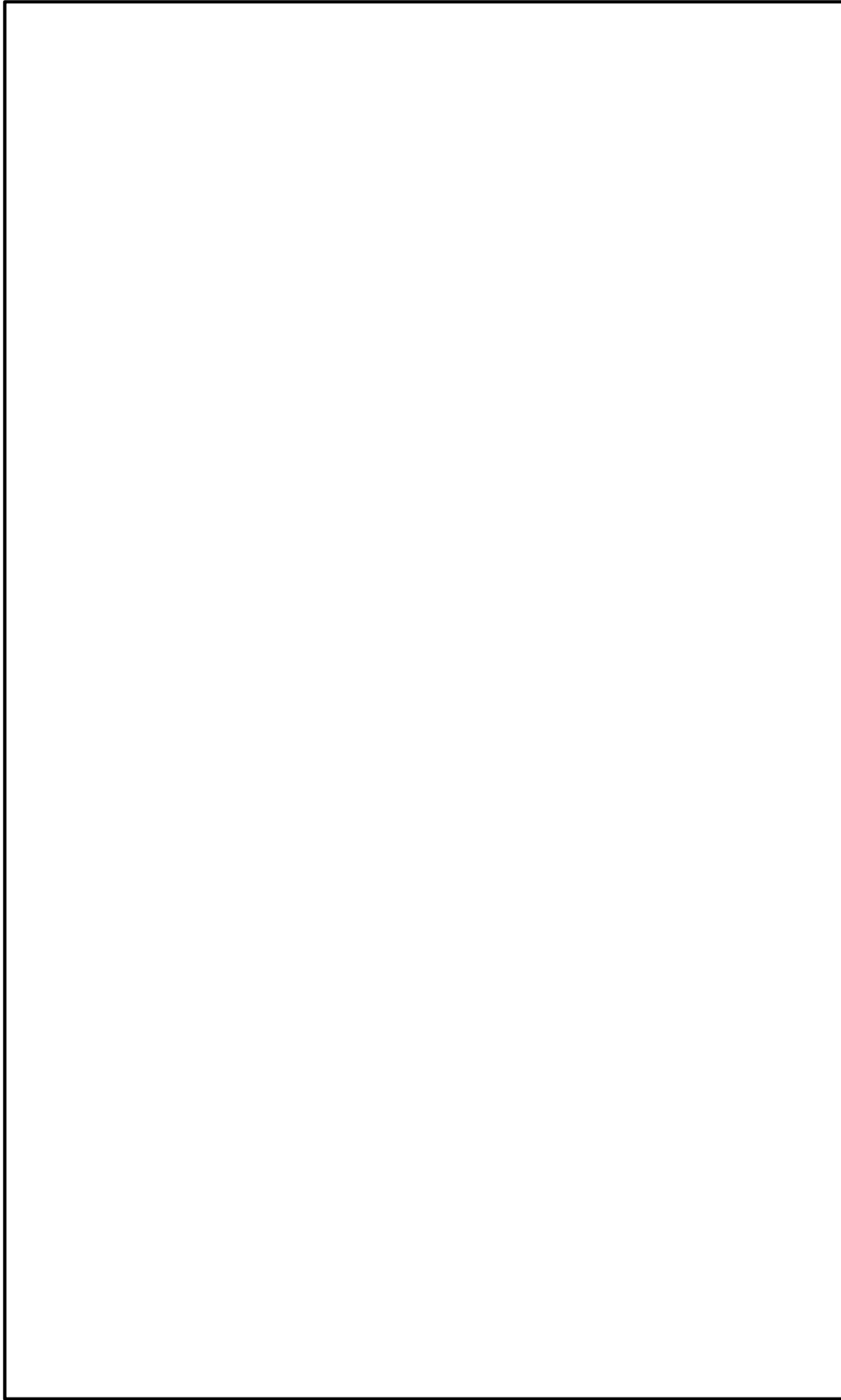


図 5-6(1/2) 床応答スペクトルとガントリクレーン固有周期の重ね合わせ
〈トロリ待機/ホイスト中央, ダンパ性能標準, NS 方向〉

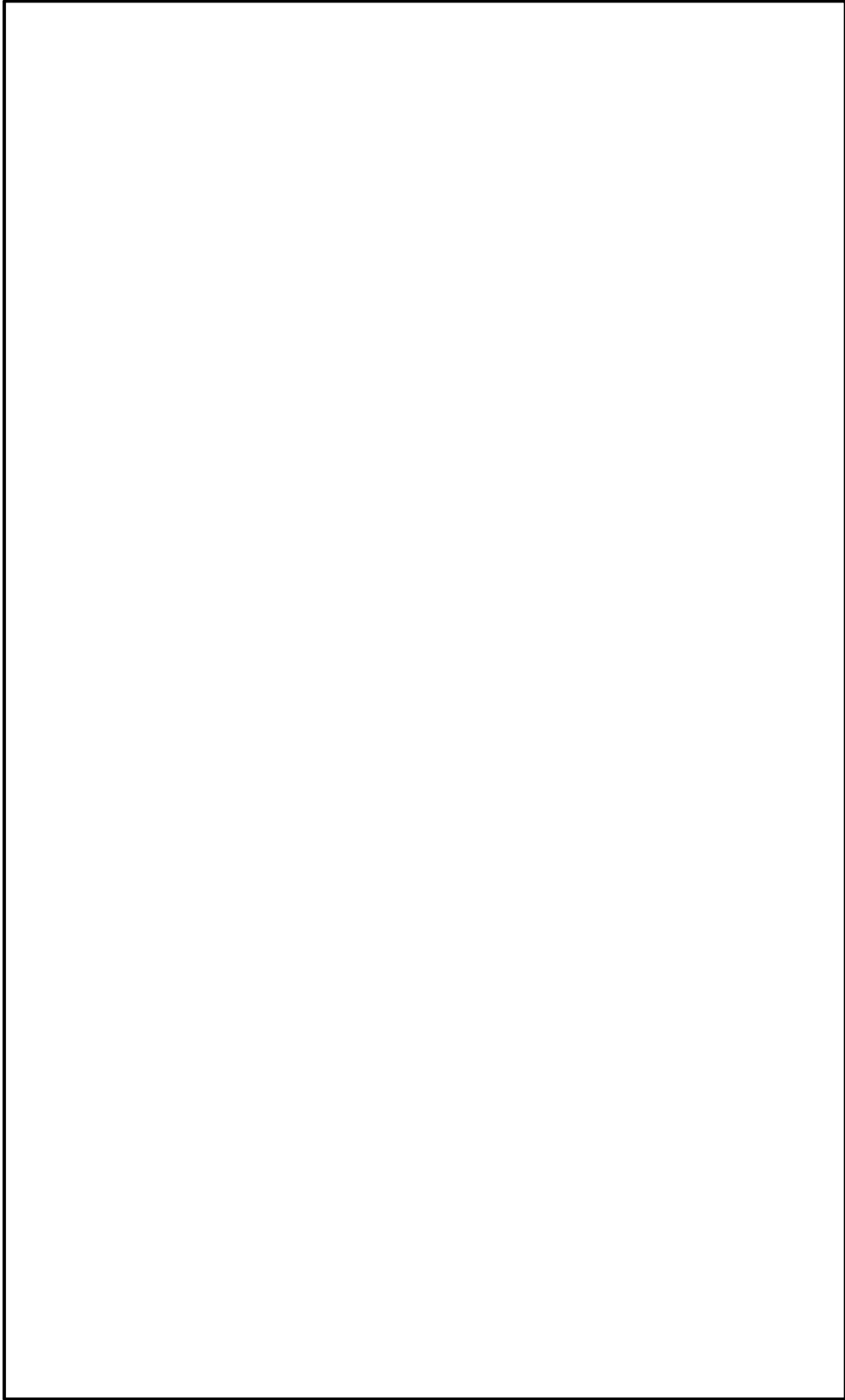


図 5-6(2/2) 床応答スペクトルとガントリクレーン固有周期の重ね合わせ
〈トロリ待機/ホイスト中央, ダンパ性能標準, NS 方向(拡大)〉

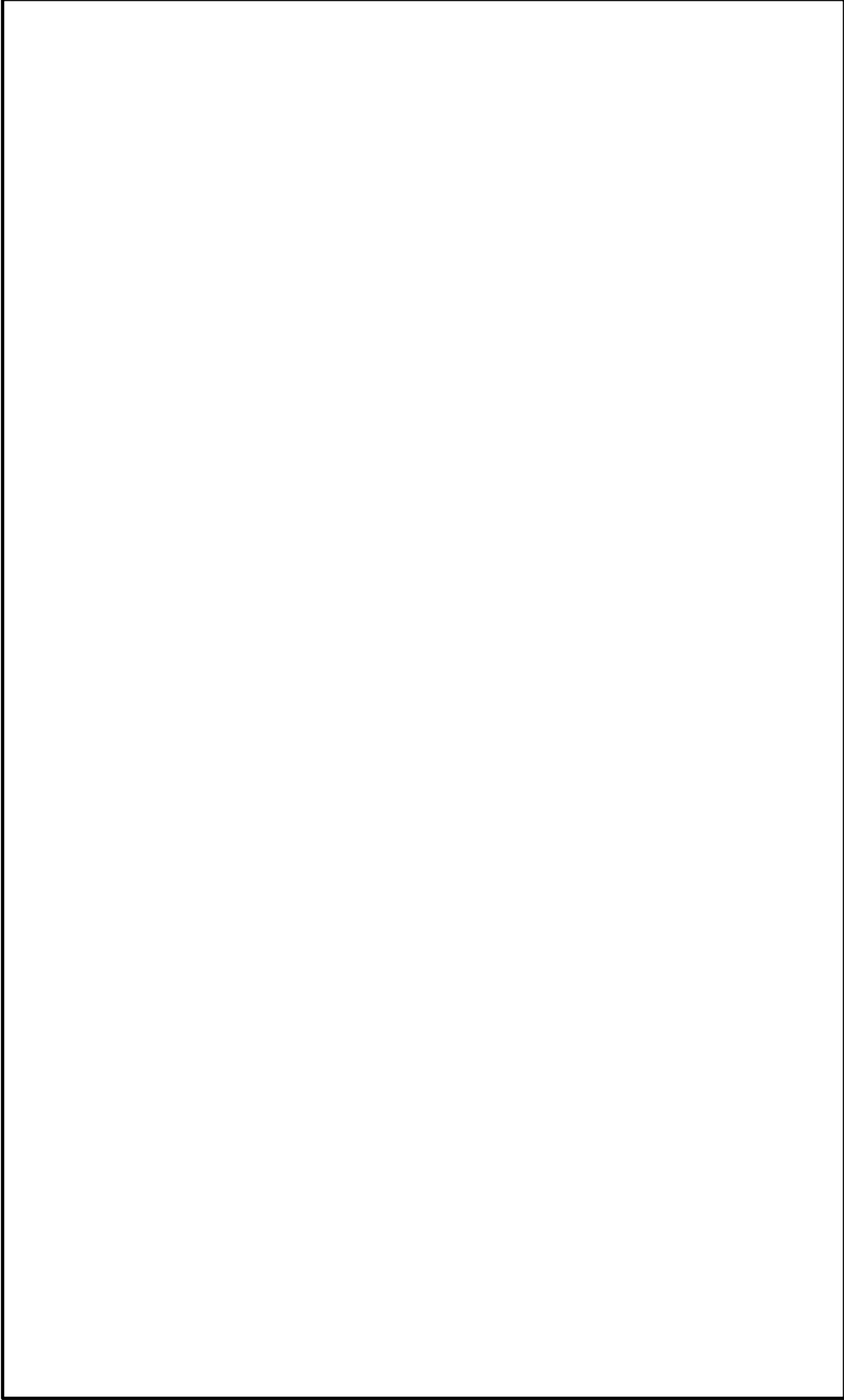


図 5-7(1/2) 床応答スペクトルとガントリクレーション固有周期の重ね合わせ
〈トロリ待機/ホイスト待機, ダンパ性能標準, NS 方向〉

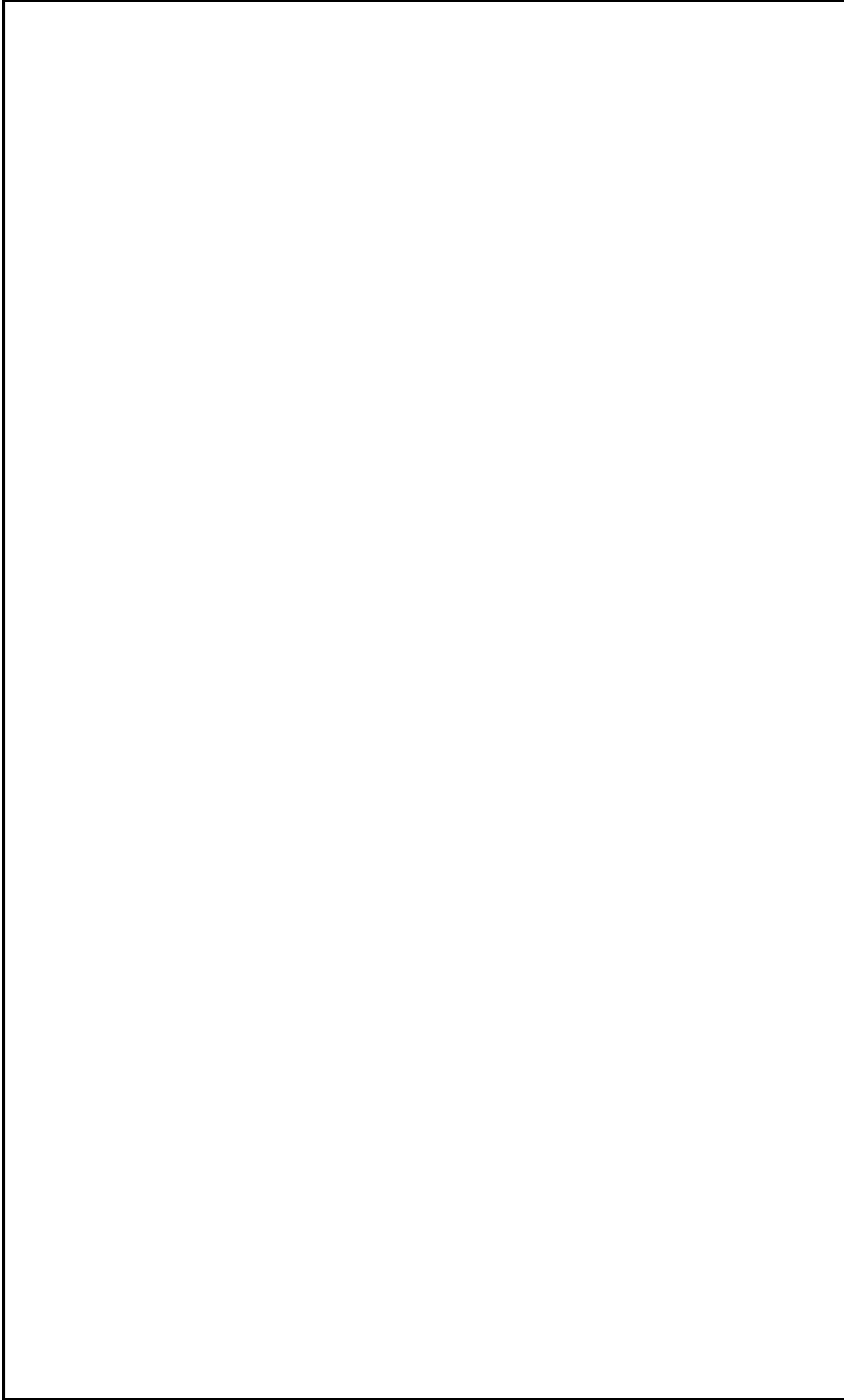


図 5-7(2/2) 床応答スペクトルとガントリクレーション固有周期の重ね合わせ
〈トロリ待機/ホイスト待機, ダンパ性能標準, NS 方向(拡大)〉

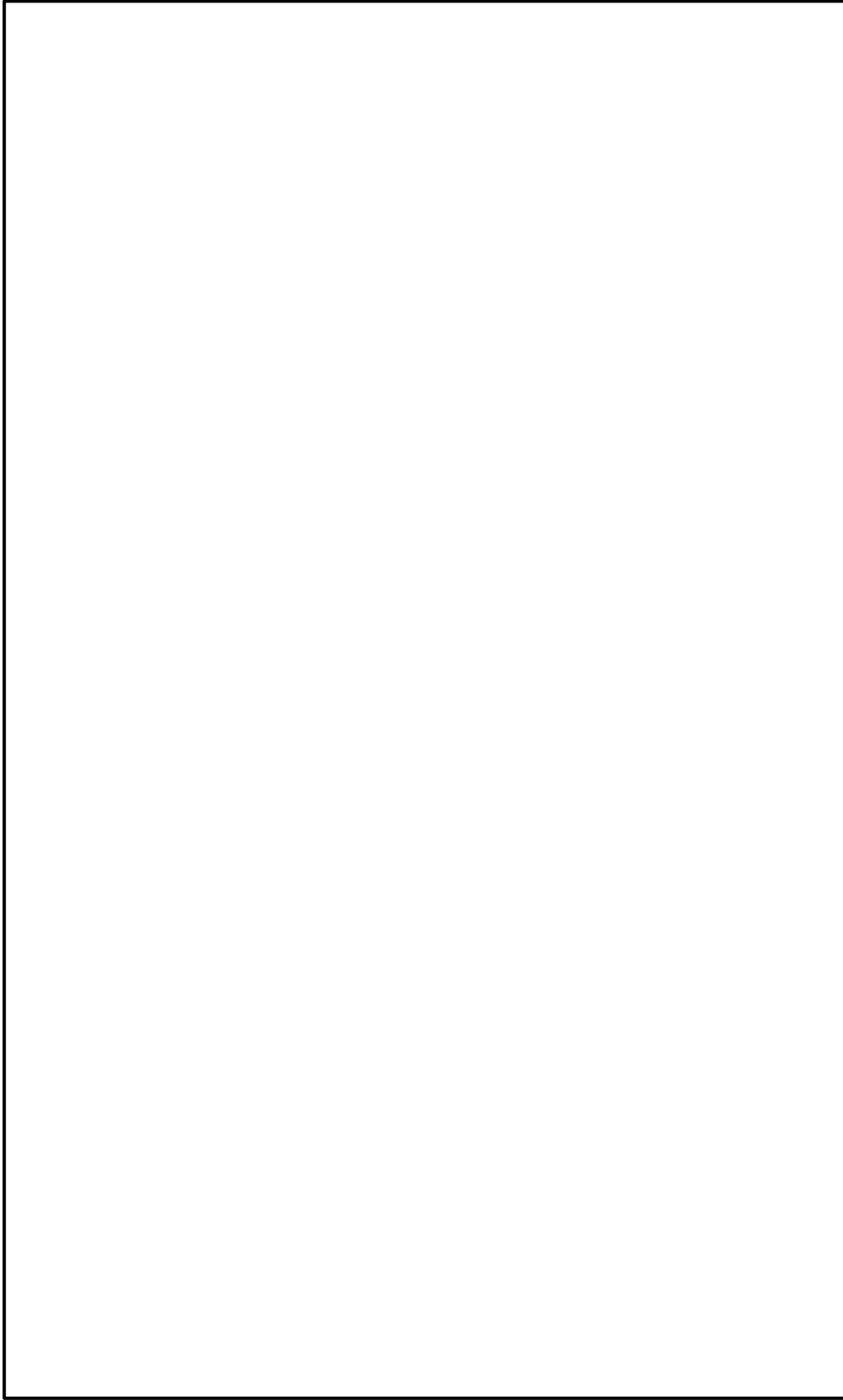
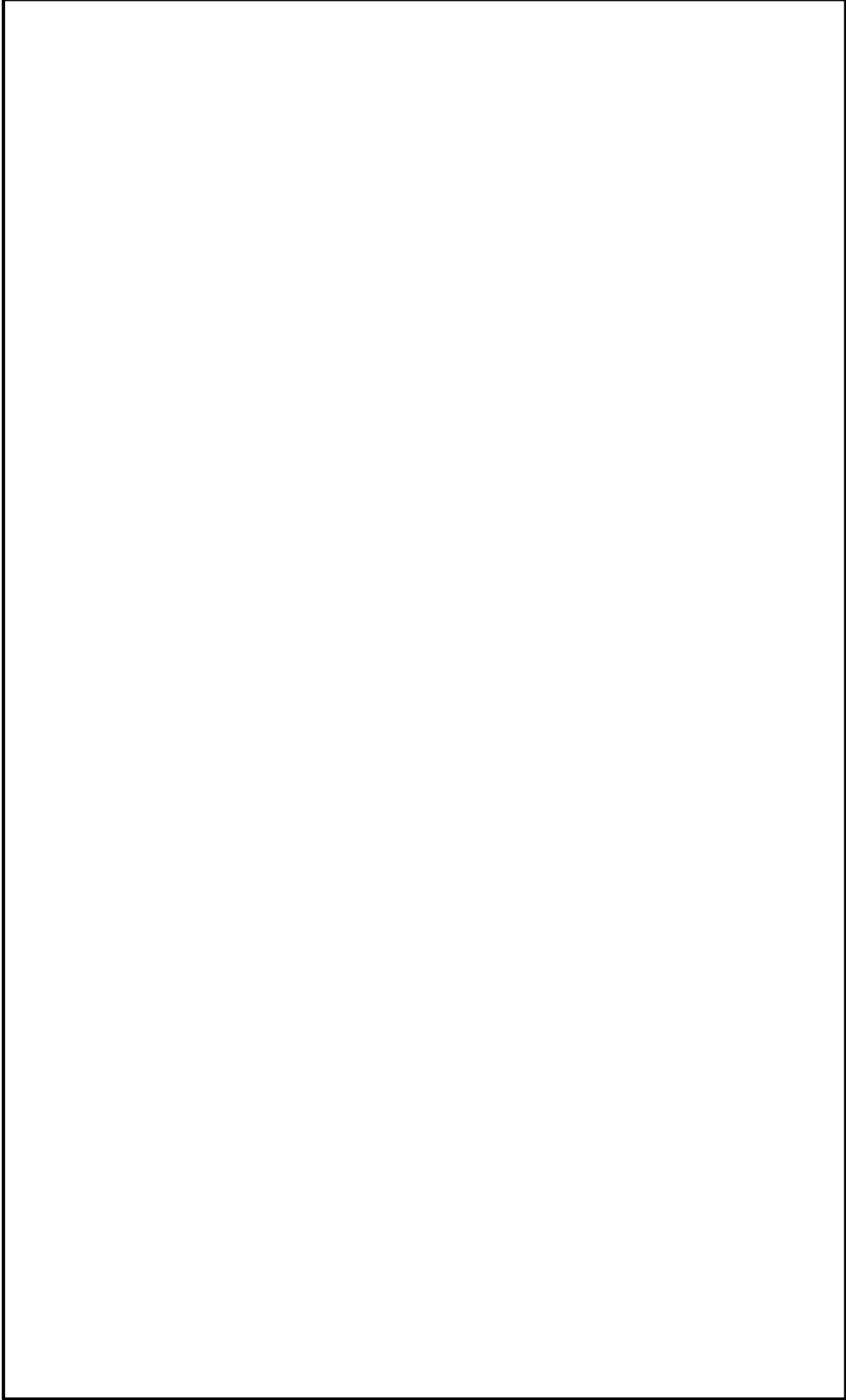


図 5-8(1/2) 床応答スペクトルとガントリクレーン固有周期の重ね合わせ
〈トロリ中央/ホイスト待機, ダンパ性能標準, 鉛直方向〉



：代表地震動
：妥当性確認用地震動

図 5-8(2/2) 床応答スペクトルとガントリクレーン固有周期の重ね合わせ
〈トロリ中央/ホイスト待機, ダンパ性能標準, 鉛直方向(拡大)〉

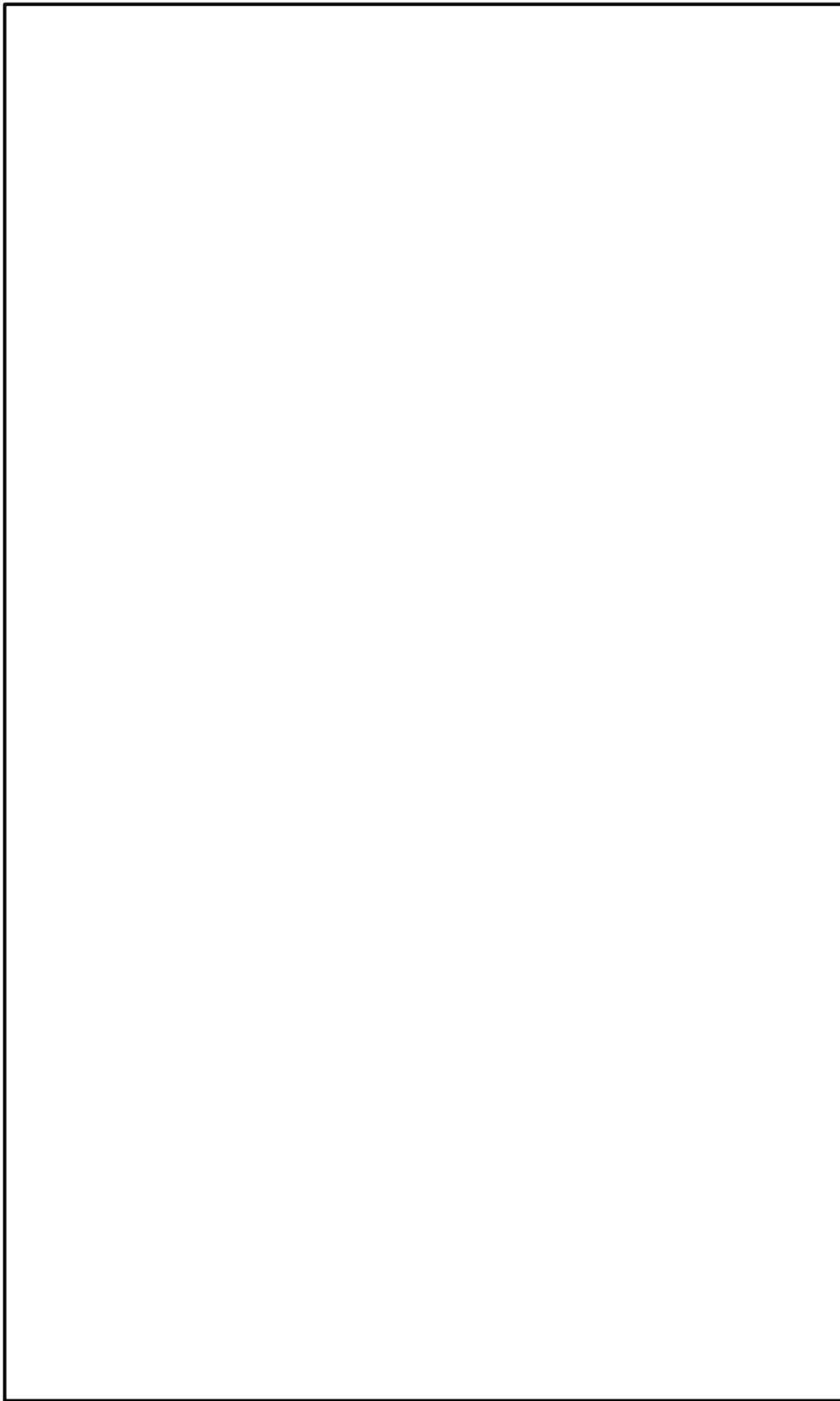
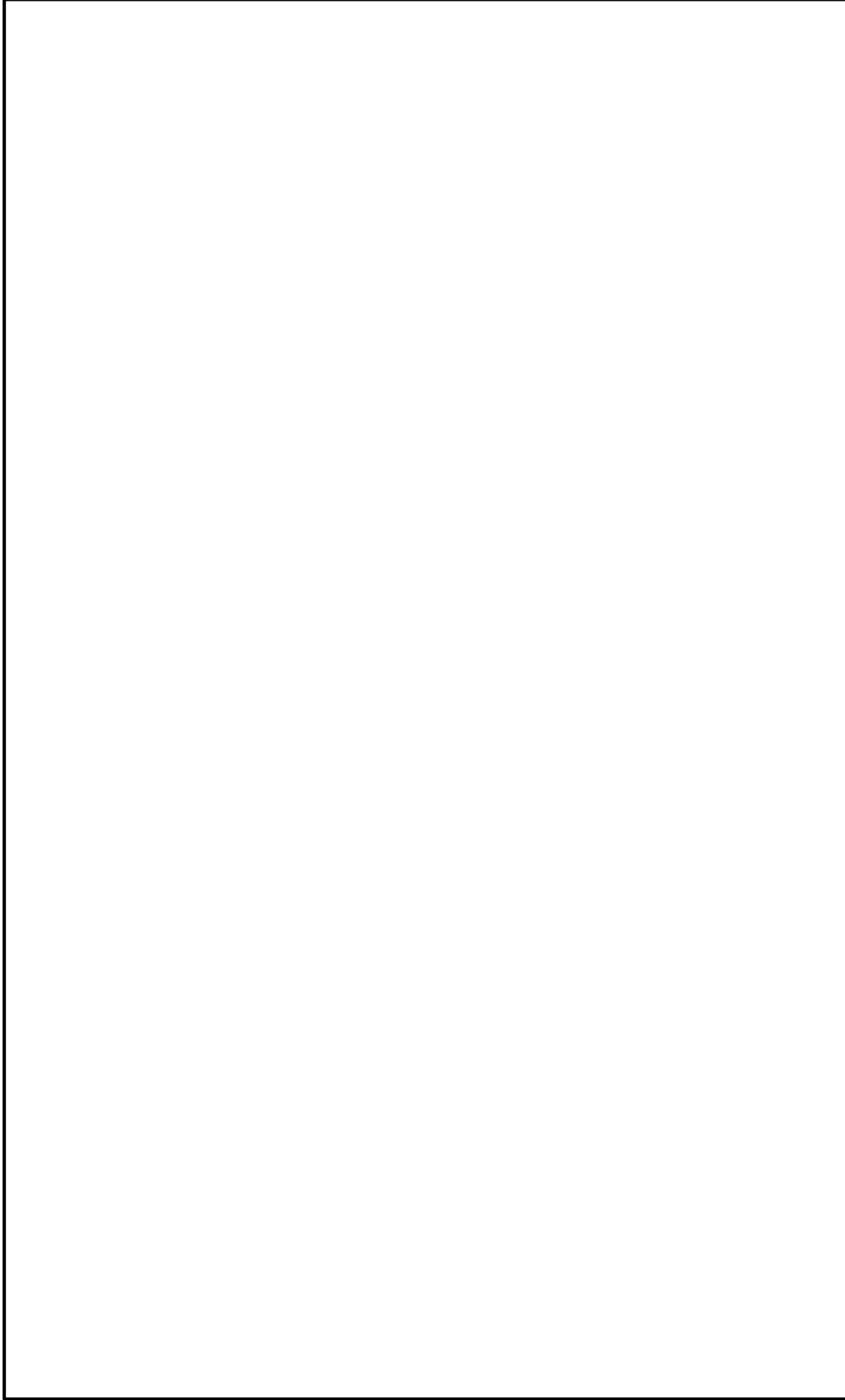


図 5-9(1/2) 床応答スペクトルとガントリクレーション固有周期の重ね合わせ
〈トロリ待機/ホイスト中央, ダンパ性能標準, 鉛直方向〉

⊞ : 代表地震動
⊞ : 妥当性確認用地震動



 : 代表地震動
 : 妥当性確認用地震動

図 5-9(2/2) 床応答スペクトルとガントリクレーション固有周期の重ね合わせ
〈トロリ待機/ホイスト中央, ダンパ性能標準, 鉛直方向(拡大)〉

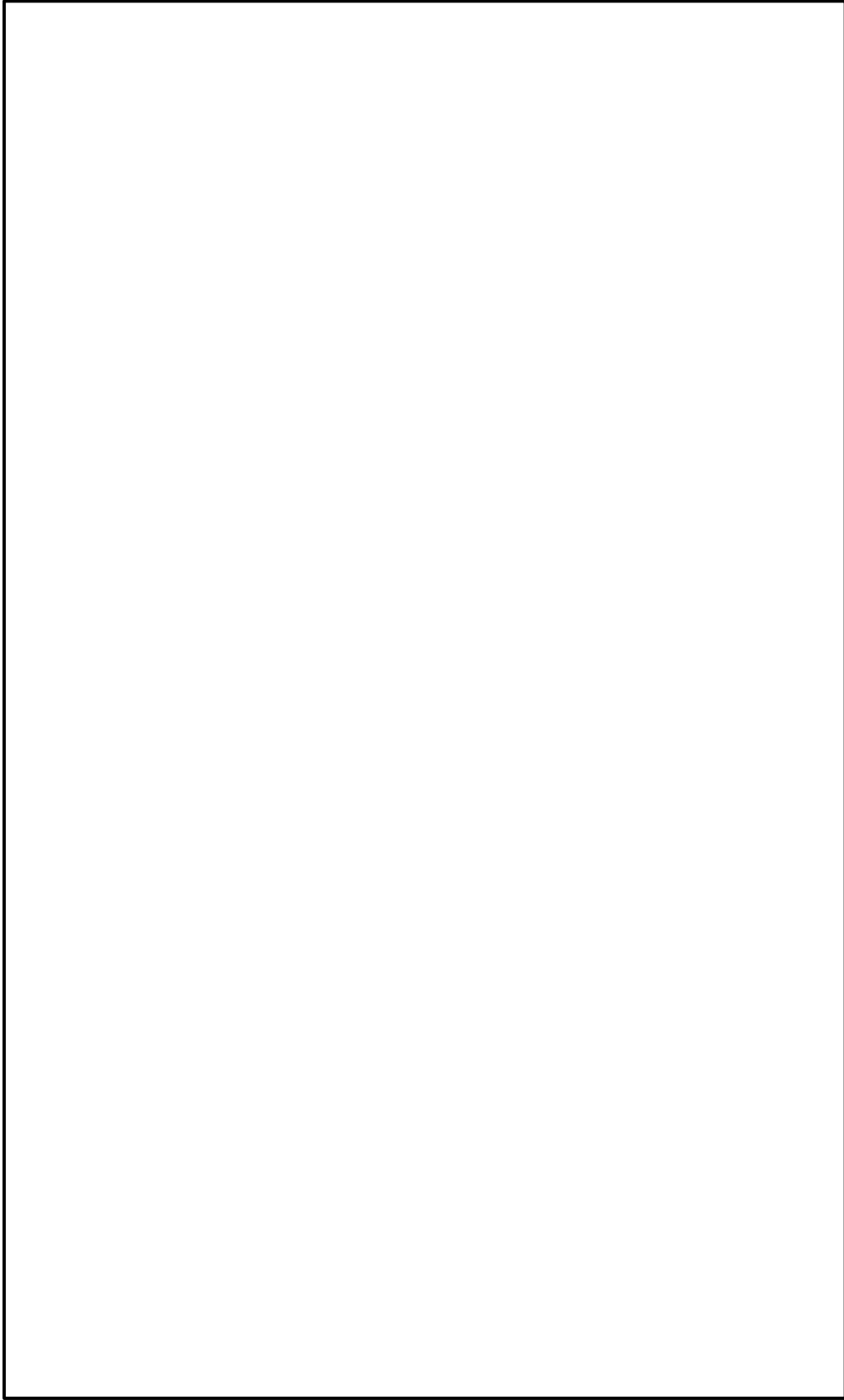


図 5-10 (1/2) 床応答スペクトルとガントリクレーション固有周期の重ね合わせ
〈トロリ待機/ホイスト待機, ダンパ性能標準, 鉛直方向〉

 : 代表地震動
 : 妥当性確認用地震動

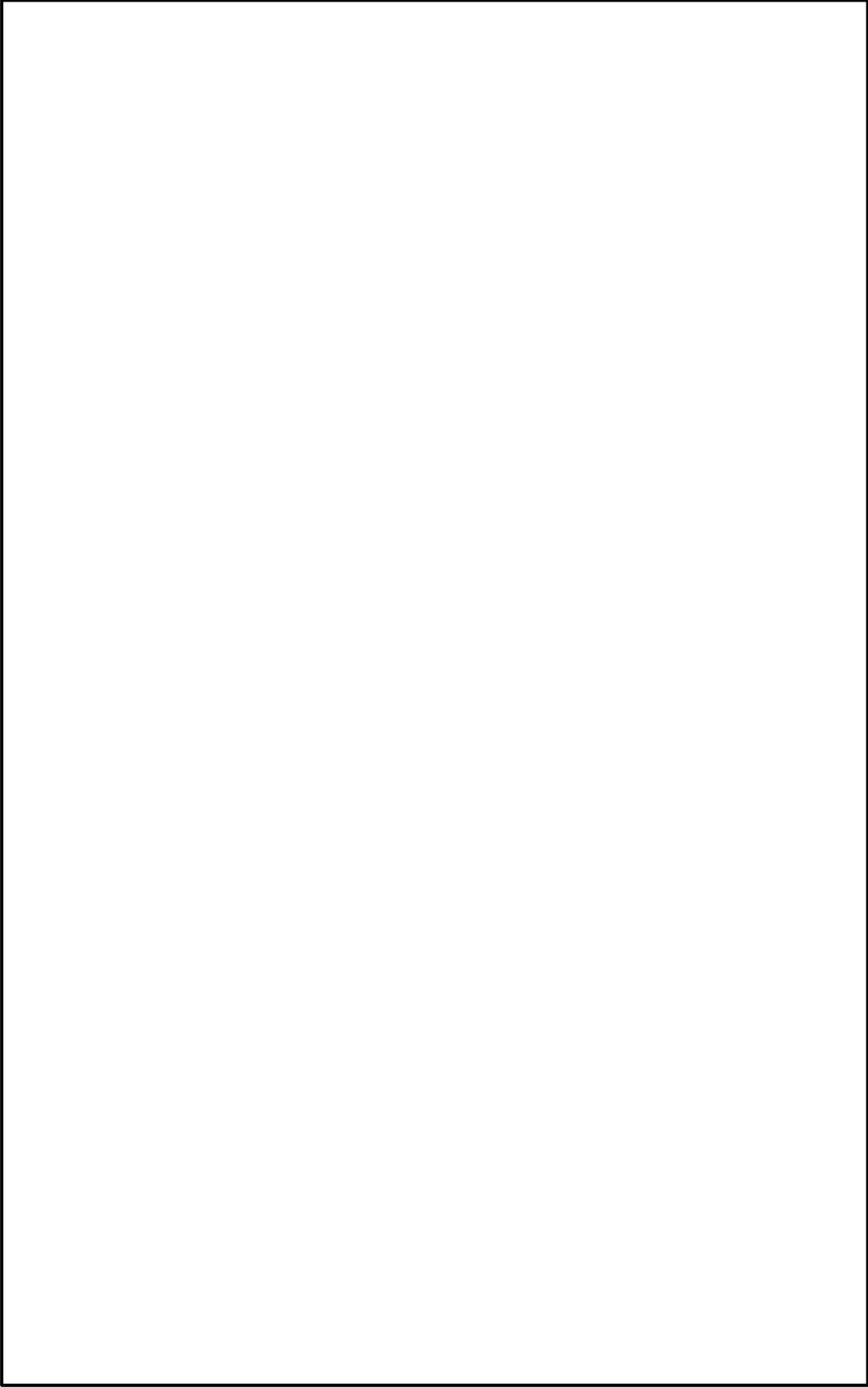



図 5-10 (2/2) 床応答スペクトルとガントリクレーション固有周期の重ね合わせ
〈トロリ待機/ホイスト待機, ダンパ性能標準, 鉛直方向(拡大)〉

 : 代表地震動

 : 妥当性確認用地震動

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(Ss-D)について選定の妥当性を確認するため、代表地震動(Ss-D)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 代表地震動以外でガントリクレーンの耐震評価に影響の大きい地震動の選定

表 5-3 に示すとおり、代表地震動(Ss-D)に次いでガントリ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、水平方向で影響の大きい Ss-N1 及び鉛直方向で影響の大きい Ss-F2 を選定した。

② 妥当性確認用地震動による耐震評価

表 5-4 に妥当性確認用地震動(Ss-F2, Ss-N1)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 5-4 に、代表地震動(Ss-D)及び妥当性確認用地震動(Ss-F2, Ss-N1)によるガントリクレーンの耐震評価結果を比較したものを示す。評価結果の比較は、裕度最小となるトロリ待機位置/ホイスト待機位置について実施する。

各部位の詳細結果を比較し、最も厳しい結果となっている地震動を表中ハッチングで示している。

脚下部継ぎの引張、単軸粘性ダンパの荷重、ブレースの圧縮、及びクレビスのせん断、曲げ、組合せを除いて、全て代表地震動(Ss-D)の発生値が最大となっている。なお、脚下部継ぎの引張については妥当性確認用地震動(Ss-N1)が最大となっているものの、最小裕度となる組合せ応力では Ss-D が最大となっている。

また、単軸粘性ダンパの荷重、ブレースの圧縮及びクレビスのせん断、曲げ、組合せについては妥当性確認用地震動(Ss-N1)が最大となっているものの、裕度は大きく、発生値も代表地震動(Ss-D)と同等である。

したがって、部材に対して最も厳しい地震動は Ss-D と考えられるため、代表地震動として Ss-D を選定した判断は妥当である。

表 5-4 代表地震動 (Ss-D) 及び妥当性確認用地震動 (Ss-F2, Ss-N1) の耐震評価結果の比較 (1/34)

a-1 クレーン本体ガーダ せん断応力

No.	ケース No.	トロリ位置	ホイスト位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時間刻みシフト	発生値 [MPa]	許容限界 [MPa]	裕度 [-]
1	3	待機	待機	標準	Ss-D	標準	+	標準	19	161	8.47
2	4				Ss-N1				16		10.0
3	5				Ss-F2				15		10.7

表 5-4 代表地震動 (Ss-D) 及び妥当性確認用地震動 (Ss-F2, Ss-N1) の耐震評価結果の比較 (2/34)

a-2 クレーン本体ガーダ 曲げ応力

No.	ケース No.	トロリ位置	ホイスト位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時間刻みシフト	発生値 [MPa]	許容限界 [MPa]	裕度 [-]
1	3	待機	待機	標準	Ss-D	標準	+	標準	84	280	3.33
2	4				Ss-N1				78		3.58
3	5				Ss-F2				54		5.18

表 5-4 代表地震動 (Ss-D) 及び妥当性確認用地震動 (Ss-F2, Ss-N1) の耐震評価結果の比較 (3/34)

a-3 クレーン本体ガーダ 組合せ応力 (曲げ+せん断)

No.	ケース No.	トロリ位置	ホイスト位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時間刻みシフト	発生値 [MPa]	許容限界 [MPa]	裕度 [-]
1	3	待機	待機	標準	Ss-D	標準	+	標準	91	280	3.07
					Ss-N1				82		3.41
					Ss-F2				60		4.66
2	4	待機	待機	標準	Ss-N1	標準	+	標準	82	280	3.41
3	5	待機	待機	標準	Ss-F2	標準	+	標準	60	280	4.66

表 5-4 代表地震動 (Ss-D) 及び妥当性確認用地震動 (Ss-F2, Ss-N1) の耐震評価結果の比較 (4/34)

b-1 脚 圧縮応力

No.	ケース No.	トロリ位置	ホイスト位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時間刻みシフト	発生値 [MPa]	許容限界 [MPa]	裕度 [-]
1	3	待機	待機	標準	Ss-D	標準	+	標準	40	229	5.72
					Ss-N1				28		8.17
					Ss-F2				20		11.4
2	4	待機	待機	標準	Ss-N1	標準	+	標準	28	229	8.17
3	5	待機	待機	標準	Ss-F2	標準	+	標準	20	229	11.4

表 5-4 代表地震動 (Ss-D) 及び妥当性確認用地震動 (Ss-F2, Ss-N1) の耐震評価結果の比較 (5/34)

b-2 脚 引張応力

No.	ケース No.	トロリ位置	ホイスト位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時間刻みシフト	発生値 [MPa]	許容限界 [MPa]	裕度 [-]
1	3	待機	待機	標準	Ss-D	標準	+	標準	4	280	70.0
2	4				Ss-N1				3		93.3
3	5				Ss-F2				1		280

表 5-4 代表地震動 (Ss-D) 及び妥当性確認用地震動 (Ss-F2, Ss-N1) の耐震評価結果の比較 (6/34)

b-3 脚 せん断応力

No.	ケース No.	トロリ位置	ホイスト位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時間刻みシフト	発生値 [MPa]	許容限界 [MPa]	裕度 [-]
1	3	待機	待機	標準	Ss-D	標準	+	標準	59	161	2.72
2	4				Ss-N1				28		5.75
3	5				Ss-F2				18		8.94

表 5-4 代表地震動 (Ss-D) 及び妥当性確認用地震動 (Ss-F2, Ss-N1) の耐震評価結果の比較 (7/34)

b-4 脚 曲げ応力

No.	ケース No.	トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時間刻みシフト	発生値 [MPa]	許容限界 [MPa]	裕度 [-]
1	3	待機	待機	標準	Ss-D	標準	+	標準	175	280	1.60
					Ss-N1				138		2.02
					Ss-F2				93		3.01
2	4	待機	待機	標準	Ss-N1	標準	+	標準	138	280	2.02
3	5	待機	待機	標準	Ss-F2	標準	+	標準	93	280	3.01

表 5-4 代表地震動 (Ss-D) 及び妥当性確認用地震動 (Ss-F2, Ss-N1) の耐震評価結果の比較 (8/34)

b-5 脚 組合せ応力 (圧縮 + 曲げ)

No.	ケース No.	トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時間刻みシフト	発生値	許容限界	裕度 [-]
1	3	待機	待機	標準	Ss-D	標準	+	標準	0.659	1.00	1.51
					Ss-N1				0.561		1.78
					Ss-F2				0.404		2.47
2	4	待機	待機	標準	Ss-N1	標準	+	標準	0.561	1.00	1.78
3	5	待機	待機	標準	Ss-F2	標準	+	標準	0.404	1.00	2.47

表 5-4 代表地震動 (Ss-D) 及び妥当性確認用地震動 (Ss-F2, Ss-N1) の耐震評価結果の比較 (9/34)

b-6 脚 組合せ応力 (曲げ+せん断)

No.	ケース No.	トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時間刻みシフト	発生値 [MPa]	許容限界 [MPa]	裕度 [-]
1	3	待機	待機	標準	Ss-D	標準	+	標準	194	280	1.44
2	4				Ss-N1				161		1.73
3	5				Ss-F2				117		2.39

表 5-4 代表地震動 (Ss-D) 及び妥当性確認用地震動 (Ss-F2, Ss-N1) の耐震評価結果の比較 (10/34)

c-1 脚下部継ぎ 圧縮応力

No.	ケース No.	トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時間刻みシフト	発生値 [MPa]	許容限界 [MPa]	裕度 [-]
1	3	待機	待機	標準	Ss-D	標準	+	標準	20	263	13.1
2	4				Ss-N1				7		37.5
3	5				Ss-F2				8		32.8

表 5-4 代表地震動 (Ss-D) 及び妥当性確認用地震動 (Ss-F2, Ss-N1) の耐震評価結果の比較 (11/34)

c-2 脚下部継ぎ 引張応力

No.	ケース No.	トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時間刻みシフト	発生値 [MPa]	許容限界 [MPa]	裕度 [-]
1	3	待機	待機	標準	Ss-D	標準	+	標準	10	280	28.0
2	4				Ss-N1				13		21.5
3	5				Ss-F2				7		40

表 5-4 代表地震動 (Ss-D) 及び妥当性確認用地震動 (Ss-F2, Ss-N1) の耐震評価結果の比較 (12/34)

c-3 脚下部継ぎ せん断応力

No.	ケース No.	トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時間刻みシフト	発生値 [MPa]	許容限界 [MPa]	裕度 [-]
1	3	待機	待機	標準	Ss-D	標準	+	標準	40	161	4.02
2	4				Ss-N1				22		7.31
3	5				Ss-F2				15		10.7

表 5-4 代表地震動 (Ss-D) 及び妥当性確認用地震動 (Ss-F2, Ss-N1) の耐震評価結果の比較 (13/34)

c-4 脚下部継ぎ 曲げ応力

No.	ケース No.	トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時間刻みシフト	発生値 [MPa]	許容限界 [MPa]	裕度 [-]
1	3				Ss-D				227		1.23
					Ss-N1				124		
2	4	待機	待機	標準	Ss-F2	標準	+	標準	81	280	2.25
3	5				Ss-F2						3.45

表 5-4 代表地震動 (Ss-D) 及び妥当性確認用地震動 (Ss-F2, Ss-N1) の耐震評価結果の比較 (14/34)

c-5 脚下部継ぎ 組合せ応力 (圧縮+曲げ)

No.	ケース No.	トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時間刻みシフト	発生値	許容限界	裕度 [-]
1	3				Ss-D				0.850		1.17
					Ss-N1				0.459		
2	4	待機	待機	標準	Ss-F2	標準	+	標準	0.295	1.00	2.17
3	5				Ss-F2						3.38

表 5-4 代表地震動 (Ss-D) 及び妥当性確認用地震動 (Ss-F2, Ss-N1) の耐震評価結果の比較 (15/34)

c-6 脚下部継ぎ 組合せ応力 (曲げ+せん断)

No.	ケース No.	トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時間刻みシフト	発生値 [MPa]	許容限界 [MPa]	裕度 [-]
1	3				Ss-D				244		1.14
					Ss-N1				132		
3	5				Ss-F2				84		3.33

表 5-4 代表地震動 (Ss-D) 及び妥当性確認用地震動 (Ss-F2, Ss-N1) の耐震評価結果の比較 (16/34)

d-1 ガーダ継ぎ 圧縮応力

No.	ケース No.	トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時間刻みシフト	発生値 [MPa]	許容限界 [MPa]	裕度 [-]
1	3				Ss-D				4		68.7
					Ss-N1				3		
3	5				Ss-F2				3		91.6

表 5-4 代表地震動 (Ss-D) 及び妥当性確認用地震動 (Ss-F2, Ss-N1) の耐震評価結果の比較 (17/34)

d-2 ガーダ継ぎ 引張応力

No.	ケース No.	トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時間刻みシフト	発生値 [MPa]	許容限界 [MPa]	裕度 [-]
1	3	待機	待機	標準	Ss-D	標準	+	標準	5	280	56.0
					Ss-N1				3		93.3
					Ss-F2				3		93.3
2	4	待機	待機	標準	Ss-N1	標準	+	標準	3	280	93.3
3	5	待機	待機	標準	Ss-F2	標準	+	標準	3	280	93.3

表 5-4 代表地震動 (Ss-D) 及び妥当性確認用地震動 (Ss-F2, Ss-N1) の耐震評価結果の比較 (18/34)

d-3 ガーダ継ぎ せん断応力

No.	ケース No.	トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時間刻みシフト	発生値 [MPa]	許容限界 [MPa]	裕度 [-]
1	3	待機	待機	標準	Ss-D	標準	+	標準	80	161	2.01
					Ss-N1				63		2.55
					Ss-F2				42		3.83
2	4	待機	待機	標準	Ss-N1	標準	+	標準	63	161	2.55
3	5	待機	待機	標準	Ss-F2	標準	+	標準	42	161	3.83

表 5-4 代表地震動 (Ss-D) 及び妥当性確認用地震動 (Ss-F2, Ss-N1) の耐震評価結果の比較 (19/34)

d-4 ガーダ継ぎ 曲げ応力

No.	ケース No.	トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時間刻みシフト	発生値 [MPa]	許容限界 [MPa]	裕度 [-]
1	3				Ss-D				86		3.25
					Ss-N1				76		
2	4	待機	待機	標準	Ss-F2	標準	+	標準	59		3.68
3	5										4.74

表 5-4 代表地震動 (Ss-D) 及び妥当性確認用地震動 (Ss-F2, Ss-N1) の耐震評価結果の比較 (20/34)

d-5 ガーダ継ぎ 組合せ応力 (引張+曲げ)

No.	ケース No.	トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時間刻みシフト	発生値	許容限界	裕度 [-]
1	3				Ss-D				0.320		3.12
					Ss-N1				0.269		
2	4	待機	待機	標準	Ss-F2	標準	+	標準	0.211		3.71
3	5										4.73

表 5-4 代表地震動 (Ss-D) 及び妥当性確認用地震動 (Ss-F2, Ss-N1) の耐震評価結果の比較 (21/34)

d-6 ガーダ継ぎ 組合せ応力 (曲げ+せん断)

No.	ケース No.	トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時間刻みシフト	発生値 [MPa]	許容限界 [MPa]	裕度 [-]
1	3	待機	待機	標準	Ss-D	標準	+	標準	148	280	1.89
2	4				Ss-N1				112		2.50
3	5				Ss-F2				80		3.50

表 5-4 代表地震動 (Ss-D) 及び妥当性確認用地震動 (Ss-F2, Ss-N1) の耐震評価結果の比較 (22/34)

e-1 転倒防止装置 組合せ応力 (せん断+曲げ)

No.	ケース No.	トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時間刻みシフト	発生値 [MPa]	許容限界 [MPa]	裕度 [-]
1	3	待機	待機	標準	Ss-D	標準	+	標準	120	357	2.97
2	4				Ss-N1				61		5.85
3	5				Ss-F2				0		-

表 5-4 代表地震動 (Ss-D) 及び妥当性確認用地震動 (Ss-F2, Ss-N1) の耐震評価結果の比較 (23/34)

f-1 トロリストップ 圧縮応力

No.	ケース No.	トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用*地震動	地盤物性	位相	時間刻みシフト	発生値 [MPa]	許容限界 [MPa]	裕度 [-]
1	3	待機	待機	標準	-	標準	+	標準	4	280	70.0
2	4										
3	5										

注記*：摩擦係数より求めた水平方向設計震度にて評価

表 5-4 代表地震動 (Ss-D) 及び妥当性確認用地震動 (Ss-F2, Ss-N1) の耐震評価結果の比較 (24/34)

g-1 トロリ浮上り量

No.	ケース No.	トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時間刻みシフト	発生値 [mm]	許容限界 [mm]	裕度 [-]
1	3	待機	待機	標準	Ss-D	標準	+	標準	6.9	150	21.7
2	4				Ss-N1				0.8		187
3	5				Ss-F2				0.7		214

表 5-4 代表地震動 (Ss-D) 及び妥当性確認用地震動 (Ss-F2, Ss-N1) の耐震評価結果の比較 (25/34)

h-1 吊具(主巻) ワイヤロープ荷重

No.	ケース No.	トロリ 位置	ホイスト 位置	ダンパ 性能	評価用 地震動	地盤 物性	位相	時刻 シフト	発生値 [N]	許容限界 [N]	裕度 [-]
1	3	待機	待機	標準	Ss-D	標準	+	標準	-	4.078×10 ⁶	-
2	4				Ss-N1				-		-
3	5				Ss-F2				-		-

注記* : 吊荷無しのため荷重は発生しない。

表 5-4 代表地震動 (Ss-D) 及び妥当性確認用地震動 (Ss-F2, Ss-N1) の耐震評価結果の比較 (26/34)

h-2 吊具(主巻) フック荷重

No.	ケース No.	トロリ 位置	ホイスト 位置	ダンパ 性能	評価用 地震動	地盤 物性	位相	時刻 シフト	発生値* [N]	許容限界 [N]	裕度 [-]
1	3	待機	待機	標準	Ss-D	標準	+	標準	-	4.980×10 ⁶	-
2	4				Ss-N1				-		-
3	5				Ss-F2				-		-

注記* : 吊荷無しのため荷重は発生しない。

表 5-4 代表地震動 (Ss-D) 及び妥当性確認用地震動 (Ss-F2, Ss-N1) の耐震評価結果の比較 (27/34)

h-3 吊具(ホイスト)ワイヤロープ荷重

No.	ケース No.	トロリ 位置	ホイスト 位置	ダンパ 性能	評価用 地震動	地盤 物性	位相	時刻 シフト	発生値* [N]	許容限界 [N]	裕度 [-]
1	3	待機	待機	標準	Ss-D	標準	+	標準	-	1.479×10 ⁶	-
2	4				Ss-N1				-		-
3	5				Ss-F2				-		-

注記*：吊荷無しのため荷重は発生しない。

表 5-4 代表地震動 (Ss-D) 及び妥当性確認用地震動 (Ss-F2, Ss-N1) の耐震評価結果の比較 (28/34)

h-4 吊具(ホイスト)フック荷重

No.	ケース No.	トロリ 位置	ホイスト 位置	ダンパ 性能	評価用 地震動	地盤 物性	位相	時刻 シフト	発生値* [N]	許容限界 [N]	裕度 [-]
1	3	待機	待機	標準	Ss-D	標準	+	標準	-	2.060×10 ⁶	-
2	4				Ss-N1				-		-
3	5				Ss-F2				-		-

注記*：吊荷無しのため荷重は発生しない。

表 5-4 代表地震動 (Ss-D) 及び妥当性確認用地震動 (Ss-F2, Ss-N1) の耐震評価結果の比較 (29/34)

i-1 単軸粘性ダンパ 荷重

No.	ケース No.	トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時間刻みシフト	発生値 [N]	許容限界 [N]	裕度 [-]
1	3	待機	待機	標準	Ss-D	標準	+	標準	2.135 × 10 ⁵	3.0 × 10 ⁵	1.40
	4				2.183 × 10 ⁵				1.37		
	5				2.016 × 10 ⁵				2.48		

表 5-4 代表地震動 (Ss-D) 及び妥当性確認用地震動 (Ss-F2, Ss-N1) の耐震評価結果の比較 (30/34)

i-2 単軸粘性ダンパ 変位

No.	ケース No.	トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時間刻みシフト	発生値 [mm]	許容限界 [mm]	裕度 [-]
1	3	待機	待機	標準	Ss-D	標準	+	標準	33	100	3.0
	4				30				3.33		
	5				14				7.14		

表 5-4 代表地震動 (Ss-D) 及び妥当性確認用地震動 (Ss-F2, Ss-N1) の耐震評価結果の比較 (31/34)

i-3 ブレース 圧縮応力

No.	ケース No.	トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時間刻みシフト	発生値 [MPa]	許容限界 [MPa]	裕度 [-]
1	3	待機	待機	標準	Ss-D	標準	+	標準	14	78	5.57
2	4				Ss-N1				16		4.87
3	5				Ss-F2				11		7.09

表 5-4 代表地震動 (Ss-D) 及び妥当性確認用地震動 (Ss-F2, Ss-N1) の耐震評価結果の比較 (32/34)

i-4 クレビス せん断応力

No.	ケース No.	トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時間刻みシフト	発生値 [MPa]	許容限界 [MPa]	裕度 [-]
1	3	待機	待機	標準	Ss-D	標準	+	標準	76	375	4.93
2	4				Ss-N1				78		4.80
3	5				Ss-F2				72		5.20

表 5-4 代表地震動 (Ss-D) 及び妥当性確認用地震動 (Ss-F2, Ss-N1) の耐震評価結果の比較 (33/34)

i-5 クレビス 曲げ応力

No.	ケース No.	トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時間刻みシフト	発生値 [MPa]	許容限界 [MPa]	裕度 [-]
1	3	待機	待機	標準	Ss-D	標準	+	標準	217	651	3.00
2	4				Ss-N1				222		2.93
3	5				Ss-F2				205		3.17

表 5-4 代表地震動 (Ss-D) 及び妥当性確認用地震動 (Ss-F2, Ss-N1) の耐震評価結果の比較 (34/34)

i-6 クレビス 組合せ応力

No.	ケース No.	トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時間刻みシフト	発生値 [MPa]	許容限界 [MPa]	裕度 [-]
1	3	待機	待機	標準	Ss-D	標準	+	標準	254	651	2.56
2	4				Ss-N1				260		2.50
3	5				Ss-F2				240		2.71

取水槽ガントリ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. 全般

材料物性の不確かさ等に関する検討として、以下に示す3項目について実施する。

- (1) 床応答スペクトルで考慮している±10%拡幅に相当する不確かさの考慮
- (2) ダンパ性能の不確かさの考慮
- (3) 位相反転地震動の考慮

2. 床応答スペクトルで考慮している±10%拡幅に相当する不確かさの考慮

2.1 時刻歴応答解析の不確かさの考え方

設計用床応答スペクトルは、機器の固有周期のずれや地盤物性、建物剛性、地盤ばね定数、減衰定数、模擬地震波の位相特性等といった因子の変動に伴う応答スペクトルの変動の影響を考慮することを目的として、周期軸方向に±10%拡幅したものをを用いている。取水槽ガントリクレーン（以下「ガントリクレーン」という。）の評価は、設計用床応答スペクトルを適用せず、多質点はりモデルを用いて時刻歴加速度波を3方向同時に入力した時刻歴応答解析を適用していることから、地盤及び間接支持構造物（取水槽躯体）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。

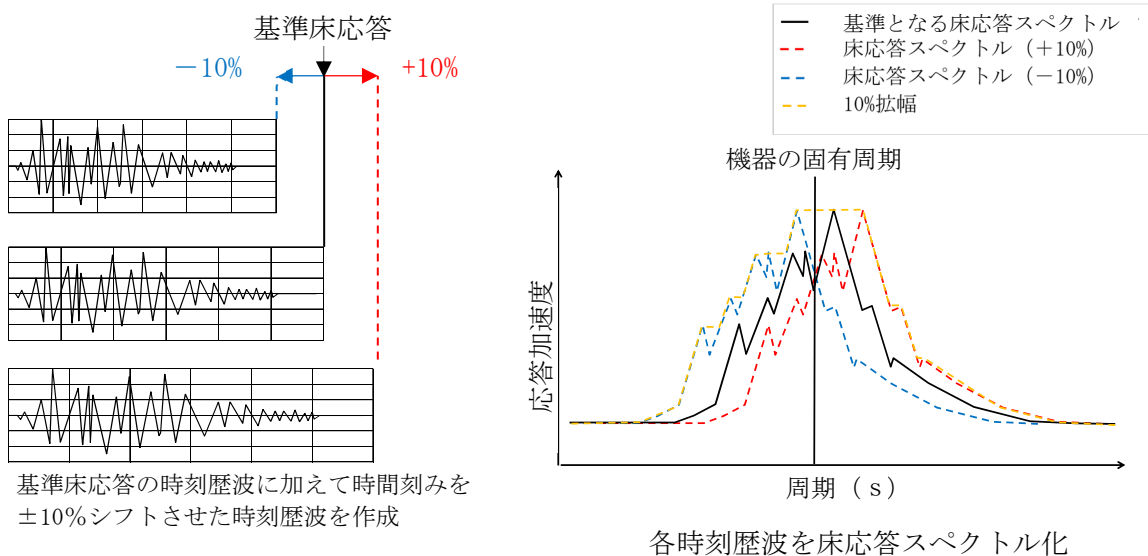
そこで、本項では設計用床応答スペクトルで考慮している周期軸方向の±10%拡幅に相当する不確かさの考慮方法と結果を示す。

ガントリ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取水槽躯体の応答解析結果から得られる時刻歴加速度波による解析に加えて、ASME Boiler Pressure Vessel Code SECTION III, DIVISION1-NONMANDATORY APPENDIX N-1222.3 Time History Broadeningの規定を参考に、設計用床応答スペクトルの拡幅の考慮分として時刻歴加速度波の時間刻みを±10%シフトさせた時刻歴加速度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スペクトルのピークが存在する場合は、ASME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。

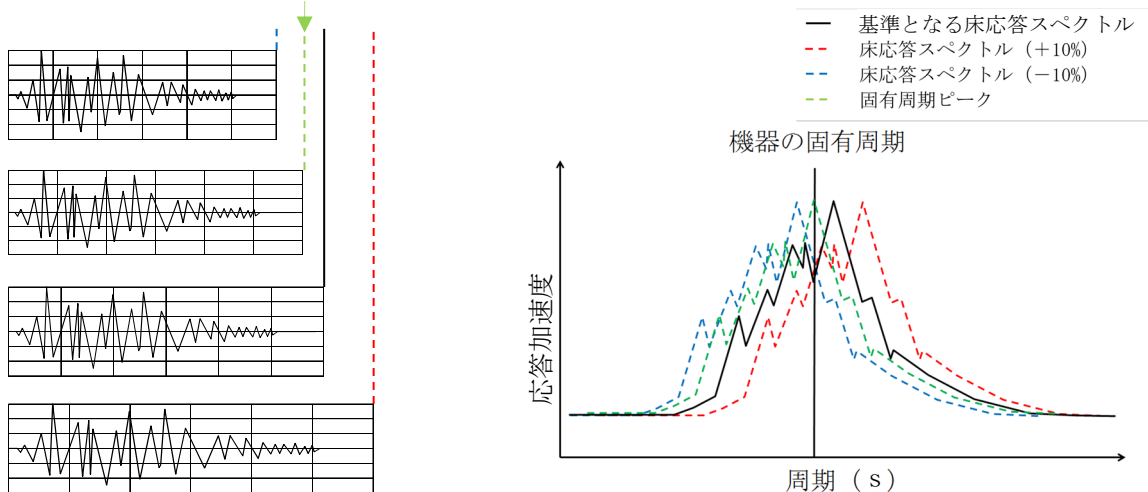
図6-1に、Time History Broadeningの概念を示す。

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





固有周期と合致するよう調整した時刻歴波



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する。

図 6-1 Time History Broadening 概念図

2.2 時刻歴応答解析の不確かさの考慮方法

評価対象はガントリクレーンの主要構造であり、耐震計算書で整理している主要構造のうち裕度最小となる脚下部継ぎに着目して検討する。なお、不確かさの検討における耐震評価方法はVI-2-11-2-7-14「取水槽ガントリ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。

図6-2に、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。

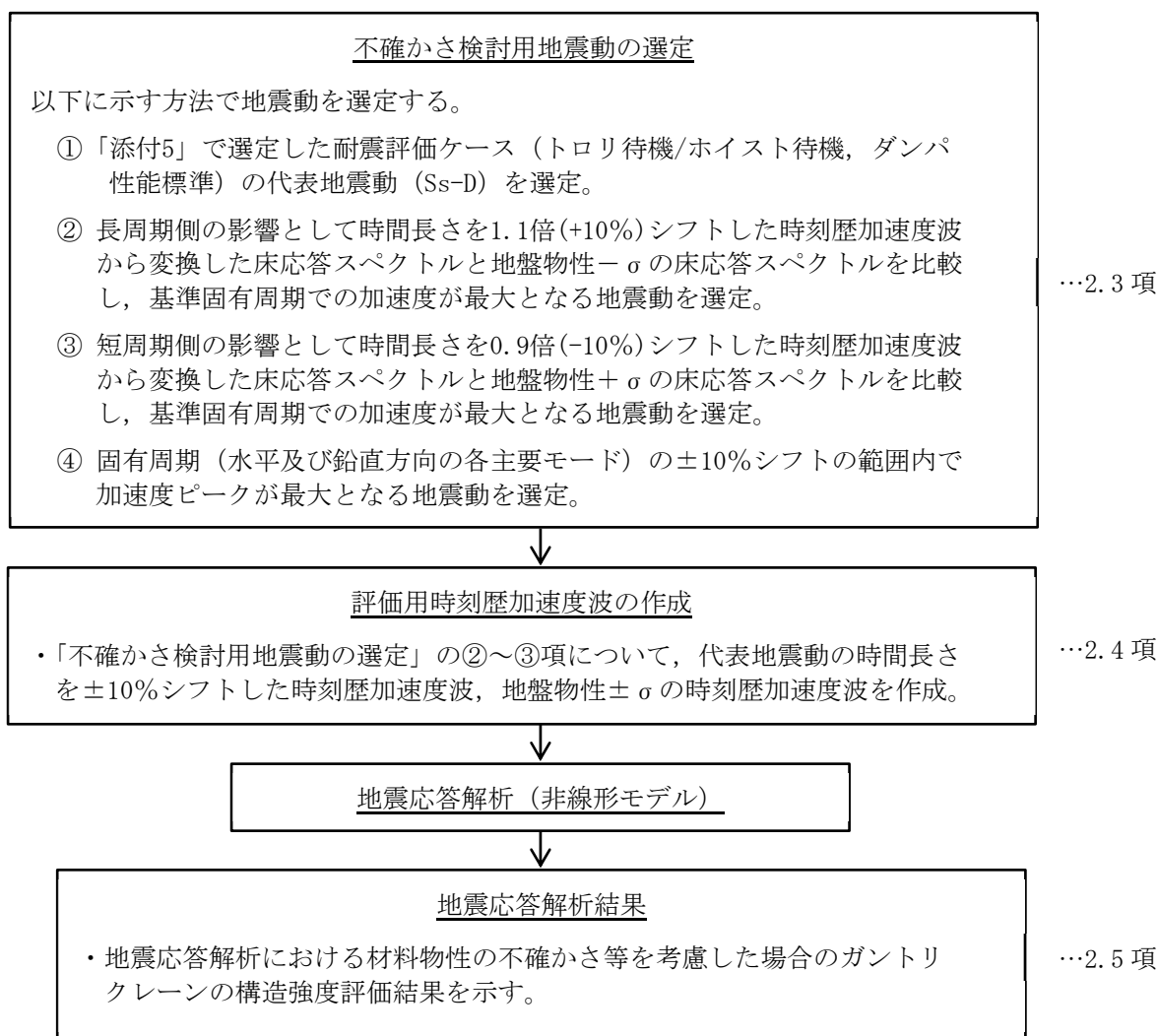


図6-2 時刻歴応答解析の不確かさに係る検討フロー

2.3 不確かさ検討用地震動の選定

図6-2の検討フローに基づく、不確かさの検討に用いる地震動（以下「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。

(1) 検討用地震動の選定方法

図 6-3～図 6-10 に、床応答スペクトルとクレーン固有周期の重ね合わせを示す。検討用地震動については以下に示す 4 種類の方法で選定している。

- ① 添付5で選定した代表地震動（Ss-D）及びトロリ待機位置/ホイスト待機位置，ダンパ性能標準を基準ケースとする。
- ② 時刻歴解析における不確かさ（長周期側の固有周期シフト）の考慮として，時刻歴加速度波の時間刻みを+10%シフトさせた床応答スペクトルと地盤物性 $-\sigma$ の床応答スペクトルの両方に対し，基準固有周期において加速度最大となる地震動を選定し，評価に適用する。
- ③ 上記②と同様（短周期側の固有周期シフト）の考慮として，時刻歴加速度波の時間刻みを-10%シフトさせた床応答スペクトルと地盤物性 $+\sigma$ の床応答スペクトルの両方に対し，基準固有周期において加速度最大となる地震動を選定し，評価に適用する。
- ④ 固有周期シフト（基準固有周期の $\pm 10\%$ ）の範囲内に加速度ピークが存在する場合は，加速度ピークとなる固有周期が合致するようシフトした時刻歴加速度波を作成し，評価に適用する。

(2) 検討用地震動の選定結果

表 6-1 に，検討用地震動の選定結果を示す。

添付 5 で選定している代表地震動（基準ケース）を踏まえ，図 6-2 の①～④の観点より計 4 パターンの評価を実施する。

表 6-1 不確かさ検討用地震動の選定結果

選定方法	ケース No.	トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時刻みシフト	関連図*	地震応答出力点
① (基準ケース)	3							基準	図6-3	10299
									図6-4	3033
② (+10%シフト/ 地盤物性- σ)	6					平均	+	+10%シフト	図6-5	10299
									図6-6	3033
③ (-10%シフト/ 地盤物性+ σ)	7	待機	待機	標準	Ss-D		+	-10%シフト	図6-7	10299
									図6-8	3033
④ (ピークシフト)	8							基準	図6-7	10299
									図6-8	3033
	9					平均		+9.1%シフト	図6-9	10299
									図6-10	3033

注記* : 上段は水平(NS)方向, 下段は鉛直方向を示す。

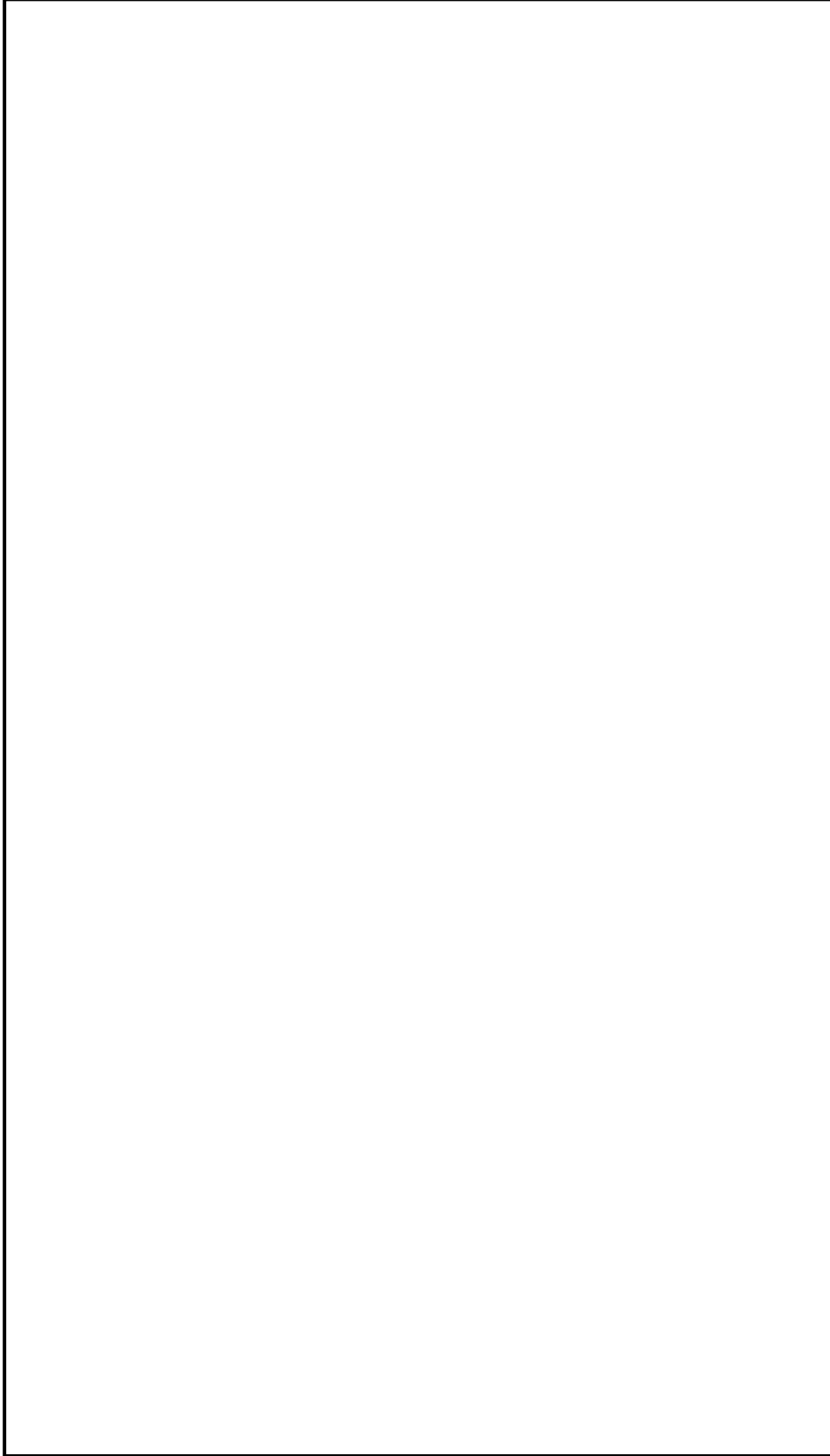


図 6-3(1/2) 床応答スペクトルとクレーン固有周期の重ね合わせ (全体図)
〈トロリ待機/ホイスト待機, ダンパ性能標準, NS 方向〉①

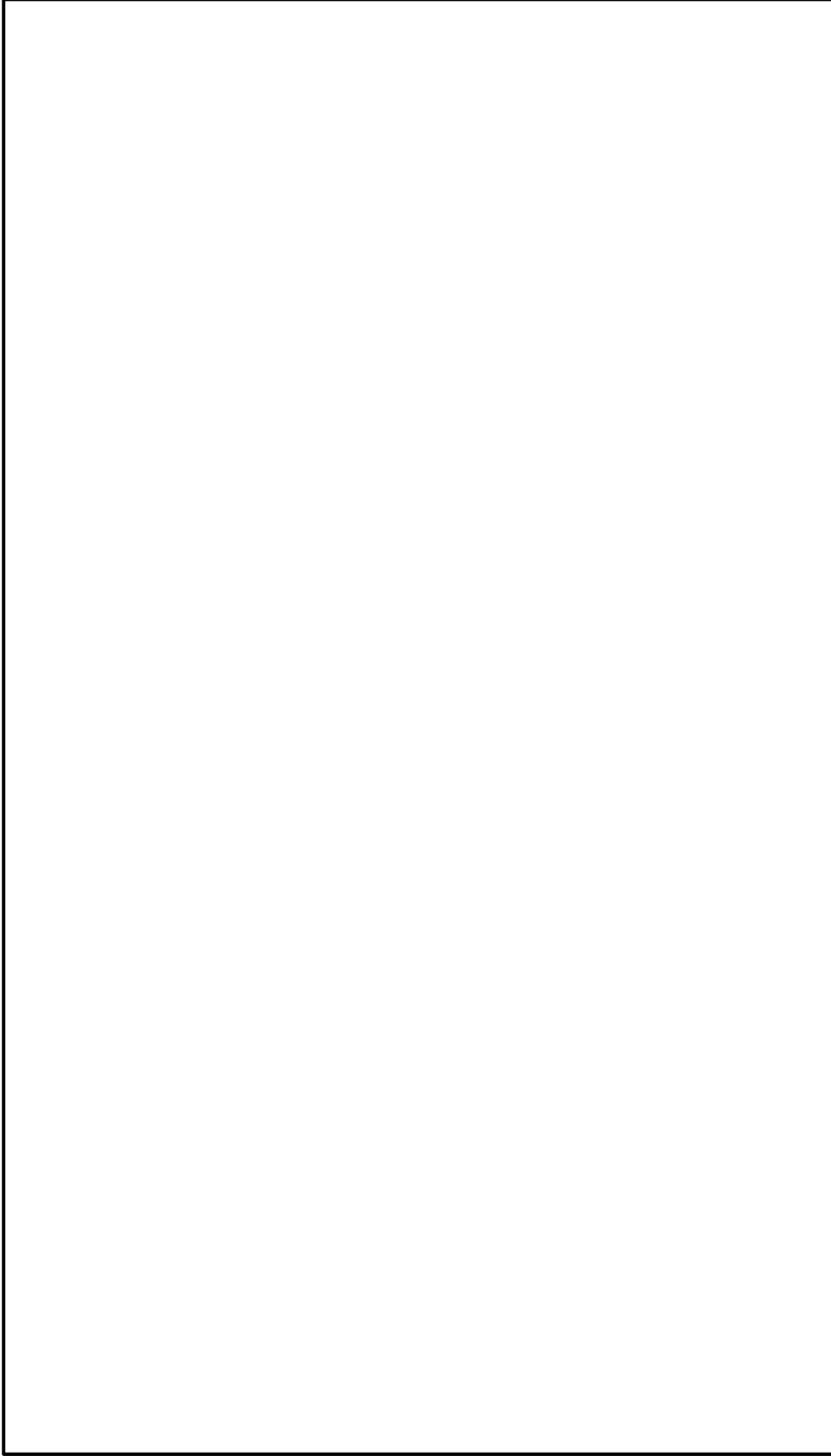


図 6-3 (2/2) 床応答スペクトルとクレーン固有周期の重ね合わせ (拡大図)
〈トロリ待機/ホイスト待機, ダンパ性能標準, NS 方向〉①

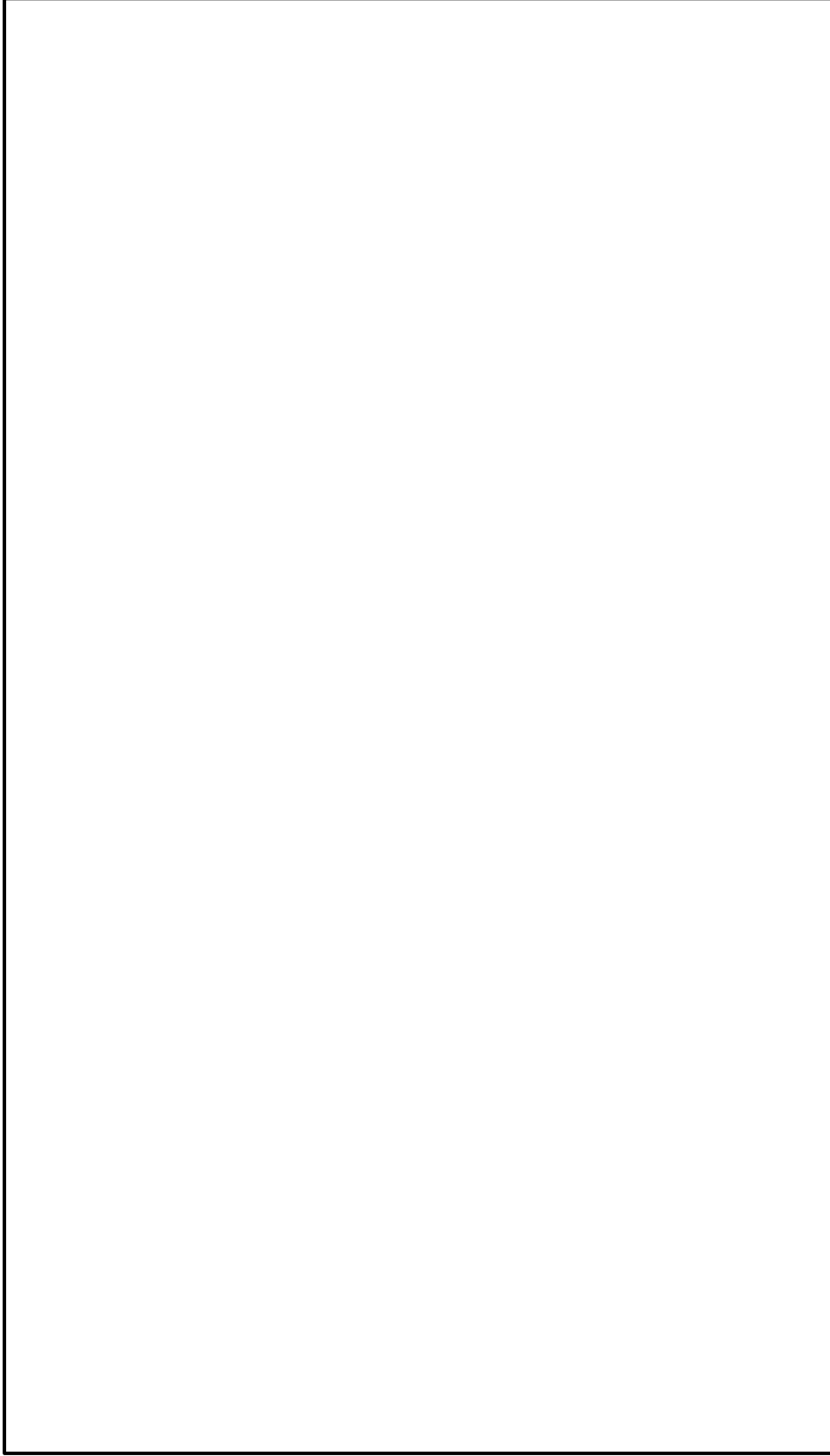


図 6-4(1/2) 床応答スペクトルとクレーン固有周期の重ね合わせ (全体図)
＜トロリ待機/ホイスト待機, ダンパ性能標準, 鉛直方向＞①

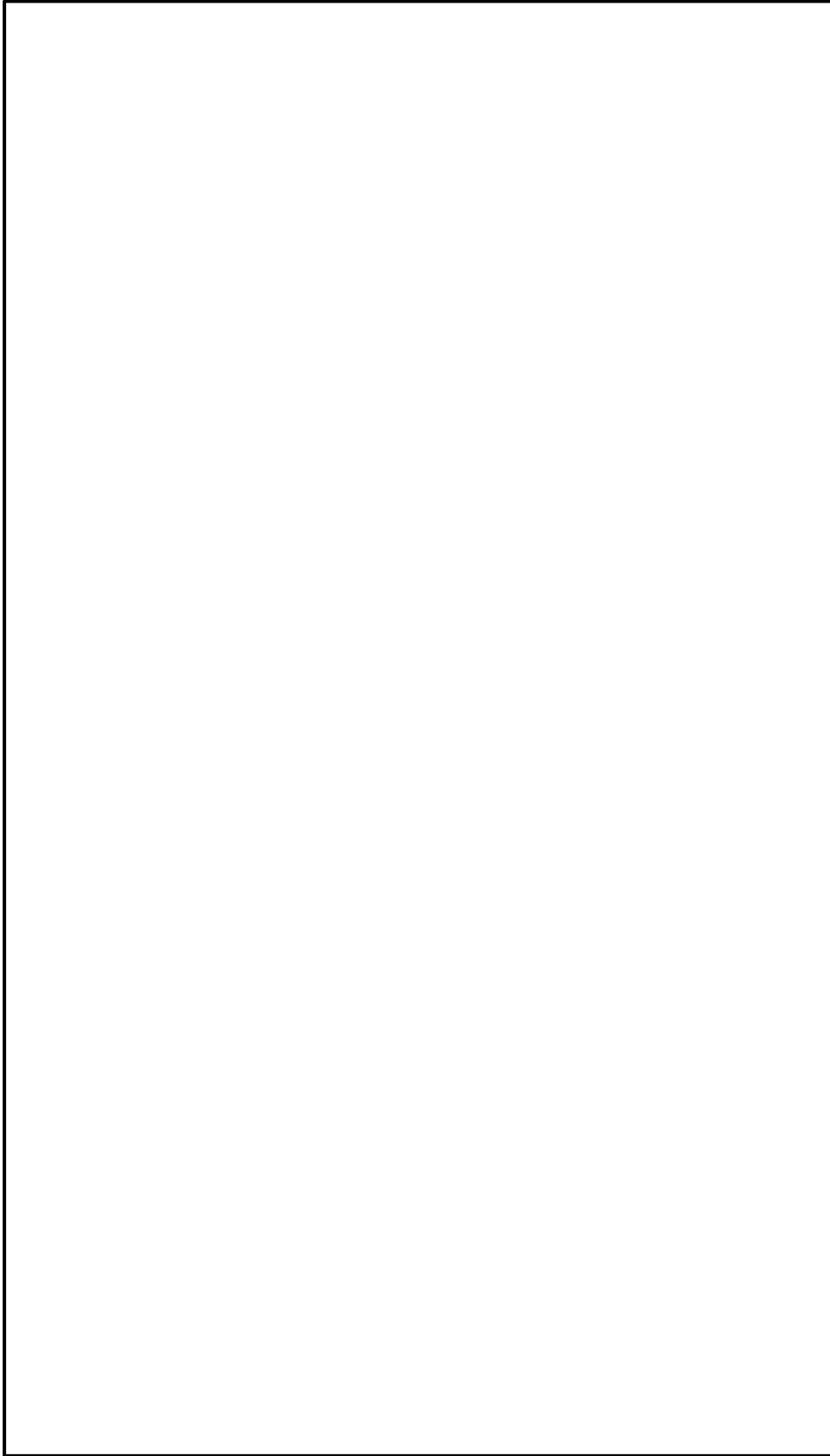


図 6-4(2/2) 床応答スペクトルとクレーン固有周期の重ね合わせ (拡大図)
＜トロリ待機/ホイスト待機, ダンパ性能標準, 鉛直方向＞①

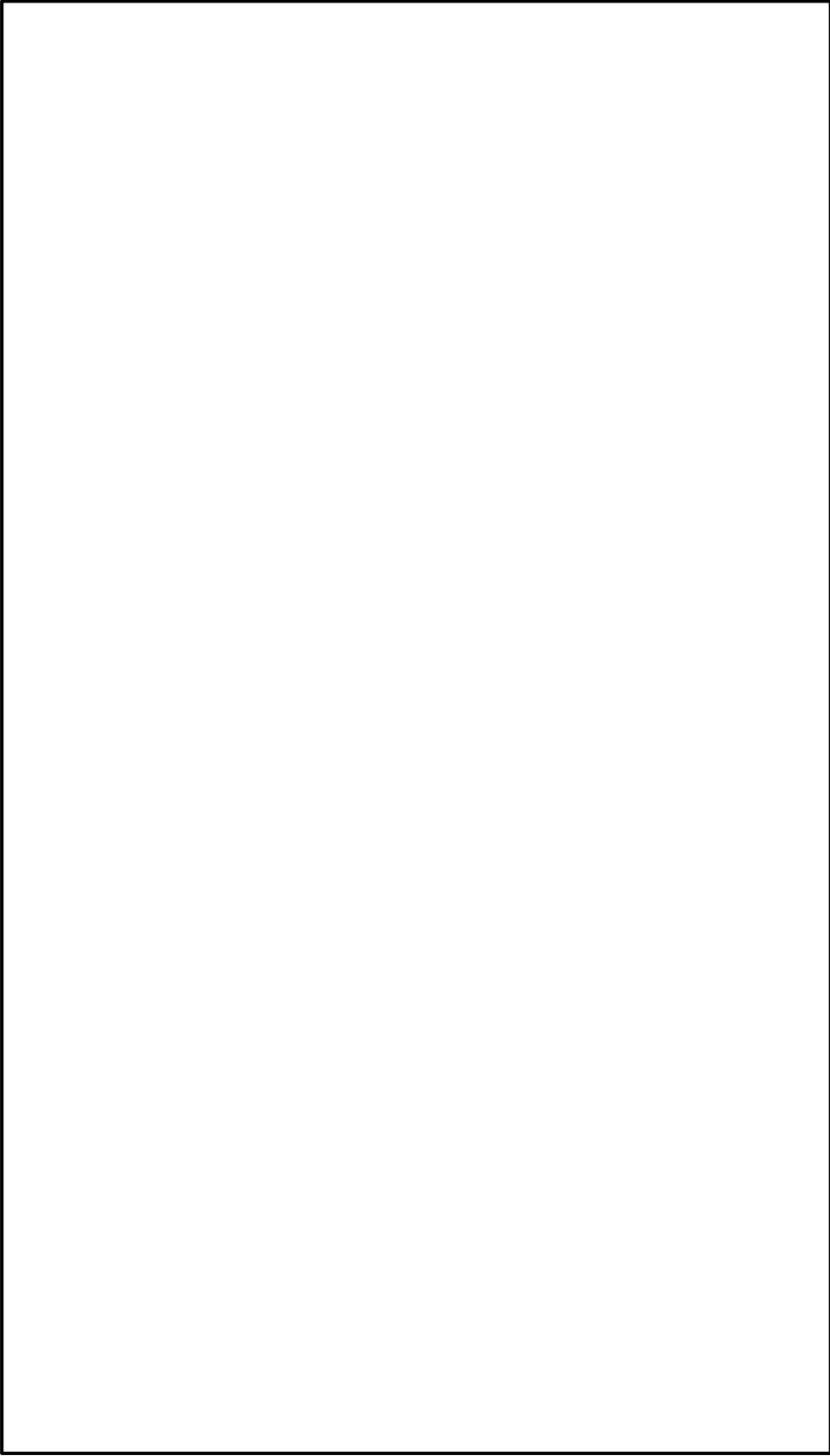


図 6-5(1/2) 床応答スペクトルとクレーン固有周期の重ね合わせ (全体図)
くまろリ待機/ホイスト待機, ダンパ性能標準, NS 方向, +10%シフト/地盤物性- σ >②

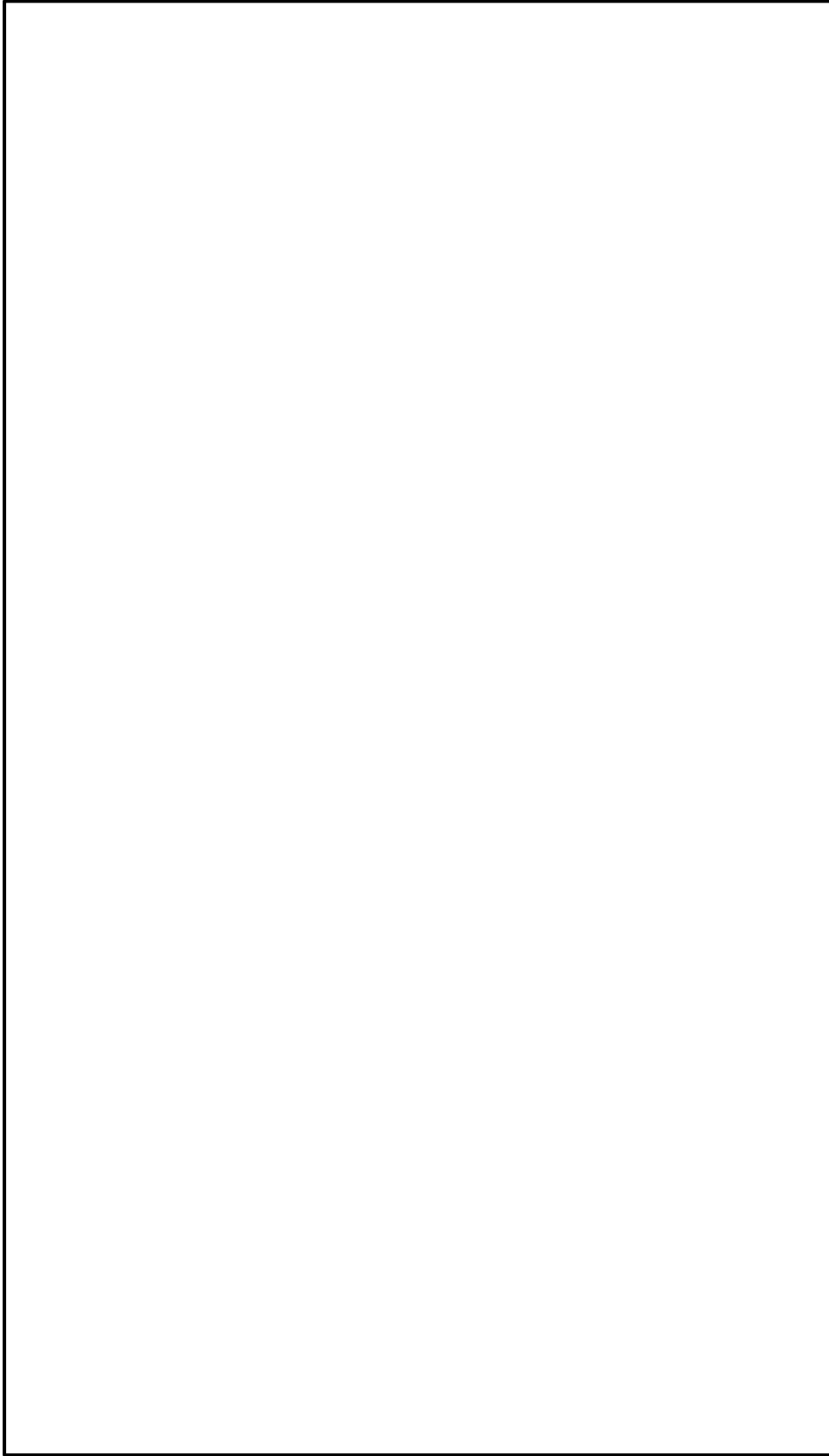


図 6-5 (2/2) 床応答スペクトルとクレーン固有周期の重ね合わせ (拡大図)
くとり待機/ホイスト待機, ダンパ性能標準, NS 方向, +10%シフト/地盤物性- σ >②



図 6-6(1/2) 床応答スペクトルとクレーン固有周期の重ね合わせ (全体図)
トロリ待機/ホイスト待機, ダンパ性能標準, 鉛直方向, +10%シフト/地盤物性- $\sigma > \sigma$ ②

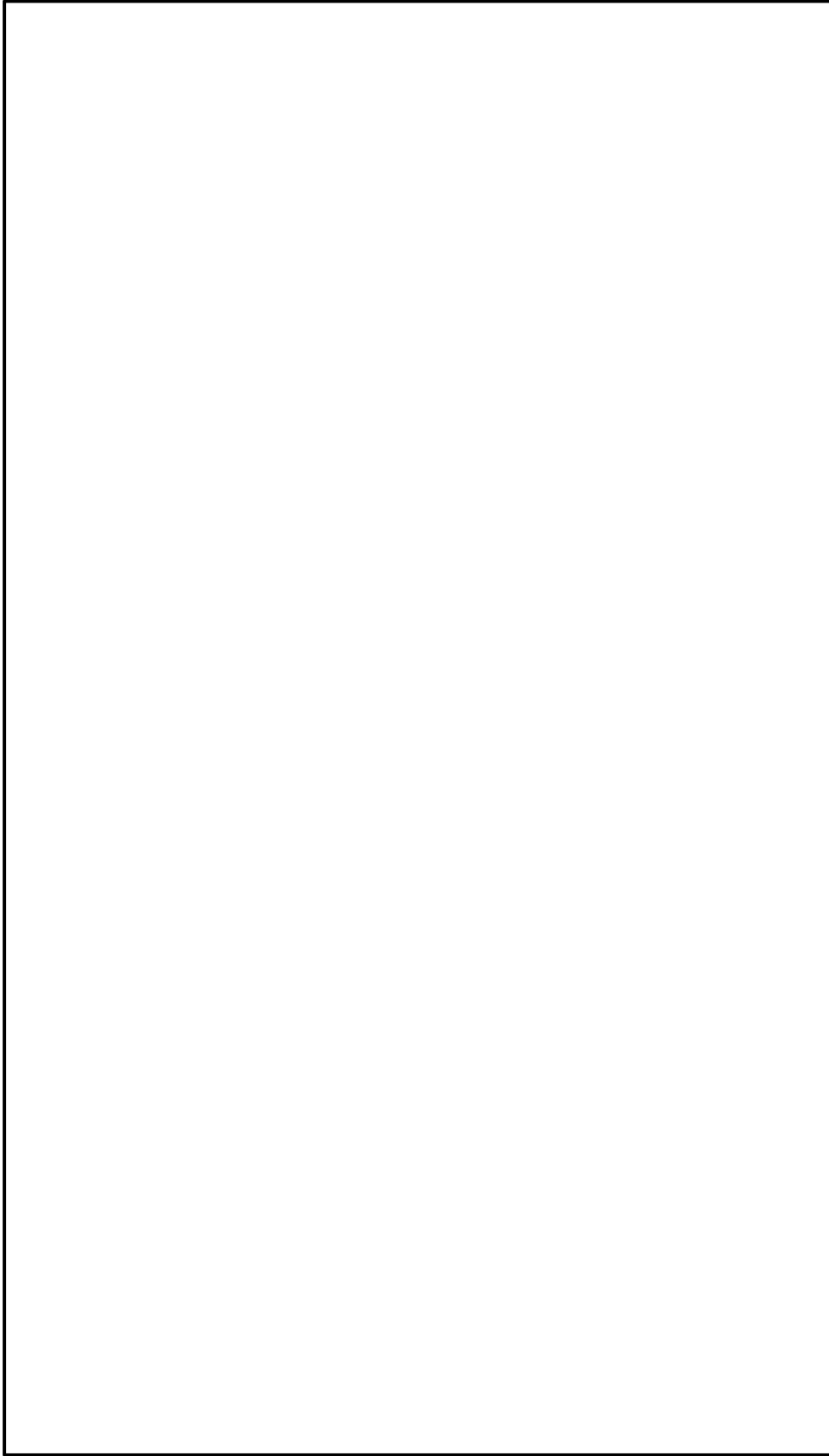


図 6-6(2/2) 床応答スペクトルとクレーン固有周期の重ね合わせ (拡大図)
トロリ待機/ホイスト待機, ダンパ性能標準, 鉛直方向, +10%シフト/地盤物性- $\sigma > \sigma$ ②

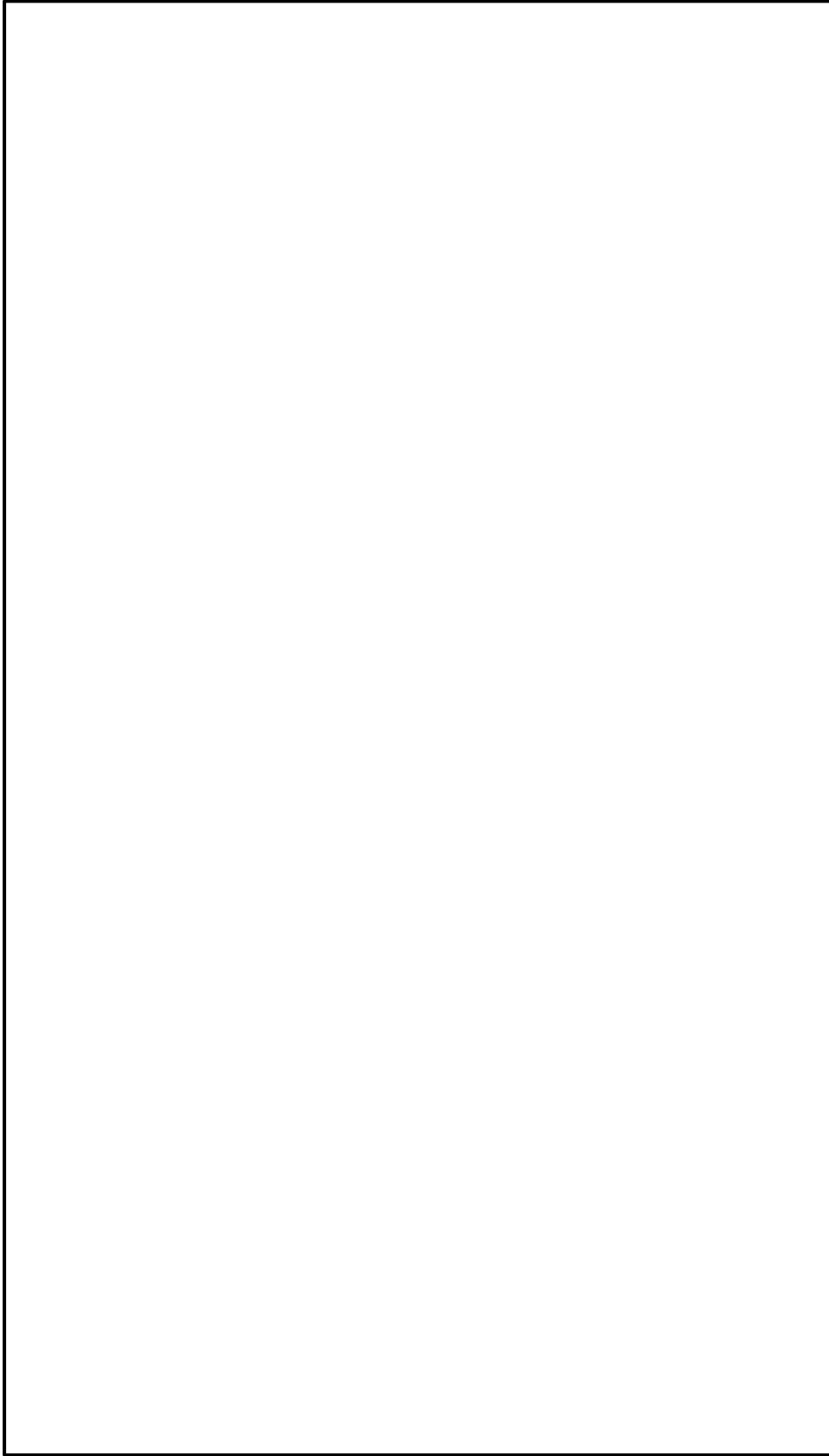


図 6-7(1/2) 床応答スペクトルとクレーン固有周期の重ね合わせ (全体図)
くトロリ待機/ホイスト待機, ダンパ性能標準, NS 方向, -10%シフト/地盤物性+ σ >③

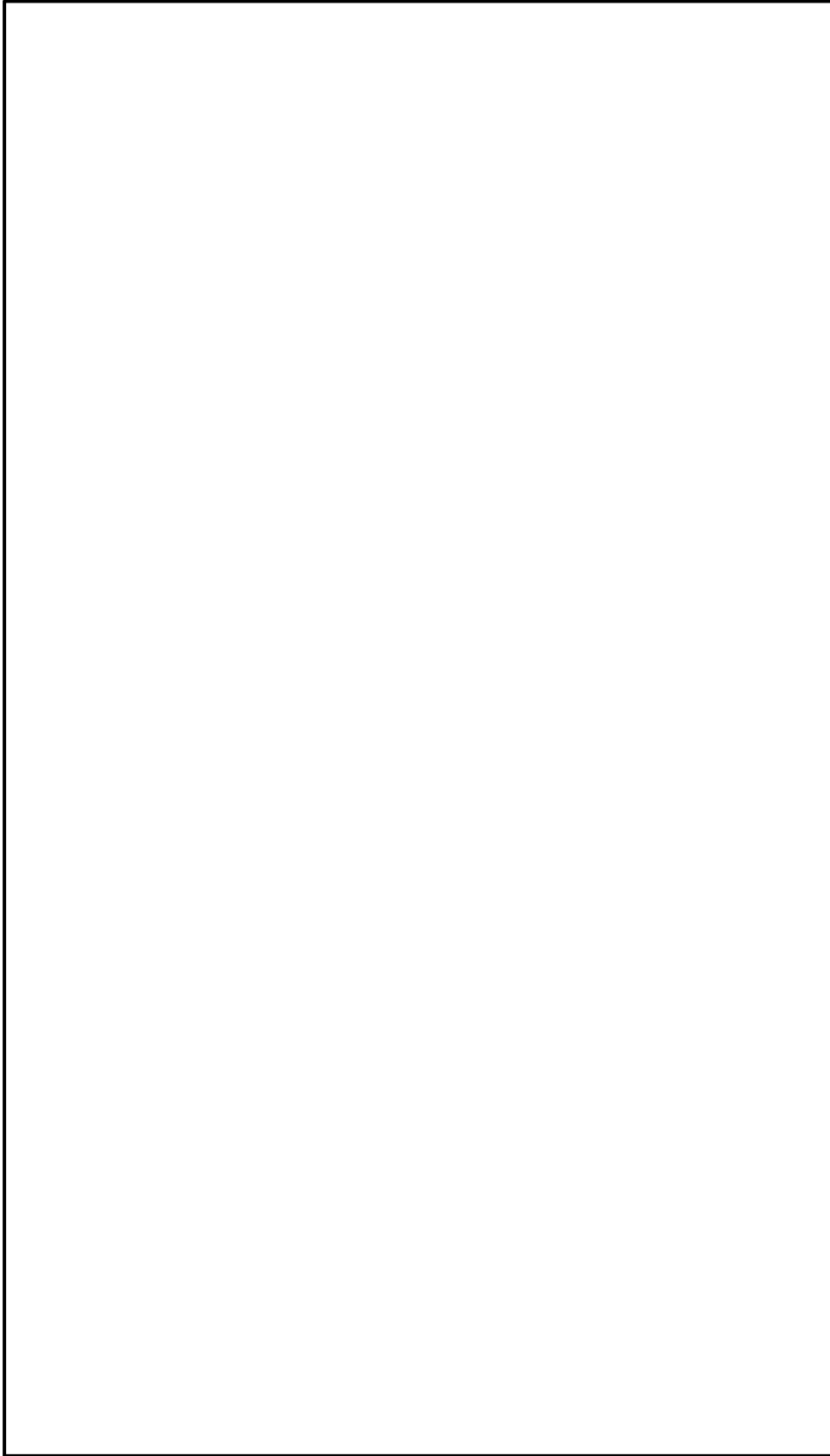


図 6-7 (2/2) 床応答スペクトルとクレーン固有周期の重ね合わせ (拡大図)
くとり待機/ホイスト待機, ダンパ性能標準, NS 方向, -10%シフト/地盤物性+ σ >③



図 6-8(1/2) 床応答スペクトルとクレーン固有周期の重ね合わせ (全体図)
トロリ待機/ホイスト待機, ダンパ性能標準, 鉛直方向, -10%シフト/地盤物性+ σ >③

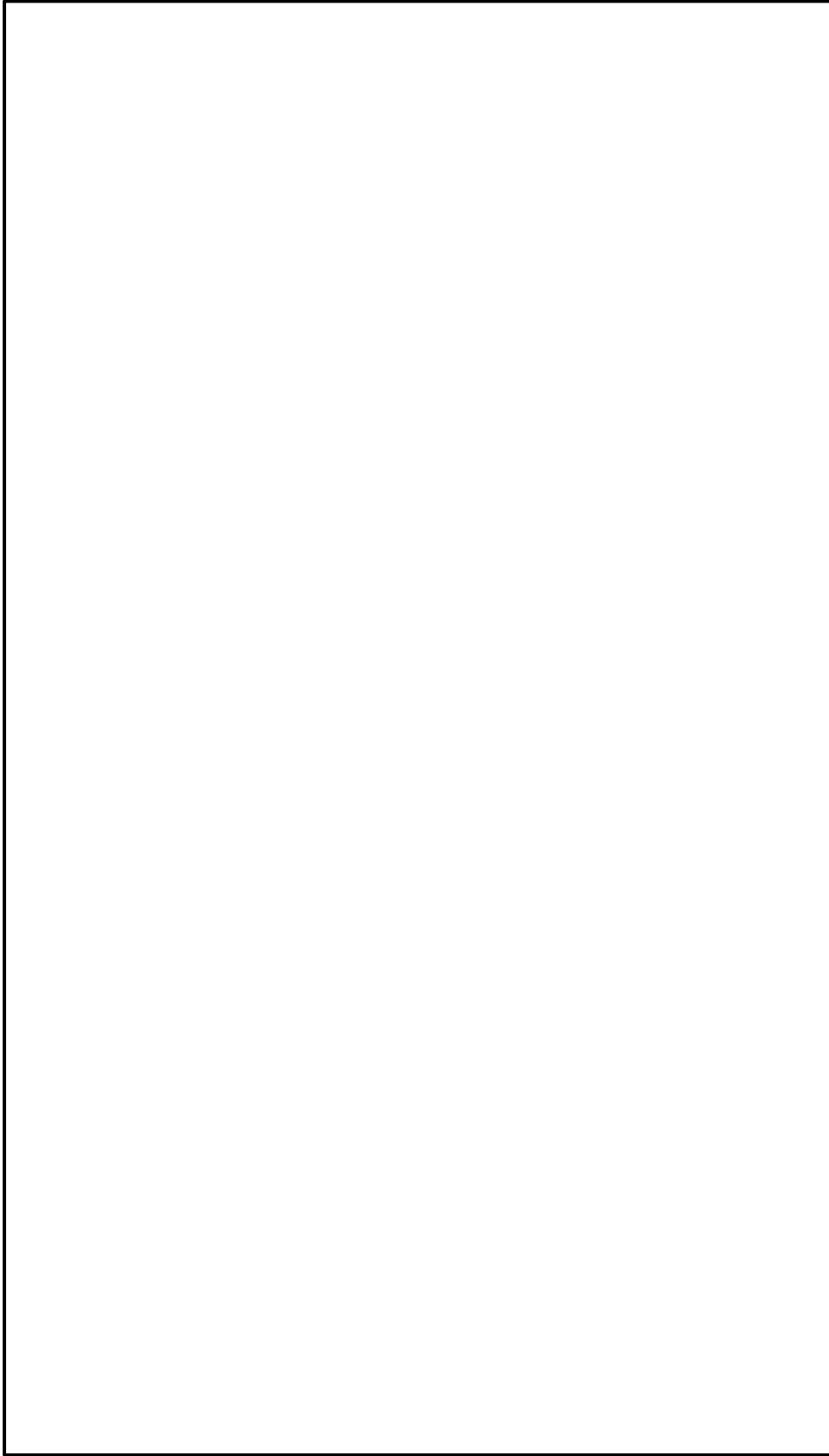


図 6-8(2/2) 床応答スペクトルとクレーン固有周期の重ね合わせ (拡大図)
トロリ待機/ホイスト待機, ダンパ性能標準, 鉛直方向, -10%シフト/地盤物性+ σ >③

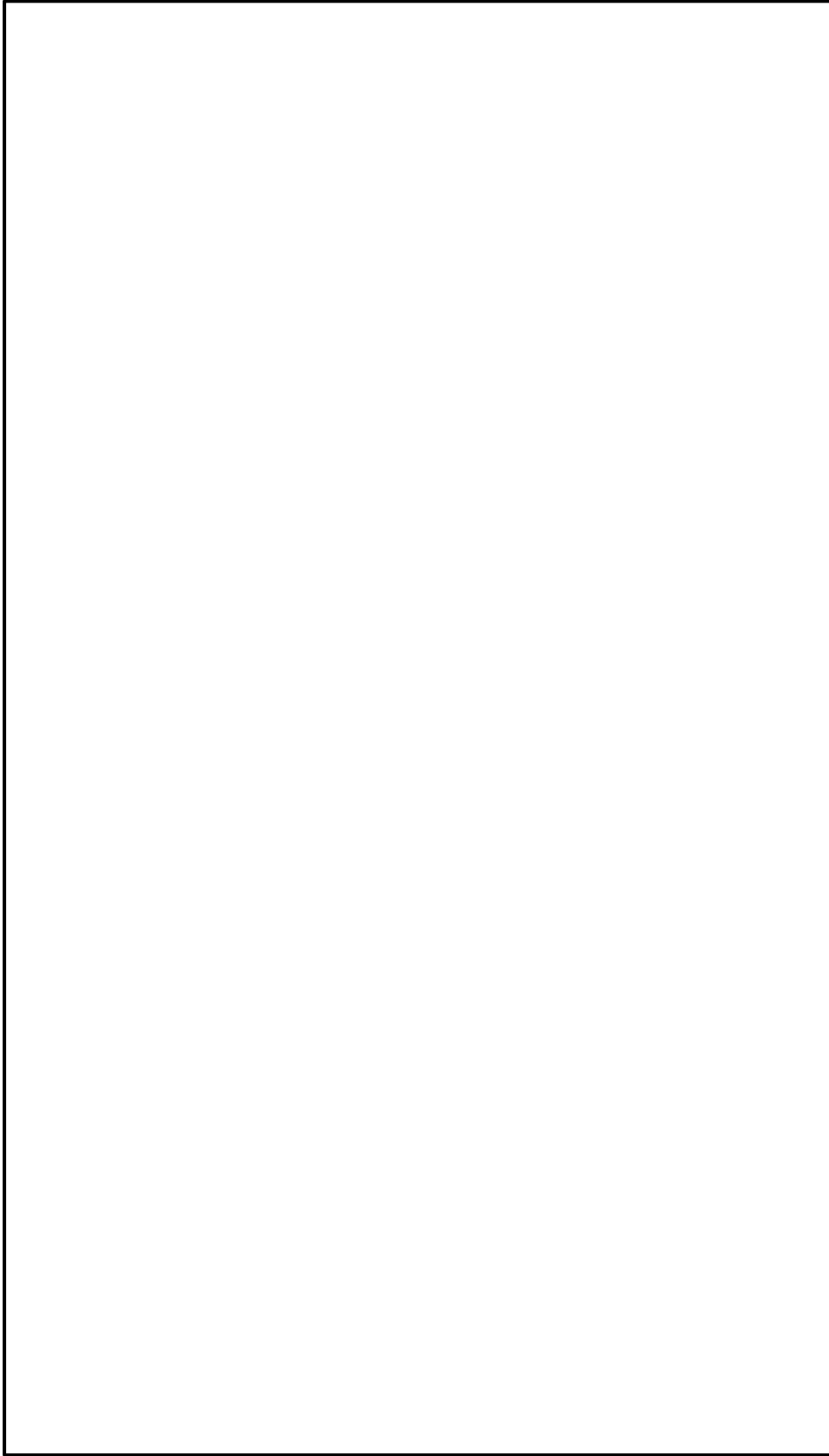


図 6-9(1/2) 床応答スペクトルとクレーン固有周期の重ね合わせ (全体図)
〈トロリ待機/ホイスト待機, ダンパ性能標準, NS 方向, 加速度ピーク>④

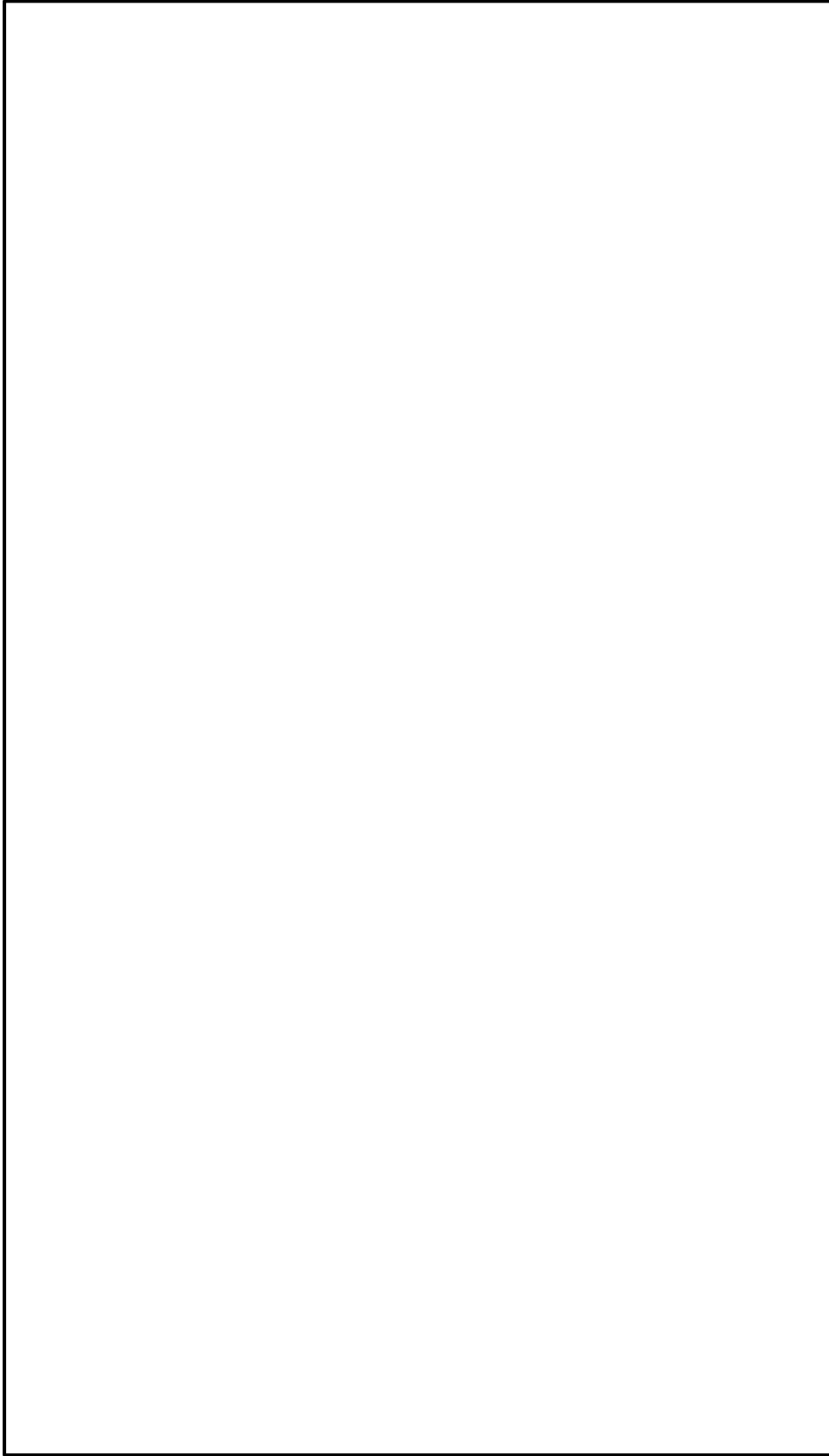


図 6-9(2/2) 床応答スペクトルとクレーン固有周期の重ね合わせ (拡大図)
〈トロリ待機/ホイスト待機, ダンパ性能標準, NS 方向, 加速度ピーク〉④

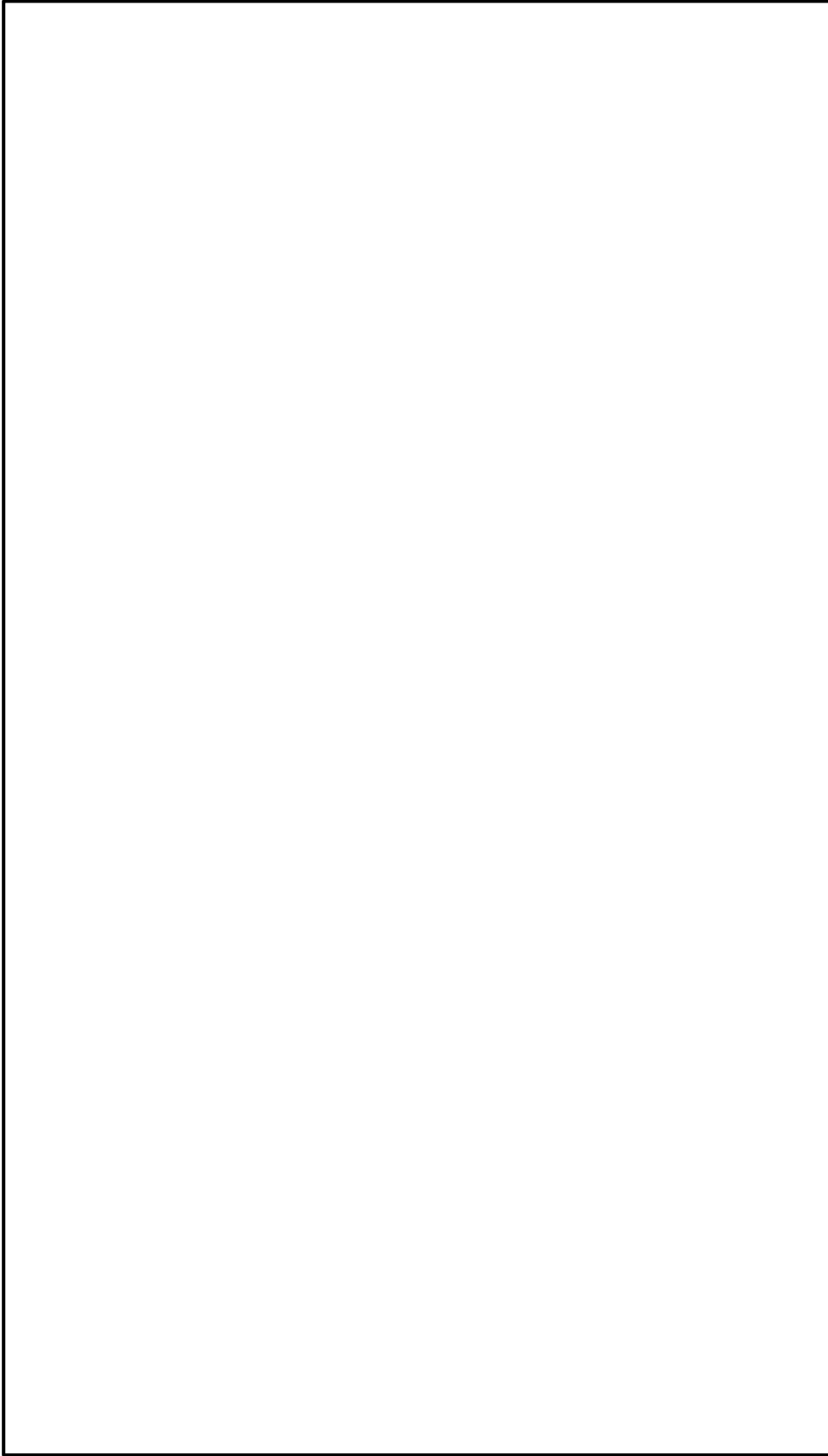


図 6-10 (1/2) 床応答スペクトルとクレーン固有周期の重ね合わせ (全体図)
くトロリ待機/ホイスト待機, ダンパ性能標準, 鉛直方向, 加速度ピーク>④

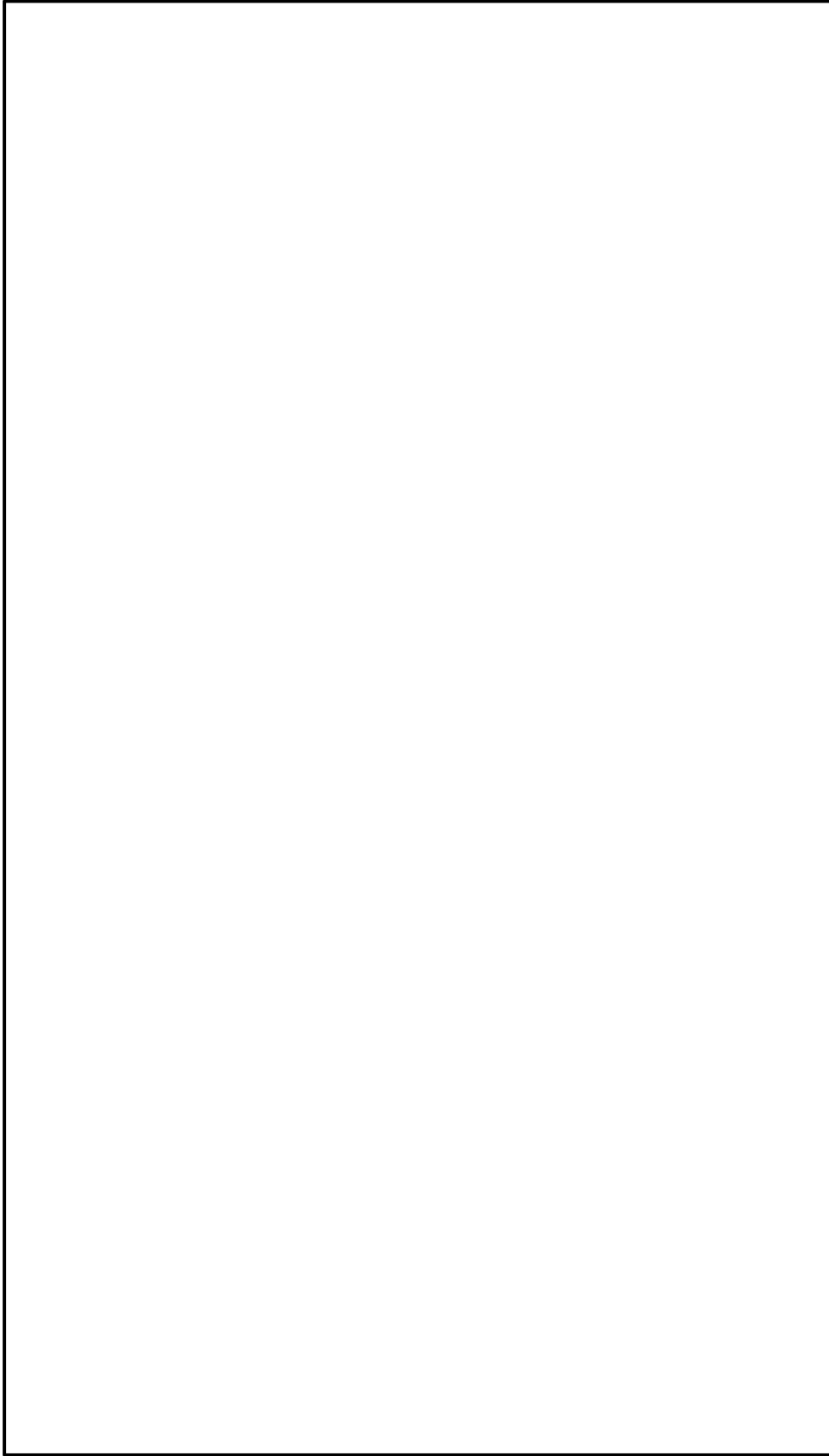


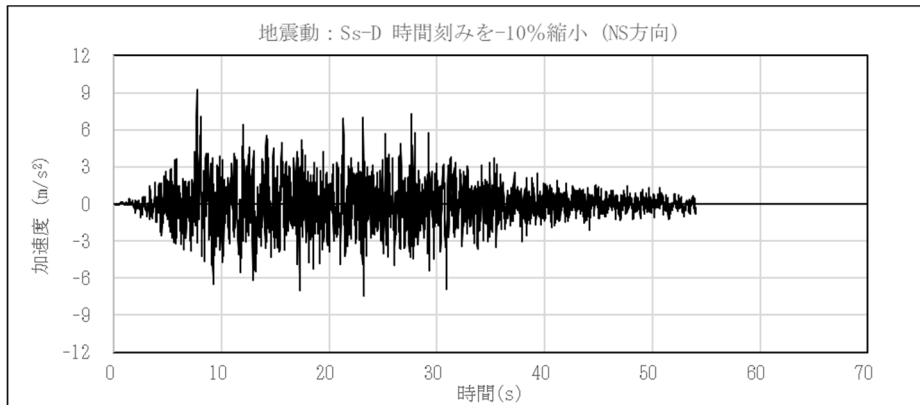
図 6-10 (2/2) 床応答スペクトルとクレーン固有周期の重ね合わせ (拡大図)
トロリ待機/ホイスト待機, ダンパ性能標準, 鉛直方向, 加速度ピーク>④

2.4. 時刻歴波の時間刻み±10%シフト

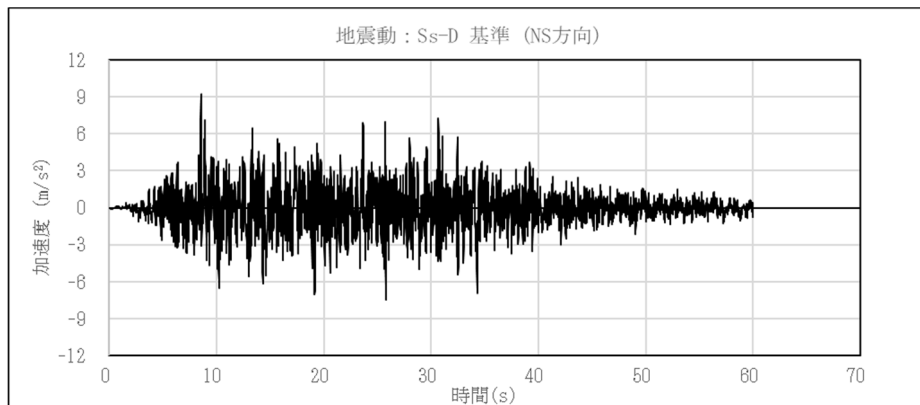
図 6-11 に、検討用地震動の時間刻みを±10%シフトした例を示す。

各地震動において、+10%シフトでは時刻歴波の時間刻みを 1.1 倍、-10%シフトでは時刻歴波の時間刻みを 0.9 倍したものを用いている。なお、この時間シフトは、選定した検討用地震動の 3 方向全てに対し適用している。

◆地震動：Ss-D，時間刻みを-10%シフト



◆地震動：Ss-D，基準



◆地震動：Ss-D，時間刻みを+10%シフト

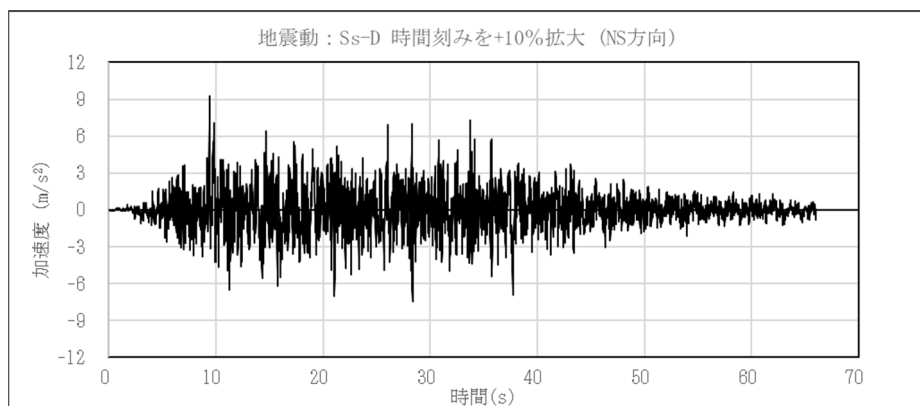
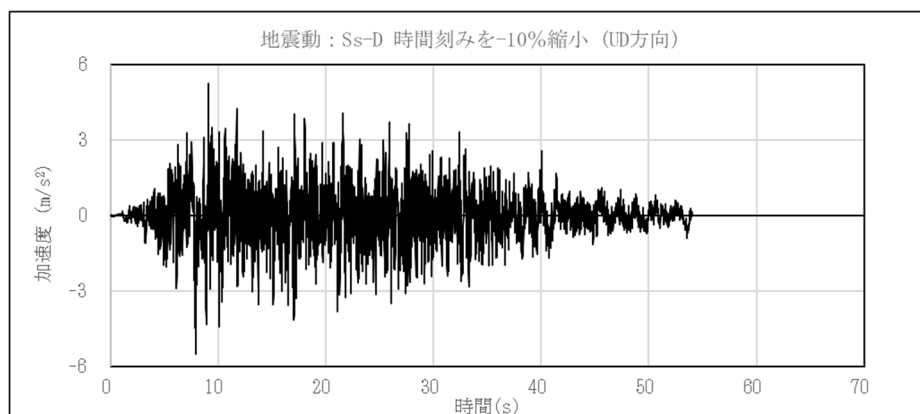
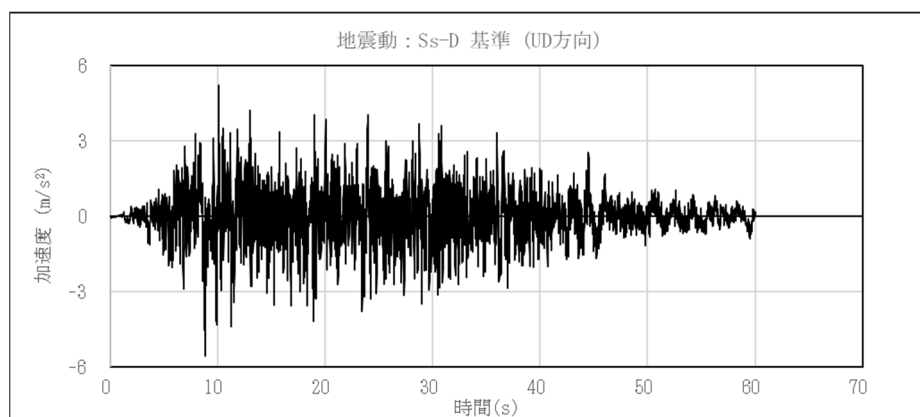


図 6-11 (1/2) 検討用地震動の時間刻みを±10%シフトした例 (NS 方向)

◆地震動：Ss-D, 時刻刻みを-10%シフト



◆地震動：Ss-D, 基準



◆地震動：Ss-D, 時刻刻みを+10%シフト

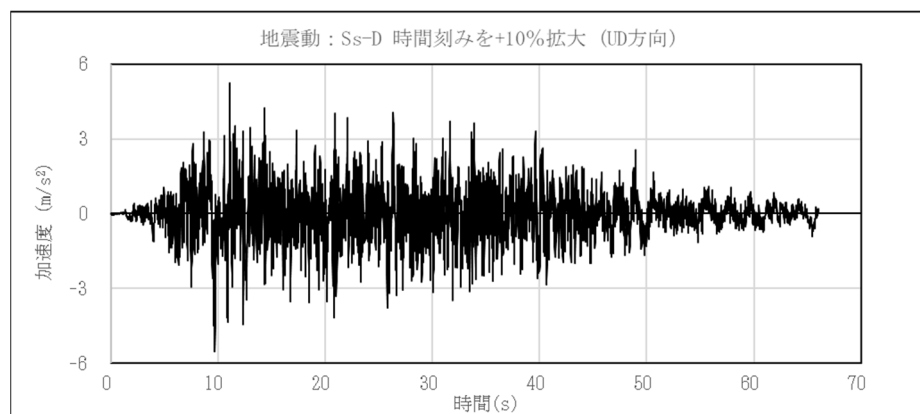


図 6-11 (2/2) 検討用地震動の時刻刻みを±10%シフトした例 (UD方向)

2.5 地震応答解析結果

2.3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脚下部継ぎの最も厳しい応力分類である組合せについて記載している。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，床応答スペクトルで考慮している±10%拡幅に相当する不確かさを考慮した場合の耐震性について問題ないことを確認した。

表 6-2 床応答スペクトルで考慮している±10%振幅に相当する不確かさを考慮した地震応答解析結果

選定方法	ケース No.	トコロ 位置	ホイス 位置	ダンパ 性能	評価用 地震動	地盤物性	位相	時間刻み シフト	応力分類 (組合せ)	発生値 [MPa]	許容限界 [MPa]	裕度 [-]
① (基準ケース)	3	待機	待機	標準	Ss-D	平均	+	基準	組合せ	244	280	1.14
② (+10%シフト/ 地盤物性- σ)	+10%シフト							235		1.19		
③ (-10%シフト/ 地盤物性+ σ)	-10%シフト							230		1.21		
	基準							236		1.18		
④ (ピークシフト)	9							+9.1%シフト		平均		238

3. ダンパ性能の不確かさの考慮

ダンパ性能の不確かさを考慮するための地震動の選定方法と選定結果を以下に示す。

3.1 検討用地震動の選定方法

図 6-12～図 6-15 に、床応答スペクトルとダンパ性能の不確かさ（±20%）を考慮した固有周期の重ね合わせを示す。

検討用地震動については以下に示す 2 種類の方法で選定している。

- ① 添付 5 で選定した代表地震動（Ss-D）及びトロリ待機位置/ホイスト待機位置，ダンパ性能標準を基準ケースとする。
- ⑤ 上記①の基本ケースに対し，ダンパ性能のばらつきを考慮したクレーン固有周期において加速度最大となる地震動を評価に適用する。

3.2 検討用地震動の選定結果

表 6-3 に，検討用地震動の選定結果を示す。

表 6-3 不確かさ検討用地震動の選定結果

選定方法	ケース No.	トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時刻みシフト	関連図*	地震応答出力点
① (基準ケース)	3	待機	待機	標準	Ss-D	平均	+	基準	図6-3	10299
				+20%						3033
				-20%						10299
⑤ (ダンパ性能+20%)	10	待機	待機						図6-12	10299
⑥ (ダンパ性能-20%)	11	待機	待機						図6-13	10095
									図6-14	10299
									図6-15	3033

注記* : 上段は水平(NS)方向, 下段は鉛直方向を示す。

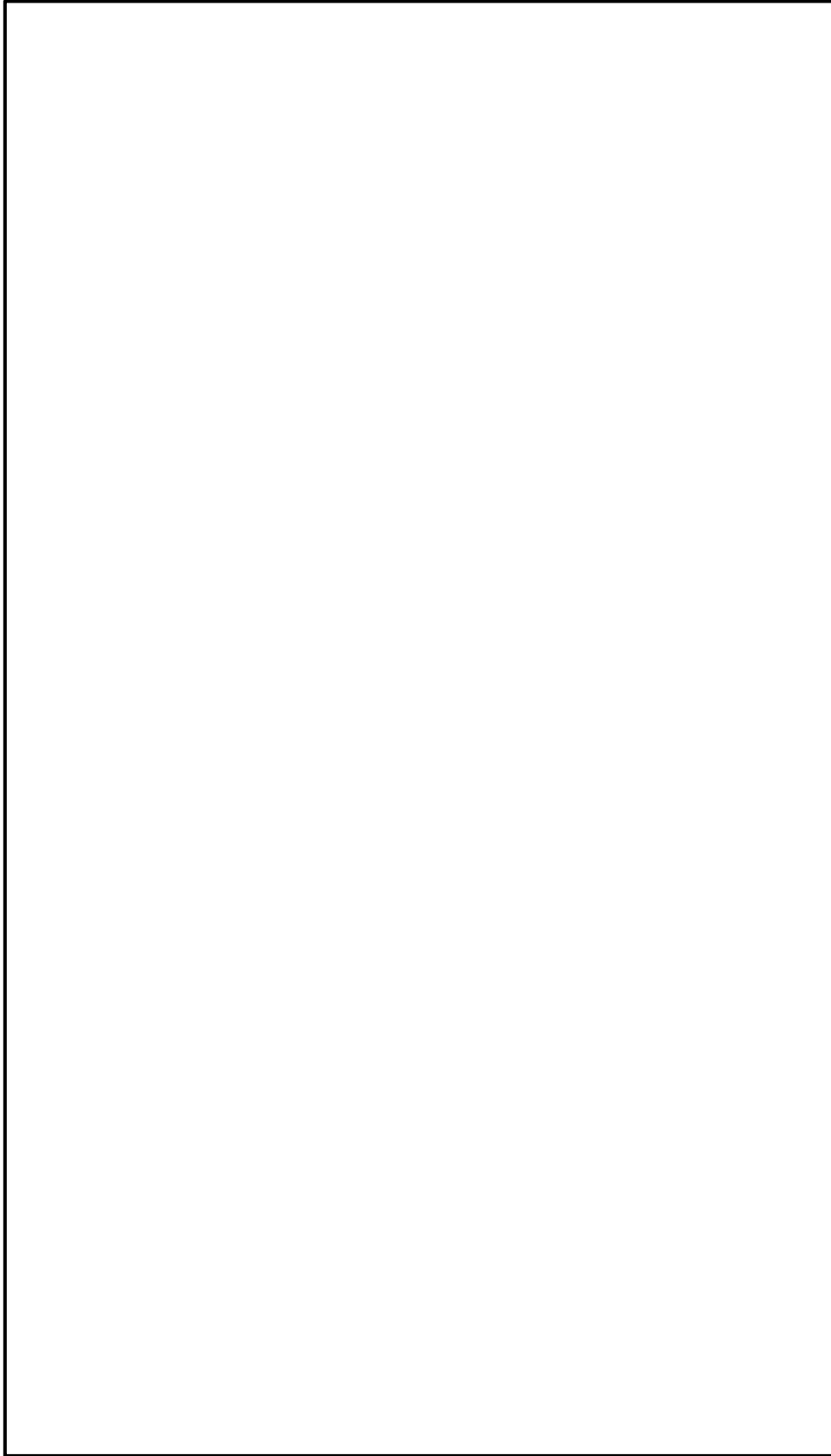


図 6-12(1/2) 床応答スペクトルとクレーン固有周期の重ね合わせ (全体図)
　　<トロリ待機/ホイス ト待機, ダンパ性能+20%, 方向>⑤

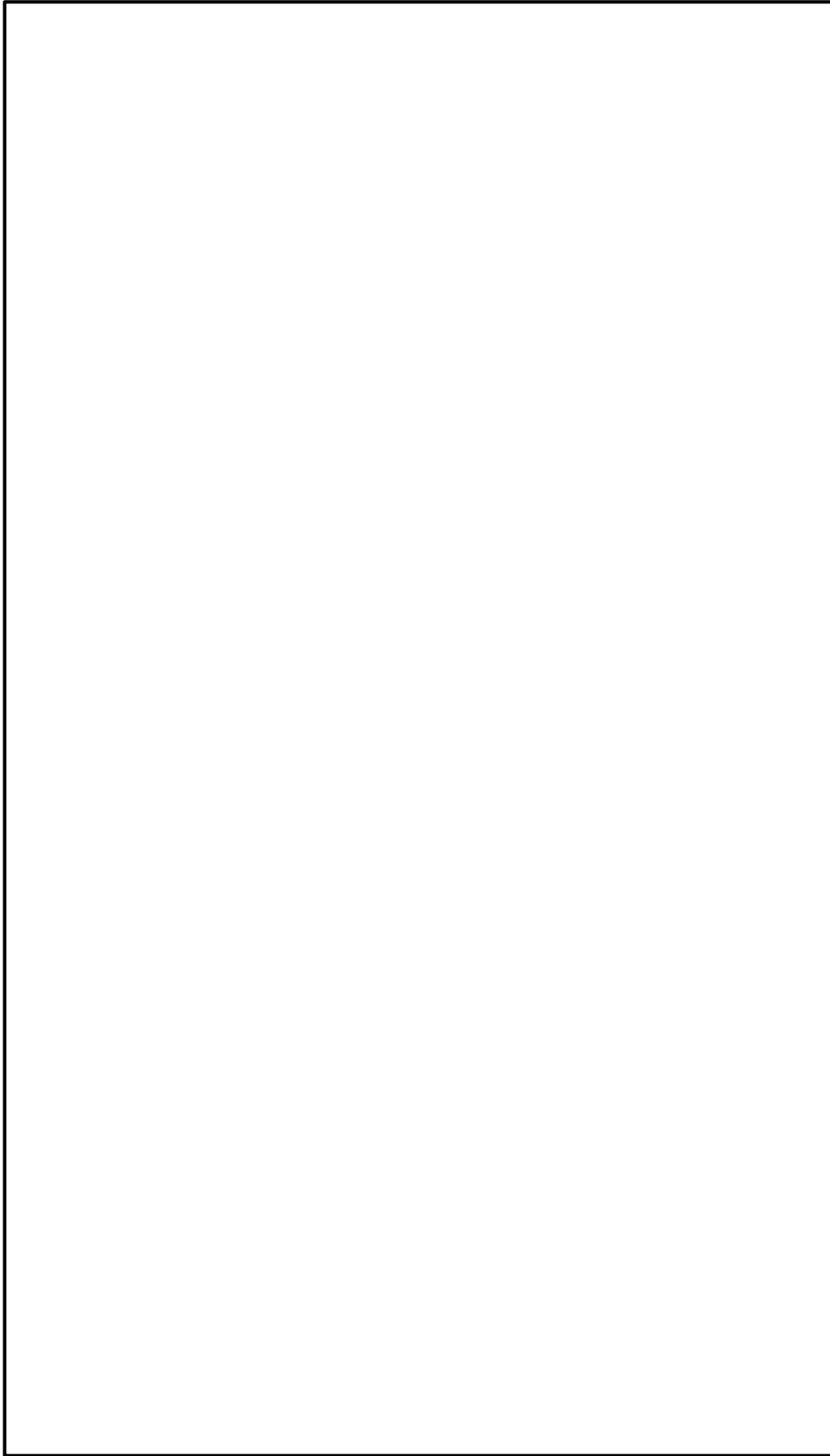


図 6-12 (2/2) 床応答スペクトルとクレーン固有周期の重ね合わせ (拡大図)
〈トロリ待機/ホイスト待機, ダンパ性能+20%, NS 方向〉⑤

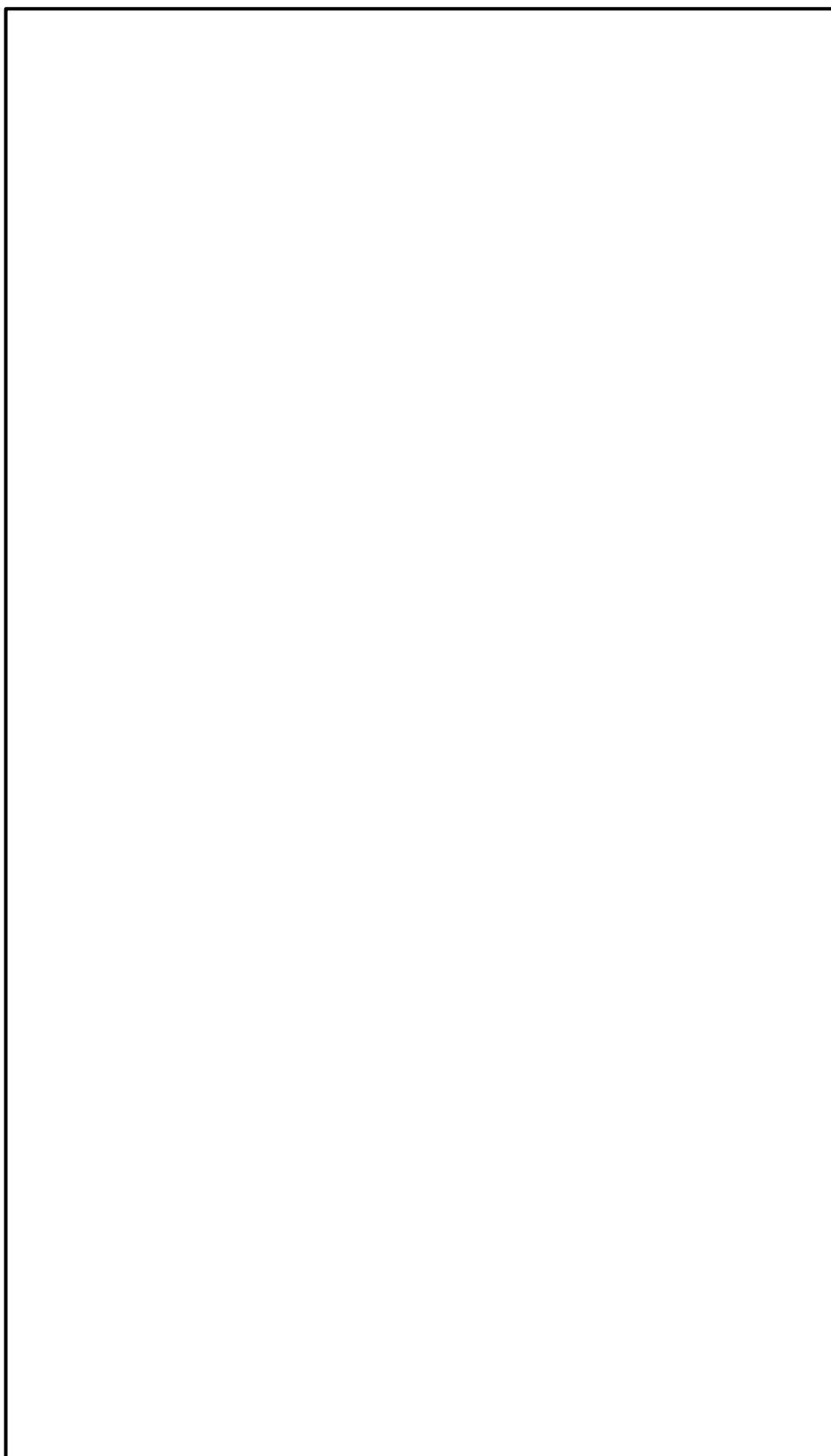


図 6-13 (1/2) 床応答スペクトルとクレーン固有周期の重ね合わせ (全体図)
　　<トロリ待機/ホイスト待機, ダンパ性能+20%, 鉛直方向>⑤

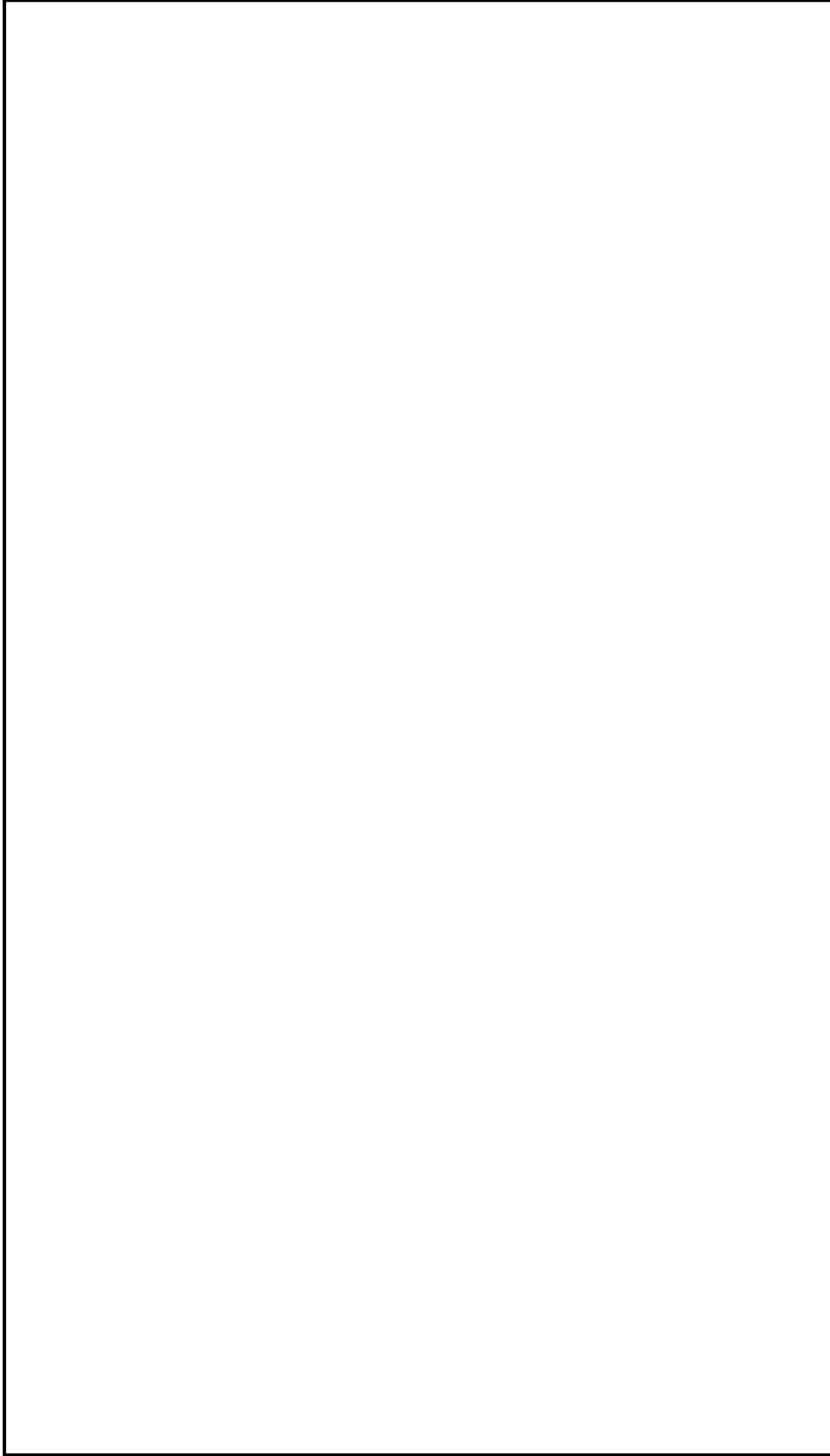


図 6-13 (2/2) 床応答スペクトルとクレーン固有周期の重ね合わせ (拡大図)
〈トロリ待機/ホイスト待機, ダンパ性能+20%, 鉛直方向〉⑤

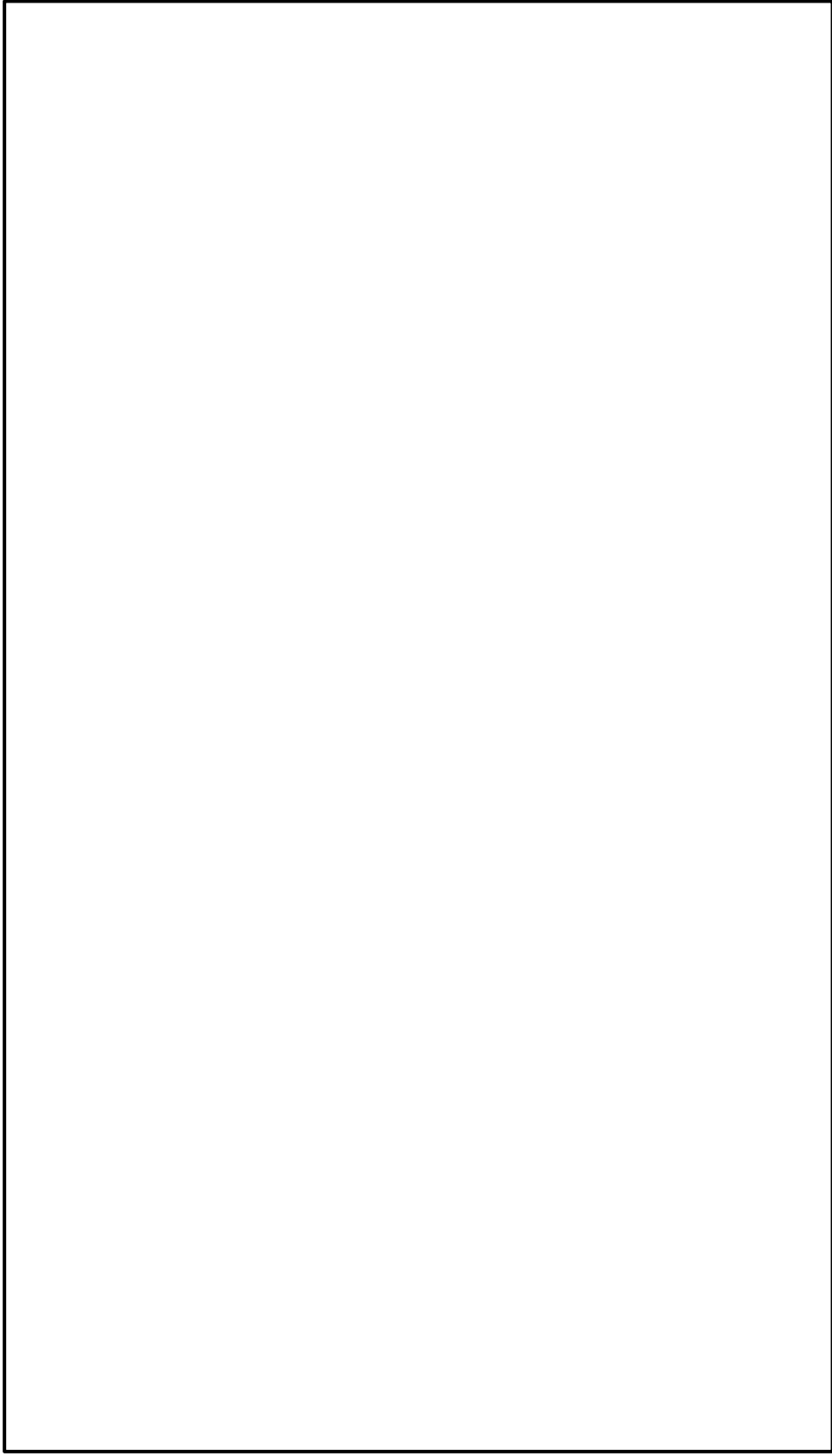


図 6-14(1/2) 床応答スペクトルとクレーン固有周期の重ね合わせ (全体図)
＜トロリ待機/ホイスト待機, ダンパ性能-20%, NS 方向>⑤

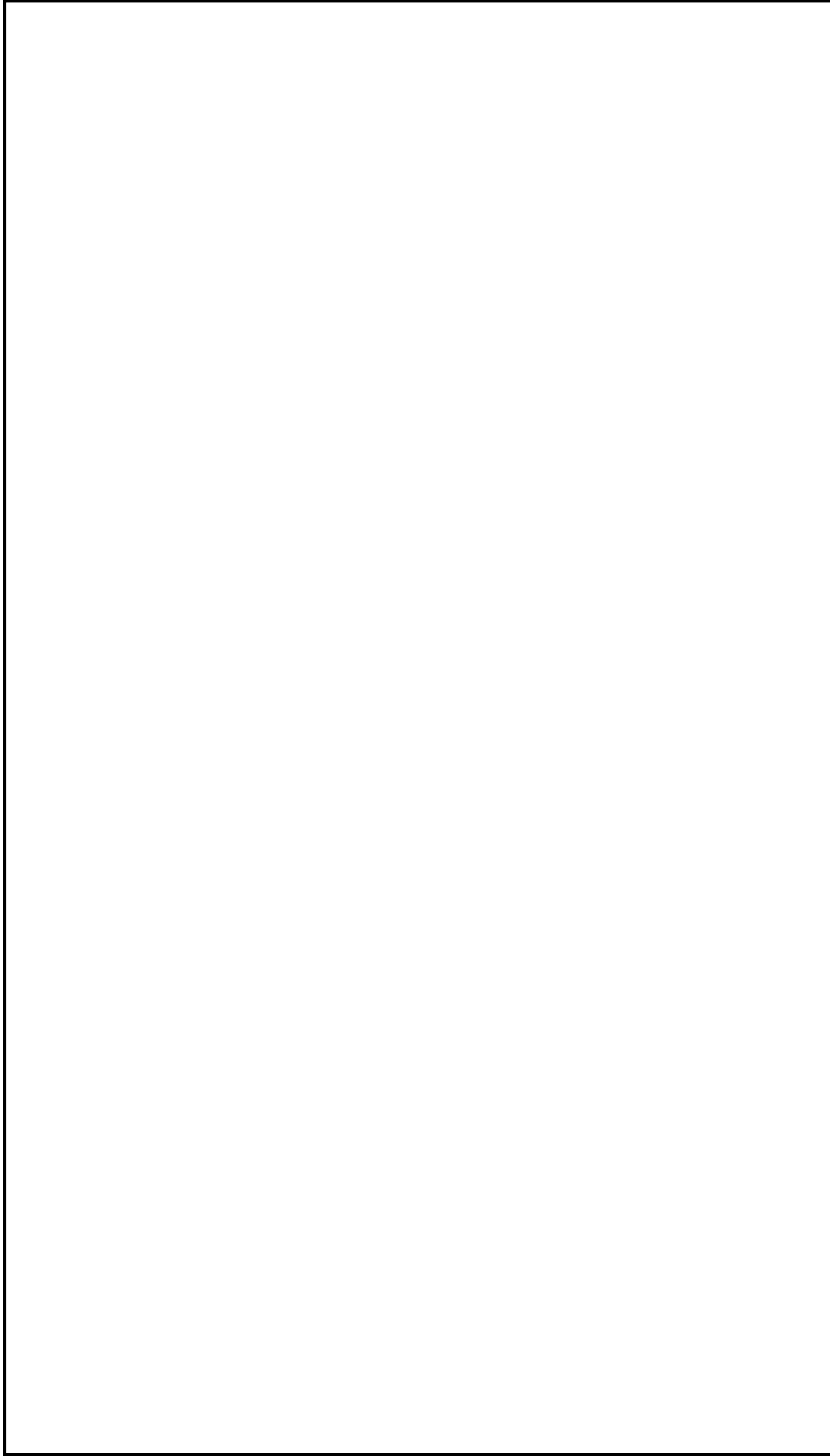


図 6-14 (2/2) 床応答スペクトルとクレーン固有周期の重ね合わせ (拡大図)
＜トロリ待機/ホイスト待機, ダンパ性能-20%, NS 方向>⑤



図 6-15(1/2) 床応答スペクトルとクレーン固有周期の重ね合わせ (全体図)
〈トロリ待機/ホイスト待機, ダンパ性能-20%, 鉛直方向〉⑤

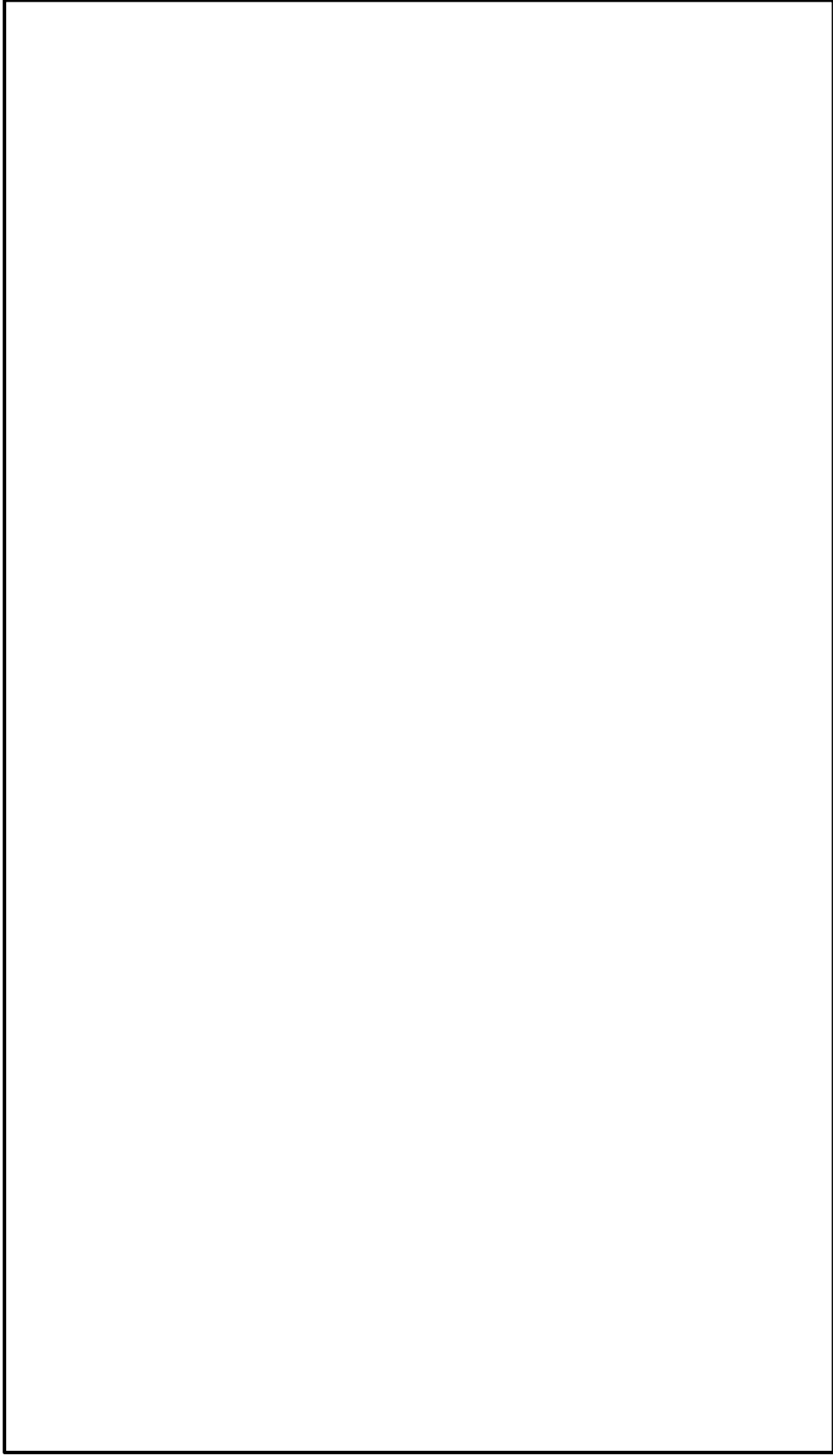


図 6-15 (2/2) 床応答スペクトルとクレーン固有周期の重ね合わせ (拡大図)
〈トロリ待機/ホイスト待機, ダンパ性能-20%, 鉛直方向〉⑤

3.3 地震応答解析結果

3.2 項で選定した検討用地震動に対する地震応答解析結果を表 6-4 に示す。本表には裕度最小部位である脚下部継ぎの最も厳しい応力分類である組合せについて記載している。地震応答解析の結果，表 6-4 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，ダンパ性能の不確かさを考慮した場合の耐震について問題ないかことを確認した。

表 6-4 ダンパ性能の不確かさを考慮した地震応答解析結果

選定方法	ケース No.	トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時間刻みシフト	応力分類(組合せ)	発生値 [MPa]	許容限界 [MPa]	裕度 [-]
① (基準ケース)	3			標準						244		1.14
⑤ (ダンパ性能+20%)	10	待機	待機	+20%	Ss-D	平均	+	基準	組合せ	242	280	1.15
⑥ (ダンパ性能-20%)	11			-20%						241		1.16

4. 位相反転地震動の考慮

取水槽ガントリクレーンについて、2項に示すように非線形時刻歴応答解析において床応答スペクトルで考慮している±10%拡幅に相当する不確かさを考慮した場合でも耐震性について問題ないことを確認した。

ただし評価は、VI-2-2-18「取水槽の地震応答計算書」に基づき算定された地震動の位相を++*としたケースの加速度時刻歴を用いて実施している。取水槽に設置される機器・配管系に適用する耐震設計条件については、位相を反転したケースの加速度時刻歴（以下、位相反転地震動という。）を考慮していることから、本項においては位相反転地震動による耐震評価を実施する。

注記*：++の最初の符号は水平動、次の符号は鉛直動を示し、「-」は位相を反転させたケースを示す。

4.1 位相反転地震動の選定方法

図6-16～図6-17に、位相反転を考慮した場合の床応答スペクトルとクレーンの固有周期の重ね合わせを示す。

検討用地震動については以下に示す2種類の方法で選定している。

- ① 添付5で選定した代表地震動（Ss-D）、トロリ待機状態/ホイスト待機位置及びダンパ性能標準を基準ケースとする。
- ② 上記①の基準ケースに対し、位相反転を考慮した地震動においてクレーンの固有周期で加速度最大となる地震動を評価に適用する。

4.2 検討用地震動の選定結果

表6-5に、検討用地震動の選定結果を示す。

表 6-5 不確かさ検討用地震動の選定結果

選定方法	ケース No.	トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時刻シフト	関連図*	地震応答出力点
① (基準ケース)	3						+	基準	図6-3	10299
							+		図6-4	3033
⑥ (位相反転)	12	待機	待機	標準	S _s -D	平均	-	+10%シフト	図6-16	10299
	13								図6-17	3000
									14	図6-16
									図6-17	3000

注記*：上段は水平(NS)方向，下段は鉛直方向を示す。



図 6-16(1/2) 床応答スペクトルとクレーン固有周期の重ね合わせ (全体図)
〈トロリ待機/ホイスト待機, ダンパ性能標準, NS 方向, 位相反転〉⑥

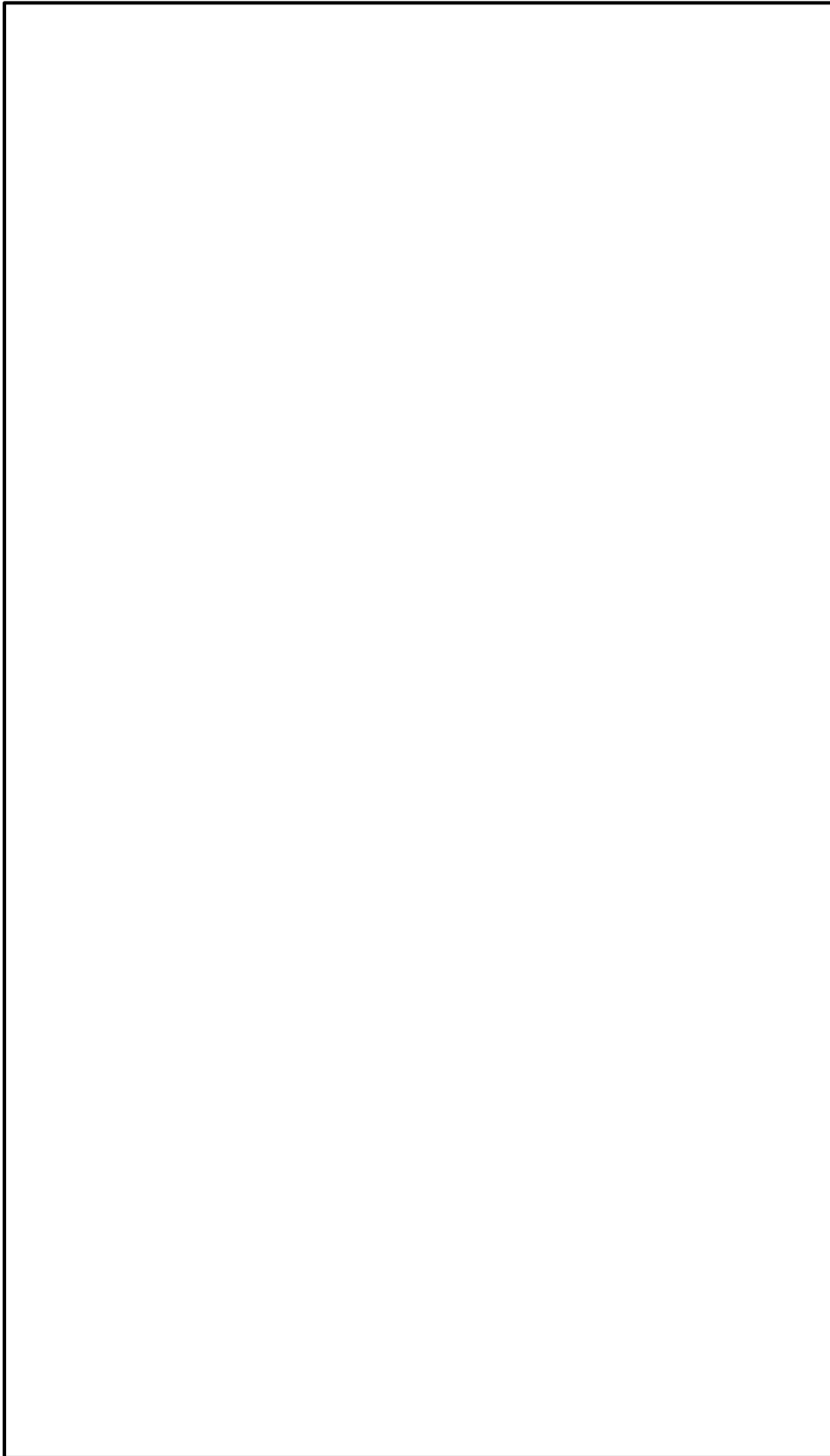


図 6-16 (2/2) 床応答スペクトルとクレーン固有周期の重ね合わせ (拡大図)
〈トロリ待機/ホイスト待機, ダンパ性能標準, NS 方向, 位相反転〉⑥

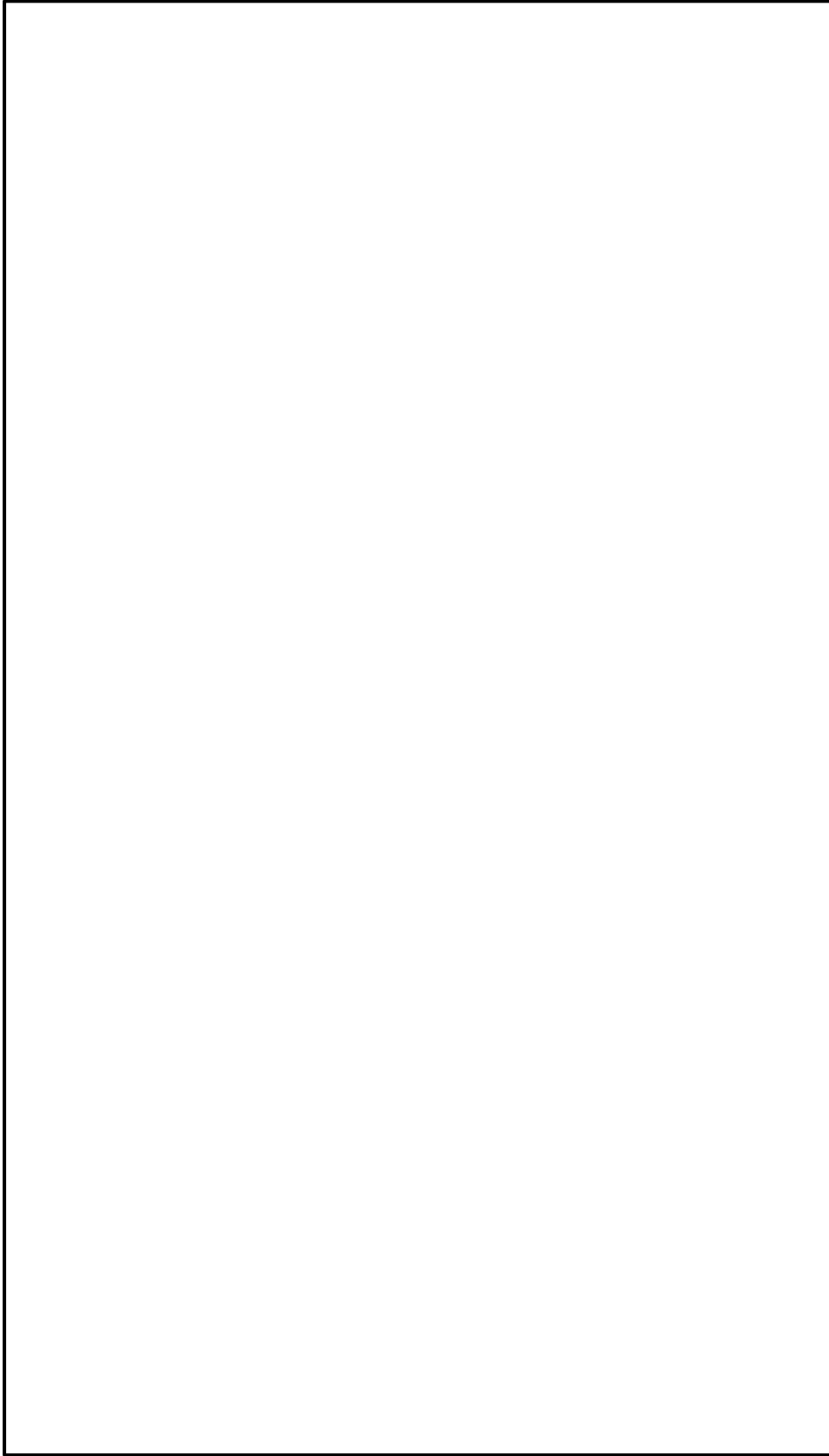


図 6-17(1/2) 床応答スペクトルとクレーン固有周期の重ね合わせ (全体図)
くトロリ待機/ホイスト待機, ダンパ性能標準, 鉛直方向, 位相反転>⑥

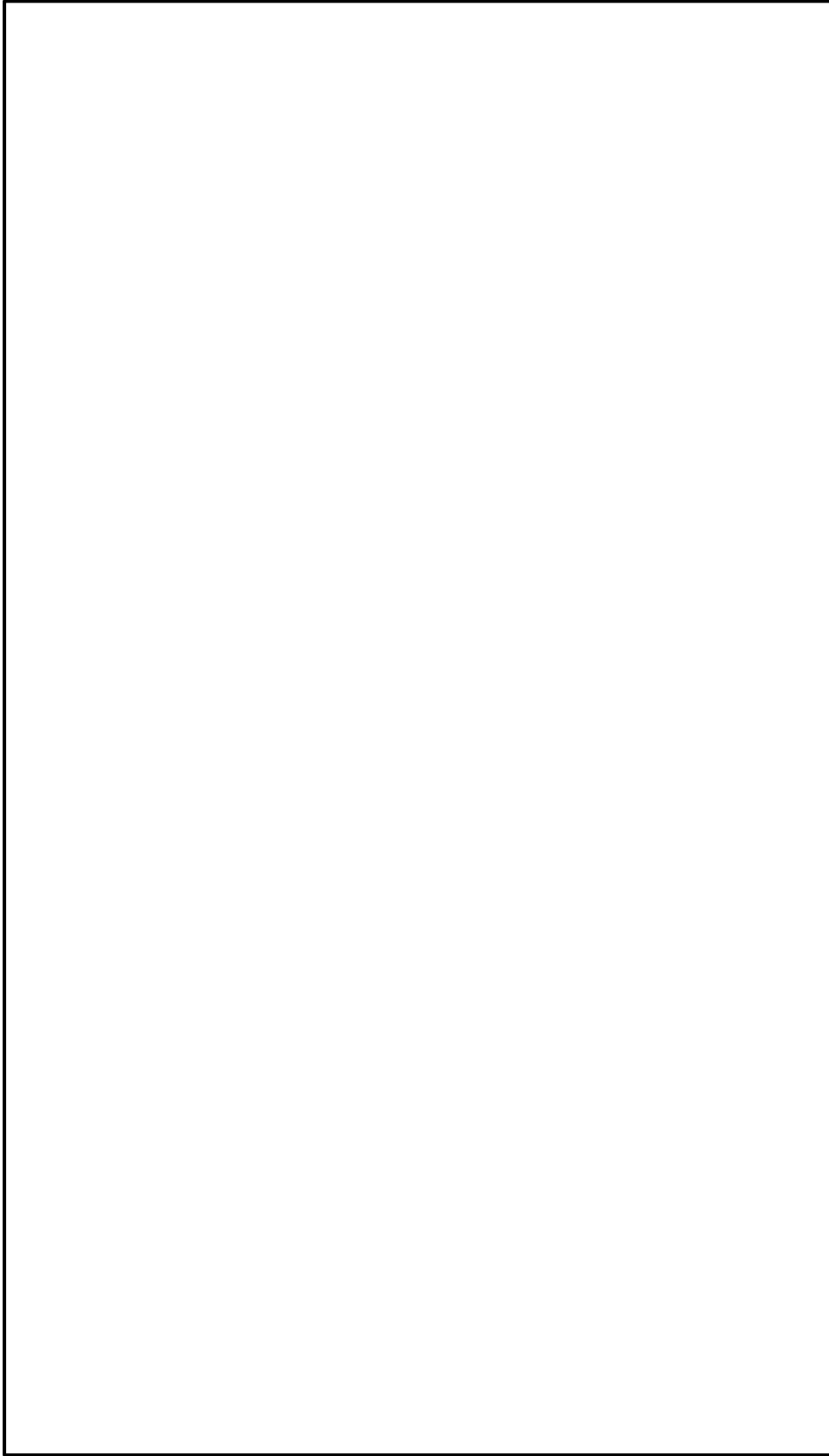


図 6-17 (2/2) 床応答スペクトルとクレーン固有周期の重ね合わせ (拡大図)
〈トロリ待機/ホイスト待機, ダンパ性能標準, 鉛直方向, 位相反転〉⑥

4.3 地震応答解析結果

4.2 項で選定した検討用地震動に対する地震応答解析結果を表 6-6 に示す。本表には裕度最小部位である脚下部継ぎの最も厳しい応力分類である組合せについて記載している。地震応答解析の結果，表 6-6 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，位相反転地震動を考慮した場合の耐震性について問題ないかことを確認した。

表 6-6 位相反転地震動を考慮した地震応答解析結果

選定方法	ケース No.	トロリ位置	ホイスト位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時間刻みシフト	応力分類(組合せ)	発生値 [MPa]	許容限界 [MPa]	裕度 [-]
① (基準ケース)	3						+	基準 +10%シフト -10%シフト	組合せ	244	280	1.14
	12	待機	待機	標準	S _s -D	平均	-			245		1.14
							-			247		1.13
	14									240		1.16
⑥ (位相反転)												

5. ガントリクレーンの耐震評価結果まとめ

本資料の2～4項で材料物性の不確かさ等に対する評価を実施した。

以上の検討結果を踏まえて、ガントリ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表6-7に示すとともに、各解析ケースの評価結果一覧を表6-8に示す。

表6-8に示す評価結果のうち、各評価部位および応力分類で最も発生値が大きくなるケース（ハッチングで示す）とガントリクレーンに厳しい評価結果として、VI-2-11-2-7-14 取水槽ガントリクレーンの耐震性についての計算書に代表で記載する。

表 6-7 評価用地震動及び解析ケース

No.	ケース No.*1	解析ケース*2						方向ごとに適用する節点位置		選定理由
		トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時刻シフト	水平(NS)	
1	1	中央	待機					10299	10095	基本ケースとして評価
2	2		中央				基準	10299	10095	
3	3					平均		10299	3033	
4	6			標準			+10%シフト	10299	3033	床応答スペクトルの振幅土10%相当の不確かさ
5	7						-10%シフト	10299	3033	
6	8					+σ	基準	10299	3033	
7	9				Ss-D		+9.1%シフト	10299	3033	
8	10		待機	+20%			基準	10299	10095	ダンパ性能の不確かさ
9	11			-20%				10299	3033	
10	12			標準		平均		10299	3000	位相反転地震動の確認
11	13						+10%シフト	10299	3000	
12	14						-10%シフト	10299	3000	

注記*1 : No.4, 5は添付5に示す妥当性確認用地震動の解析ケース

*2 : ■ 基準ケースからの変更部分

表 6-8 検討用地震動に対する地震応答解析結果(1/34)

a-1 クレーン本体ガーダ せん断応力

No.	ケース No. *	解析ケース							発生値 [MPa]	許容限界値 [MPa]	裕度 [-]
		トローリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時刻みシフト			
1	1	中央	待機		Ss-D	平均	+	基準	25	161	6.44
2	2		中央						25		6.44
3	3								19		8.47
4	6			標準					22		7.31
5	7								18		8.94
6	8								21		7.66
7	9								22		7.31
8	10			+20%					20		8.05
9	11			-20%					20		8.05
10	12			標準					24		6.70
11	13								27		5.96
12	14								20		8.05

注記* : No. 4, 5は添付5に示す妥当性確認用地震動の解析ケース

表 6-8 検討用地震動に対する地震応答解析結果(2/34)

a-2 クレーン本体ガーダ 曲げ応力

No.	ケース No.*	解析ケース							発生値 [MPa]	許容限界値 [MPa]	裕度 [-]
		トローリ 位置	ホイス 位置	ダンパ 性能	評価用 地震動	地盤物性	位相	時刻 シフト			
1	1	中央	待機		Ss-D	平均	+	基準	97	280	2.88
2	2		中央						78		3.58
3	3					84	3.33				
4	6			標準		104	2.69				
5	7					87	3.21				
6	8					82	3.41				
7	9					103	2.71				
8	10			+20%		85	3.29				
9	11			-20%		83	3.37				
10	12			標準		125	2.24				
11	13					126	2.22				
12	14					121	2.31				

注記* : No.4, 5は添付5に示す妥当性確認用地震動の解析ケース

表 6-8 検討用地震動に対する地震応答解析結果(3/34)

No.	ケース No. *	解析ケース							発生値 [MPa]	許容限界値 [MPa]	裕度 [-]
		トローリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時刻シフト			
1	1	中央	待機		S _{ss} -D	平均	+	基準	103	280	2.71
2	2		中央						98		2.85
3	3					91	3.07				
4	6			標準		109	2.56				
5	7					92	3.04				
6	8					102	2.74				
7	9					108	2.59				
8	10			+20%		90	3.11				
9	11			-20%		100	2.8				
10	12			標準		130	2.15				
11	13					130	2.15				
12	14					125	2.24				

注記* : No. 4, 5は添付5に示す妥当性確認用地震動の解析ケース

表 6-8 検討用地震動に対する地震応答解析結果(4/34)

b-1 脚 圧縮応力

No.	ケース No. *	解析ケース						発生値 [MPa]	許容限界値 [MPa]	裕度 [-]	
		トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相				時刻みシフト
1	1	中央	待機		S _{ss} -D	平均	+	基準	229	39	5.87
2	2	中央	中央							37	6.18
3	3					40	5.72				
4	6			標準		40	5.72				
5	7					29	7.89				
6	8					40	5.72				
7	9					40	5.72				
8	10			+20%		38	6.02				
9	11			-20%		34	6.73				
10	12			標準		43	5.32				
11	13					35	6.54				
12	14					40	5.72				

注記* : No. 4, 5は添付5に示す妥当性確認用地震動の解析ケース

表 6-8 検討用地震動に対する地震応答解析結果(6/34)

b-3 脚せん断応力

No.	ケース No. *	解析ケース							発生値 [MPa]	許容限界値 [MPa]	裕度 [-]
		トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時刻みシフト			
1	1	中央	待機		Ss-D	平均		基準	50	161	3.22
2	2	中央	中央						51		3.15
3	3					59	2.72				
4	6			標準		67	2.40				
5	7					46	3.50				
6	8					54	2.98				
7	9					59	2.72				
8	10			+20%		55	2.92				
9	11			-20%		54	2.98				
10	12			標準		77	2.09				
11	13					74	2.17				
12	14					73	2.20				

注記* : No. 4, 5は添付5に示す妥当性確認用地震動の解析ケース

表 6-8 検討用地震動に対する地震応答解析結果(7/34)

b-4 脚 曲げ応力

No.	ケース No. *	解析ケース							発生値 [MPa]	許容限界値 [MPa]	裕度 [-]
		トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時刻みシフト			
1	1	中央	待機		S _{ss} -D	平均		基準	192	280	1.45
2	2		中央								
3	3								175		1.60
4	6			標準				+10%シフト	171		1.63
5	7							-10%シフト	166		1.68
6	8					+σ		基準	169		1.65
7	9							+9.1%シフト	172		1.62
8	10			+20%			平均	基準	171		1.63
9	11			-20%							177
10	12			標準					173		1.61
11	13							+10%シフト	174		1.60
12	14							-10%シフト	175		1.60

注記* : No. 4, 5は添付5に示す妥当性確認用地震動の解析ケース

表 6-8 検討用地震動に対する地震応答解析結果(8/34)

b-5 脚 組合せ応力 (圧縮+曲げ)

No.	ケース No. *	解析ケース							発生値 [-]	許容限界値 [-]	裕度 [-]
		トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時刻みシフト			
1	1	中央	待機		Ss-D	平均	+	基準	0.787	1.00	1.27
2	2		中央								
3	3								0.659		1.51
4	6			標準					0.683		1.46
5	7								0.662		1.51
6	8						+σ		0.663		1.50
7	9								0.677		1.47
8	10						+20%		0.686		1.45
9	11						-20%		0.671		1.49
10	12								0.697		1.43
11	13								0.717		1.39
12	14						標準		0.685		1.45

注記* : No. 4, 5は添付5に示す妥当性確認用地震動の解析ケース

表 6-8 検討用地震動に対する地震応答解析結果(9/34)

b-6 脚 組合せ応力 (曲げ+せん断)

No.	ケース No. *	解析ケース							発生値 [MPa]	許容限界値 [MPa]	裕度 [-]
		トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時刻みシフト			
1	1	中央	待機		Ss-D	平均	+	基準	225	280	1.24
2	2		中央								
3	3								194		1.44
4	6			標準					205		1.36
5	7								195		1.43
6	8						+σ		195		1.43
7	9								203		1.37
8	10						+20%		203		1.37
9	11						-20%		197		1.42
10	12								208		1.34
11	13						標準		207		1.35
12	14								202		1.38

注記* : No. 4, 5は添付5に示す妥当性確認用地震動の解析ケース

表 6-8 検討用地震動に対する地震応答解析結果(10/34)

c-1 脚下部継ぎ 圧縮応力

No.	ケース No.*	解析ケース							発生値 [MPa]	許容限界値 [MPa]	裕度 [-]
		トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時刻シフト			
1	1	中央	待機		S _s -D	平均	+	基準	14	263	18.7
2	2	中央	中央						22		11.9
3	3								20		13.1
4	6			標準					18		14.6
5	7								15		17.5
6	8								23		11.4
7	9	待機	待機						17		15.4
8	10			+20%					26		10.1
9	11			-20%					18		14.6
10	12			標準					14		18.7
11	13								17		15.4
12	14								16		16.4

注記* : No. 4, 5は添付5に示す妥当性確認用地震動の解析ケース

表 6-8 検討用地震動に対する地震応答解析結果(11/34)

c-2 脚下部継ぎ 引張応力

No.	ケース No.*	解析ケース							発生値 [MPa]	許容限界値 [MPa]	裕度 [-]			
		トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時刻シフト						
1	1	中央	待機		S _s -D	平均	+	基準	10	280	28.0			
2	2	中央	中央						+σ		+	基準	10	28.0
3	3												平均	-
4	6			標準		+σ	+	+10%シフト	11		25.5			
5	7								平均		-	-10%シフト	11	25.5
6	8					+σ	+	基準					11	25.5
7	9								平均		-	+9.1%シフト	11	25.5
8	10		待機	+20%		平均	-	基準					12	23.3
9	11			-20%					平均		-	基準	10	28.0
10	12					平均	-	基準					15	18.7
11	13			標準					平均		-	+10%シフト	13	21.5
12	14					平均	-	-10%シフト					14	20.0

注記* : No. 4, 5は添付5に示す妥当性確認用地震動の解析ケース

表 6-8 検討用地震動に対する地震応答解析結果(12/34)

c-3 脚下部継ぎせん断応力

No.	ケース No.*	解析ケース							発生値 [MPa]	許容限界値 [MPa]	裕度 [-]
		トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時刻みシフト			
1	1	中央	待機		Ss-D	平均	+	基準	36	161	4.47
2	2	中央	中央						33		4.87
3	3					40	4.02				
4	6			標準		38	4.23				
5	7					36	4.47				
6	8					40	4.02				
7	9					41	3.92				
8	10			+20%		45	3.57				
9	11			-20%		40	4.02				
10	12			標準		54	2.98				
11	13					51	3.15				
12	14					40	4.02				

注記* : No. 4, 5は添付5に示す妥当性確認用地震動の解析ケース

表 6-8 検討用地震動に対する地震応答解析結果(13/34)

c-4 脚下部継ぎ 曲げ応力

No.	ケース No.*	解析ケース							発生値 [MPa]	許容限界値 [MPa]	裕度 [-]																																																							
		トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時刻みシフト																																																										
1	1	中央	待機		S _s -D	平均	+	基準	192	280	1.45																																																							
2	2		中央						S _s -D		平均	+	基準	204	280	1.37																																																		
3	3													S _s -D		平均	+	基準	227	280	1.23																																													
4	6			標準															S _s -D		平均	+	基準	219	280	1.27																																								
5	7																							S _s -D		平均	+	基準	216	280	1.29																																			
6	8																												S _s -D		平均	+	基準	221	280	1.26																														
7	9																																	S _s -D		平均	+	基準	221	280	1.26																									
8	10		待機	+20%																																			S _s -D		平均	-	基準	227	280	1.23																				
9	11			-20%																																								S _s -D		平均	-	基準	224	280	1.25															
10	12																																																S _s -D		平均	-	基準	229	280	1.22										
11	13			標準																																																		S _s -D		平均	-	基準	229	280	1.22					
12	14																																																										S _s -D		平均	-	基準	222	280	1.26

注記* : No. 4, 5は添付5に示す妥当性確認用地震動の解析ケース

表 6-8 検討用地震動に対する地震応答解析結果(14/34)

c-5 脚下部継ぎ 組合せ応力 (圧縮+曲げ)

No.	ケース No.*	解析ケース							発生値 [-]	許容限界値 [-]	裕度 [-]
		トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時刻シフト			
1	1	中央	待機		Ss-D	平均	+	基準	0.709	1.00	1.41
2	2	中央	中央						0.763		1.31
3	3								0.850		1.17
4	6			標準					0.820		1.21
5	7								0.799		1.25
6	8								0.822		1.21
7	9	待機	待機						0.828		1.20
8	10			+20%					0.844		1.18
9	11			-20%					0.839		1.19
10	12			標準					0.856		1.16
11	13								0.859		1.16
12	14								0.833		1.20

注記* : No.4, 5は添付5に示す妥当性確認用地震動の解析ケース

表 6-8 検討用地震動に対する地震応答解析結果(15/34)

c-6 脚下部継ぎ 組合せ応力 (曲げ+せん断)

No.	ケース No.*	解析ケース							発生値 [MPa]	許容限界値 [MPa]	裕度 [-]																																												
		トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時刻シフト																																															
1	1	中央	待機		S _s -D	平均	+	基準	205	280	1.36																																												
2	2		中央						+σ		+	基準	220	280	1.27																																								
3	3												平均		-	基準	244	280	1.14																																				
4	6			標準													+σ		+	+10%シフト	235	280	1.19																																
5	7																				+σ		+	-10%シフト	230	280	1.21																												
6	8																								+σ		+	基準	236	280	1.18																								
7	9																												+σ		+	+9.1%シフト	238	280	1.17																				
8	10		待機	+20%																													平均		-	基準	242	280	1.15																
9	11			-20%																																	平均		-	基準	241	280	1.16												
10	12																																								平均		-	基準	245	280	1.14								
11	13			標準																																									平均		-	+10%シフト	247	280	1.13				
12	14																																																平均		-	-10%シフト	240	280	1.16

注記* : No. 4, 5は添付5に示す妥当性確認用地震動の解析ケース

表 6-8 検討用地震動に対する地震応答解析結果(16/34)

d-1 ガーダ継ぎ 圧縮応力

No.	ケース No.*	解析ケース							発生値 [MPa]	許容限界値 [MPa]	裕度 [-]
		トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時刻みシフト			
1	1	中央	待機		S _{SS} -D	平均	+	基準	4	275	68.7
2	2	中央	中央						4		68.7
3	3								4		68.7
4	6			標準					4		68.7
5	7					4	68.7				
6	8					4	68.7				
7	9					4	68.7				
8	10			+20%		4	68.7				
9	11			-20%		4	68.7				
10	12			標準		5	55.0				
11	13					4	68.7				
12	14					6	45.8				

注記* : No. 4, 5は添付5に示す妥当性確認用地震動の解析ケース

表 6-8 検討用地震動に対する地震応答解析結果(17/34)

d-2 ガーダ継ぎ 引張応力

No.	ケース No. *	解析ケース						発生値 [MPa]	許容限界値 [MPa]	裕度 [-]
		トローリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相			
1	1	中央	待機		S _{ss} -D	平均	+	基準	4	70.0
2	2		中央							
3	3					平均			5	56.0
4	6			標準				+10%シフト	5	56.0
5	7							-10%シフト	5	56.0
6	8				S _{ss} -D	+σ	+	基準	5	56.0
7	9									
8	10					平均		+9.1%シフト	5	56.0
9	11			+20%						
10	12			-20%				基準	5	56.0
11	13			標準				+10%シフト	5	56.0
12	14							-10%シフト	5	56.0

注記* : No. 4, 5は添付5に示す妥当性確認用地震動の解析ケース

表 6-8 検討用地震動に対する地震応答解析結果(18/34)

d-3 ガーダ継ぎせん断応力

No.	ケース No.*	解析ケース							発生値 [MPa]	許容限界値 [MPa]	裕度 [-]
		トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時刻シフト			
1	1	中央	待機		S _s -D	平均	+	基準	87	161	1.85
2	2		中央						87		1.85
3	3								80		2.01
4	6			標準		平均	+10%シフト	96		1.67	
5	7						-10%シフト	71		2.26	
6	8				S _s -D	+σ		基準	84	161	1.91
7	9								95		1.69
8	10		待機			平均		基準	77	161	2.09
9	11			+20%	88				1.82		
10	12			-20%	89				1.80		
11	13			標準			+10%シフト	96		1.67	
12	14						-10%シフト	83		1.93	

注記* : No. 4, 5は添付5に示す妥当性確認用地震動の解析ケース

表 6-8 検討用地震動に対する地震応答解析結果(19/34)

d-4 ガーダ継ぎ 曲げ応力

No.	ケース No. *	解析ケース							発生値 [MPa]	許容限界値 [MPa]	裕度 [-]
		トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時刻シフト			
1	1	中央	待機		S _s -D	平均		基準	90	280	3.11
2	2	中央	中央						86		3.25
3	3					86	3.25				
4	6			標準		91	3.07				
5	7					84	3.33				
6	8					86	3.25				
7	9					90	3.11				
8	10			+20%		89	3.14				
9	11			-20%		87	3.21				
10	12			標準		96	2.91				
11	13					93	3.01				
12	14					92	3.04				

注記* : No. 4, 5は添付5に示す妥当性確認用地震動の解析ケース

表 6-8 検討用地震動に対する地震応答解析結果(20/34)

d-5 ガーダ継ぎ 組合せ応力 (引張+曲げ)

No.	ケース No.*	解析ケース						発生値 [-]	許容限界値 [-]	裕度 [-]	
		トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相				時刻シフト
1	1	中央	待機		Ss-D	平均	0.326	1.00	3.06		
2	2		中央				標準		0.313	3.19	
3	3								+10%シフト	0.320	3.12
4	6									-10%シフト	0.333
5	7					標準	0.314		3.18		
6	8					+σ	0.312		3.20		
7	9		待機			+20%	0.328		3.04		
8	10						-20%		0.323	3.09	
9	11								標準	0.316	3.16
10	12					平均	0.351		2.84		
11	13						+10%シフト		0.339	2.94	
12	14								-10%シフト	0.335	2.98

注記* : No. 4, 5は添付5に示す妥当性確認用地震動の解析ケース

表 6-8 検討用地震動に対する地震応答解析結果(21/34)

d-6 ガーダ継ぎ 組合せ応力 (曲げ+せん断)

No.	ケース No.*	解析ケース						発生値 [MPa]	許容限界値 [MPa]	裕度 [-]
		トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相			
1	1	中央	待機		S _{SS} -D	平均		160	280	1.75
2	2		中央					標準		基準
3	3							148		1.89
4	6							175		1.60
5	7							135		2.07
6	8						+σ	154		1.81
7	9							172		1.62
8	10							144		1.94
9	11							161		1.73
10	12						平均	161		1.73
11	13							176		1.59
12	14							157		1.78

注記* : No. 4, 5は添付5に示す妥当性確認用地震動の解析ケース

表 6-8 検討用地震動に対する地震応答解析結果(22/34)

e-1 転倒防止装置 組合せ応力 (せん断+曲げ)

No.	ケース No. *	解析ケース						発生値 [MPa]	許容限界値 [MPa]	裕度 [-]
		トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相			
1	1	中央	待機		S _{SS} -D	平均	15	357	23.8	
2	2		中央				標準		82	4.35
3	3								120	2.97
4	6								133	2.68
5	7								100	3.57
6	8						+σ		116	3.07
7	9								179	1.99
8	10						+20%		159	2.24
9	11						-20%		140	2.55
10	12								244	1.46
11	13								174	2.05
12	14								97	3.68

注記* : No. 4, 5は添付5に示す妥当性確認用地震動の解析ケース

表 6-8 検討用地震動に対する地震応答解析結果(23/34)

f-1 トロリストップパ 圧縮応力

No.	ケース No.*1	解析ケース						発生値*2 [MPa]	許容限界値 [MPa]	裕度 [-]		
		トロリス 位置	ホイス 位置	ダンパ 性能	評価用*2 地震動	地盤物性	位相				時間刻み シフト	
1	1	中央	待機	標準	-	平均	4	280	70.0			
2	2	中央	中央									
3	3											
4	6											
5	7											
6	8											
7	9	待機	待機							+σ	+	基準
8	10									+20%		+10%シフト
9	11									-20%		-10%シフト
10	12									標準		基準
11	13										-	+9.1%シフト
12	14											基準
												+10%シフト
												-10%シフト

注記*1 : No. 4, 5は添付5に示す妥当性確認用地震動の解析ケース

*2 : 摩擦係数より求めた水平方向設計震度にて評価

表 6-8 検討用地震動に対する地震応答解析結果(24/34)

g-1 トロリ浮上り量

No.	ケース No.*	解析ケース						発生値 [mm]	許容限界値 [mm]	裕度 [-]	
		トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相				時刻シフト
1	1	中央	待機					0.5	150	300	
2	2		中央					2.4		基準	62.5
3	3					平均		6.9			21.7
4	6			標準				7.7		+10%シフト	19.4
5	7							5.0		-10%シフト	30.0
6	8				Ss-D	+σ		5.6		基準	26.7
7	9							7.6		+9.1%シフト	19.7
8	10			+20%				6.5			23.0
9	11			-20%				6.6		基準	22.7
10	12			標準		平均		2.5			60.0
11	13							3.2		+10%シフト	46.8
12	14							3.3		-10%シフト	45.4

注記* : No. 4, 5は添付5に示す妥当性確認用地震動の解析ケース

表 6-8 検討用地震動に対する地震応答解析結果(25/34)

h-1 吊具(主巻) ワイヤロープ荷重

No.	ケース No.*	解析ケース						発生値 [N]	許容限界 [N]	裕度 [-]
		トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相			
1	1	中央	待機					1.289×10 ⁶	4.078×10 ⁶	3.16
2	2		中央					-		-
3	3							-		-
4	6					平均		-		-
5	7							-		-
6	8					+σ		-		-
7	9				Ss-D			-		-
8	10							-		-
9	11							-		-
10	12					平均		-		-
11	13							-		-
12	14							-		-

注記* : No. 4, 5は添付5に示す妥当性確認用地震動の解析ケース

表 6-8 検討用地震動に対する地震応答解析結果(26/34)

h-2 吊具(主巻) フック荷重

No.	ケース No. *	解析ケース						発生値 [N]	許容限界 [N]	裕度 [-]
		トローリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相			
1	1	中央	待機					1.289 × 10 ⁶	4.980 × 10 ⁶	3.86
2	2		中央					-		-
3	3							-		-
4	6			標準		平均		-		-
5	7							-		-
6	8					+σ		-		-
7	9				Ss-D			-		-
8	10							-		-
9	11			+20%				-		-
10	12			-20%				-		-
11	13			標準		平均		-		-
12	14							-		-

注記* : No. 4, 5は添付5に示す妥当性確認用地震動の解析ケース

表 6-8 検討用地震動に対する地震応答解析結果(27/34)

h-3 吊具(ホイス)トワイヤロープ荷重

No.	ケース No.*	解析ケース						発生値 [N]	許容限界 [N]	裕度 [-]
		トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相			
1	1	中央	待機		Ss-D	平均	-	-	-	
2	2	中央	中央							標準
3	3							-	-	
4	6							-	-	
5	7							-	-	
6	8						+σ	-	-	
7	9							-	1.479 × 10 ⁶	
8	10							-	-	
9	11							-	-	
10	12							-	-	
11	13							-	-	
12	14							-	-	

注記* : No. 4, 5は添付5に示す妥当性確認用地震動の解析ケース

表 6-8 検討用地震動に対する地震応答解析結果(28/34)

h-4 吊具(ホイスト) フック荷重

No.	ケース No.*	解析ケース						発生値 [N]	許容限界 [N]	裕度 [-]
		トロリ位置	ホイスト位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相			
1	1	中央	待機		S _s -D	平均	-	2.060 × 10 ⁶	-	
2	2	中央	中央				標準		+	5.008 × 10 ⁵
3	3						-		-	
4	6						-		-	
5	7						-		-	
6	8					+σ	-		-	
7	9	待機	待機				-		-	
8	10			+20%			-		-	
9	11			-20%			-		-	
10	12			標準			-		-	
11	13						-		-	
12	14						-		-	

注記* : No. 4, 5は添付5に示す妥当性確認用地震動の解析ケース

表 6-8 検討用地震動に対する地震応答解析結果(29/34)

i-1 単軸粘性ダンパ 荷重

No.	ケース No. *1	解析ケース							発生値 [N]	許容限界 [N]	裕度 [-]
		トロリ 位置	ホイス 位置	ダンパ 性能	評価用 地震動	地盤物性	位相	時刻 シフト			
1	1	中央	待機						2.144 × 10 ⁵	3.0 × 10 ⁵	1.39
2	2		中央						2.133 × 10 ⁵		1.40
3	3				平均				2.135 × 10 ⁵		1.40
4	6			標準				+10%シフト	2.134 × 10 ⁵		1.40
5	7						+	-10%シフト	2.132 × 10 ⁵		1.40
6	8				Ss-D			標準	2.106 × 10 ⁵		1.42
7	9							+9.1%シフト	2.135 × 10 ⁵		1.40
8	10					+20%			2.551 × 10 ⁵		1.17
9	11					-20%			1.736 × 10 ⁵		1.72
10	12					標準			2.168 × 10 ⁵		1.38
11	13							-	2.128 × 10 ⁵		1.40
12	14							-	2.133 × 10 ⁵		1.40

注記* : No. 4, 5は添付5に示す妥当性確認用地震動の解析ケース

表 6-8 検討用地震動に対する地震応答解析結果(30/34)

i-2 単軸粘性ダンパ 変位

No.	ケース No. *1	解析ケース					発生値 [mm]	許容限界 [mm]	裕度 [-]
		トロリ 位置	ホイス 位置	ダンパ 性能	評価用 地震動	地盤物性			
1	1	中央	待機				38	100	2.63
2	2		中央				33		3.03
3	3					平均	33		3.03
4	6						36		2.77
5	7						31		3.22
6	8					+σ	33		3.03
7	9	待機			Ss-D		36		2.77
8	10					+20%	32		3.12
9	11					-20%	35		2.85
10	12					標準	38		2.63
11	13						44		2.27
12	14						40		2.50

注記* : No. 4, 5は添付5に示す妥当性確認用地震動の解析ケース

表 6-8 検討用地震動に対する地震応答解析結果(31/34)

i-3 ブレース 圧縮応力

No.	ケース No. *1	解析ケース						発生値 [MPa]	許容限界 値 [MPa]	裕度 [-]
		トロリ 位置	ホイス 位置	ダンパ 性能	評価用 地震動	地盤物性	位相			
1	1	中央	待機					15	78	5.20
2	2		中央					14		5.57
3	3					平均		14		5.57
4	6						+10%シフト	15		5.20
5	7						-10%シフト	14		5.57
6	8				Ss-D	+σ	基準	14		5.57
7	9						+9.1%シフト	14		5.57
8	10					+20%		16		4.87
9	11					-20%		12		6.50
10	12					標準		20		3.90
11	13						-10%シフト	17		4.58
12	14						+10%シフト	17		4.58

注記* : No. 4, 5は添付5に示す妥当性確認用地震動の解析ケース

表 6-8 検討用地震動に対する地震応答解析結果(32/34)

i-4 クレビス せん断応力

No.	ケース No. *1	解析ケース						発生値 [MPa]	許容限界 値 [MPa]	裕度 [-]
		トロリ 位置	ホイス 位置	ダンパ 性能	評価用 地震動	地盤物性	位相			
1	1	中央	待機					76	375	4.93
2	2		中央					76		4.93
3	3					平均		76		4.93
4	6						+10%シフト	76		4.93
5	7						-10%シフト	76		4.93
6	8				Ss-D	+σ	基準	75		5.00
7	9	待機					+9.1%シフト	76		4.93
8	10		待機			+20%		91		4.12
9	11					-20%		62		6.04
10	12						平均	77		4.87
11	13							76		4.93
12	14							76		4.93

注記* : No. 4, 5は添付5に示す妥当性確認用地震動の解析ケース

表 6-8 検討用地震動に対する地震応答解析結果(33/34)

i-5 クレビス 曲げ応力

No.	ケース No. *1	解析ケース							発生値 [MPa]	許容限界 値 [MPa]	裕度 [-]
		トロリ 位置	ホイス 位置	ダンパ 性能	評価用 地震動	地盤物性	位相	時刻 シフト			
1	1	中央	待機						218	651	2.98
2	2		中央						217		3.00
3	3								217		3.00
4	6					標準			217		3.00
5	7						+		217		3.00
6	8							+σ	214		3.04
7	9				Ss-D				217		3.00
8	10								259		2.51
9	11					+20%			177		3.67
10	12					-20%			220		2.95
11	13					標準			216		3.01
12	14								217		3.00

注記* : No. 4, 5は添付5に示す妥当性確認用地震動の解析ケース

表 6-8 検討用地震動に対する地震応答解析結果(34/34)

i-6 クレビス 組合せ応力

No.	ケース No. *1	解析ケース							発生値 [MPa]	許容限界値 [MPa]	裕度 [-]
		トロリ位置	ホイス位置	ダンパ性能	評価用地震動	地盤物性	位相	時間刻みシフト			
1	1	中央	待機						255	651	2.55
2	2		中央						254		2.56
3	3							平均	254		2.56
4	6					標準			254		2.56
5	7								254		2.56
6	8							+σ	251		2.59
7	9						Ss-D		254		2.56
8	10								304		2.14
9	11					+20%			208		3.12
10	12					-20%		平均	258		2.52
11	13					標準			253		2.57
12	14								254		2.56

注記* : No. 4, 5は添付5に示す妥当性確認用地震動の解析ケース

ワイヤロープの長さ と 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場合の質量-ばね系の一自由度振動系を考える。また、計算諸元を表7-1に示す。

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（主巻定格+フック）	m	kg	
ワイヤの縦弾性係数	E	MPa	
ワイヤの断面積	A	mm ²	
ワイヤ長さ	L	mm	

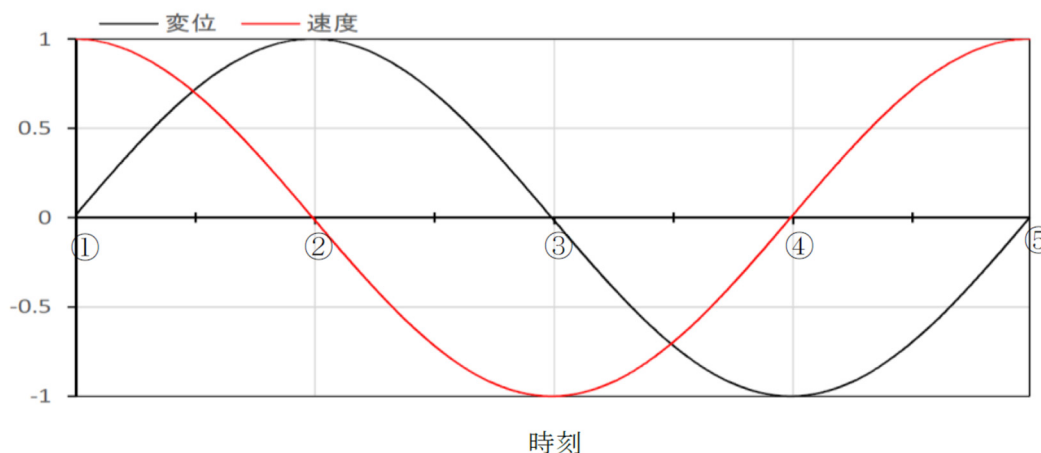
したがって、ワイヤ長さ L を短くすれば、固有周期 T は短くなる。

なお、上記式により算定される固有周期は、となる。

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）→（⑤1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（⑤1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（⑤1周期）を繰り返すこととなる。



発生荷重は、吊荷の質量に、単位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 （＝単位時間当たりの吊荷の速度変化）は、（③半周期）から（④3/4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、単位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、単位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。

主巻ワイヤのブレーキ制動力

1. 目的

貯水槽ガントリ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8-1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 8-1 主巻ワイヤのブレーキによる制動力の評価結果

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）
$1.289 \times 10^6 \text{ N}$	$1.941 \times 10^6 \text{ N}$

【算定条件】

(1) ワイヤに発生する荷重 $1.289 \times 10^6 \text{ N}$
 （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8-2に、ブレーキ機構概要図を図8-1に示す。

表 8-2 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	—		
減速比	i	—		
ロープ荷重	F	N		$(m_L+m_H) \cdot g / (N \cdot \eta)$
負荷トルク	T	N・mm		$N' \cdot F \cdot D / (2 \cdot i)$
安全率	S	—		$n \cdot T_B / T$
許容荷重	—	N	1.941×10^6	$(m_L+m_H) \cdot g \cdot S$

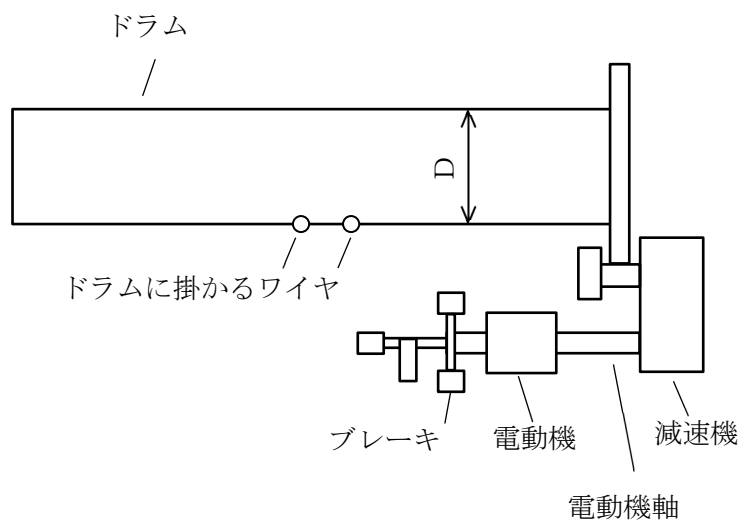


図 8-1 ブレーキ機構概要図

地震時における吊荷の揺動影響

1. 目的

地震時における取水槽ガントリクレーン（以下「ガントリクレーン」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、その固有周期は下式で計算することができる。

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

T : 固有周期 (s)
g : 重力加速度
L : 振り子の長さ

ガントリ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。

ガントリクレーンの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島根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。

トロリストoppa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

取水槽ガントリクレーン（以下「ガントリクレーン」という。）のトロリストoppa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oppa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oppaには、自重及び水平方向地震（EW方向）によって水平力が作用する。

図10-1にトロリストoppaの構造概要図を示す。

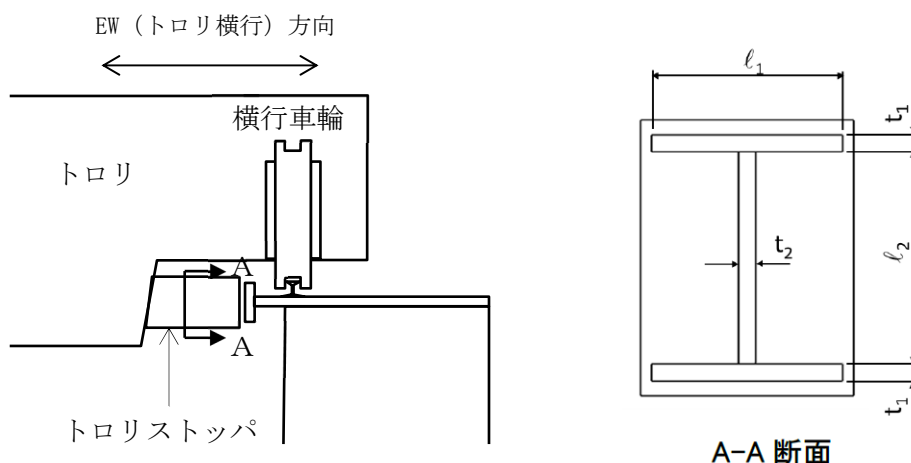


図10-1 トロリストoppaの構造概要図

トロリストoppaに生じる応力を以下の式により計算する。

トロリストoppa当たり面の断面積： A_2

$$A_2 = 2 \cdot (t_1 \cdot l_1) + t_2 \cdot l_2$$

トロリストoppaの圧縮応力： σ_{ct}

$$\sigma_{ct} = \frac{F_t}{A_2} \quad \text{ここで } F_t : \text{非線形時刻歴応答解析から求めた横行車輪部におけるトロ}$$

リ横行方向の最大反力

表 10-1 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oppa 1箇所当たり)	F ₁	kN	
トロリストoppa 当たり面の断面積	A ₂	mm ²	

3. 評価結果

表10-2にトロリストoppa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、応力値は許容応力状態IV_ASでの許容値を下回っており、トロリストoppaの機能に影響を及ぼさないことを確認した。

図10-2に示すガントリクレーンの非線形時刻歴応答解析モデルでは、トロリとクレーン本体ガーダ間の拘束条件をEW（トロリ横行）方向に剛拘束としている。これにより、クレーン本体ガーダの変形に対する反力をトロリストoppaが受けることになるため、非線形時刻歴応答解析から求めた水平力が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より大きな値になったと推測される。

これに対し、実際の構造は、図10-3に示すとおり、クレーン本体ガーダとトロリストoppa間及び横行車輪と横行レール間にはそれぞれ間隙があり、クレーン本体ガーダの変形に対する反力の影響を受けにくいいため、トロリストoppaに加わる実際の水平力は、非線形時刻歴応答解析から求めた水平力より小さくなると考えられる。

表10-2 トロリストoppa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oppa	SS400 (厚さ ≤ 16mm)	圧縮	非線形時刻歴応答解析から求めた水平力適用	21	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	4	

注記*：許容応力状態IV_ASでのF値（設計・建設規格 SSB-3121.1(1)により規定される値）から求まる値

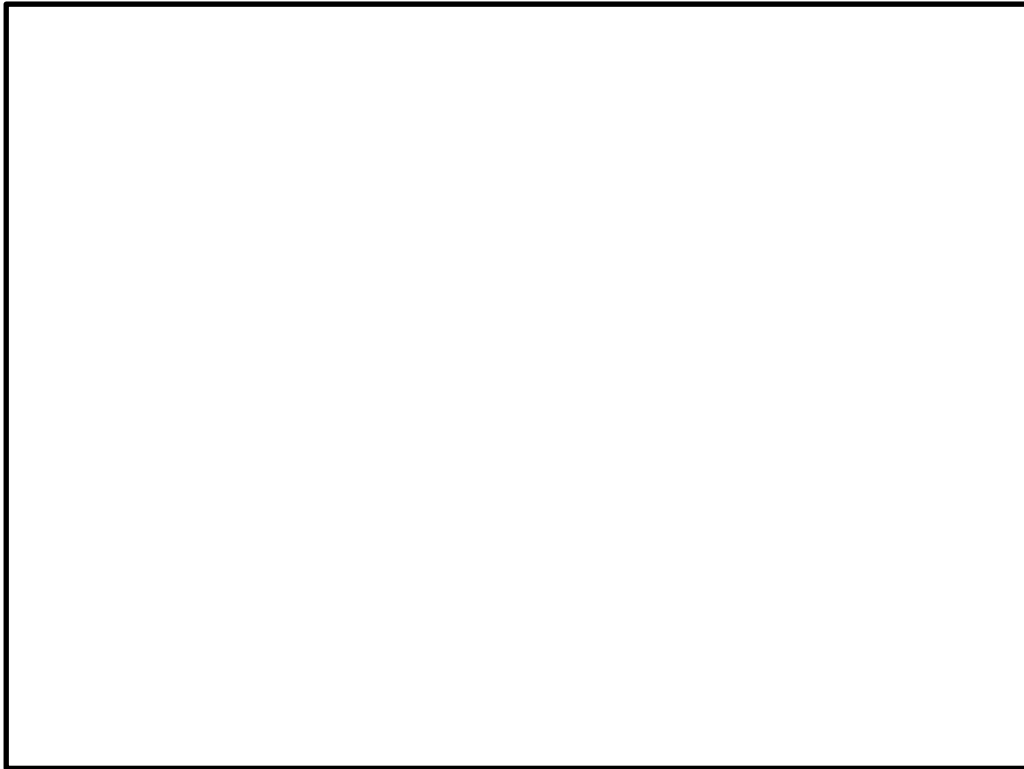


図 10-2 ガントリクレーンの非線形時刻歴応答解析モデル

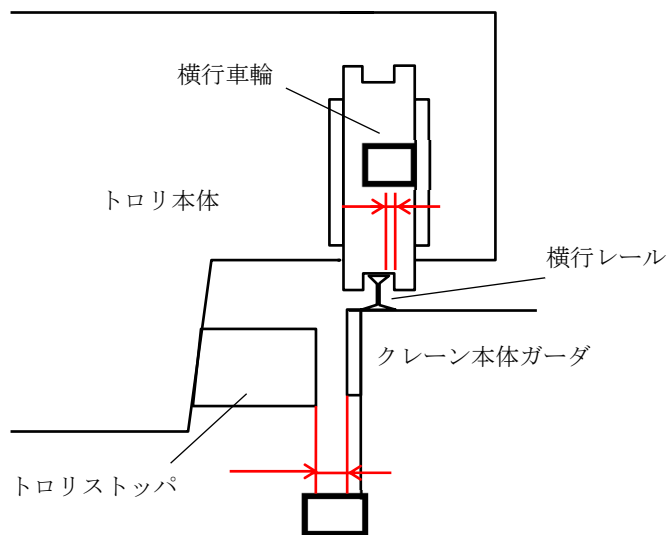
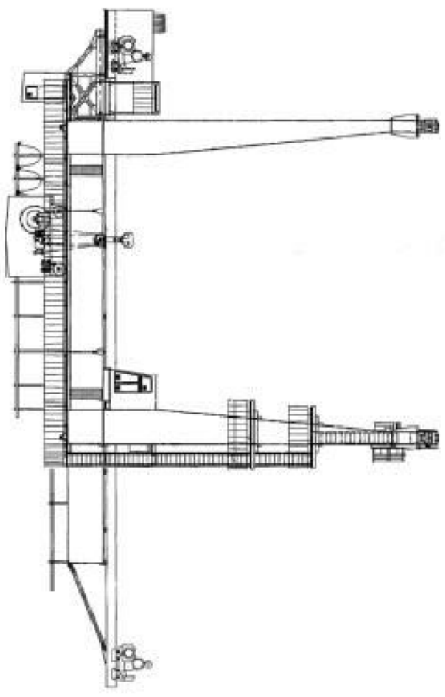

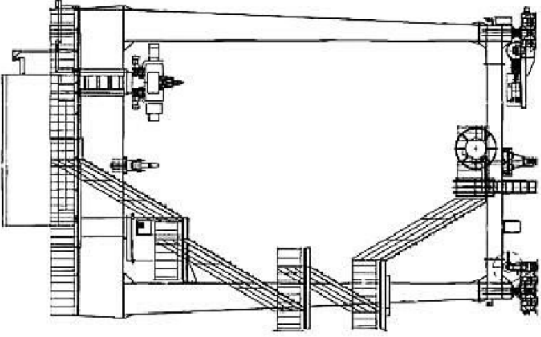


図 10-3 トロリストoppa拡大図

取水槽ガントリクレーン改造概要

改造前	改造後	改造内容
		<ul style="list-style-type: none"> ・ ガーダと脚の間にブレースを介して単軸粘性ダンパを制震装置として設置 ・ 脚の下部に補強板を張り付け

改造前	改造後	改造内容
		<ul style="list-style-type: none"> • 脚下部継ぎに補強板を張り付け • 耐震性を有するホイストに交換 • 新たな転倒防止装置に交換

単軸粘性ダンパの取水槽ガントリクレーンへの設置

1. 概要

島根 2 号機において、波及的影響を防止するための対策を行う取水槽ガントリクレーンに、耐震性向上を目的として単軸粘性ダンパを設置する。

大きな地震力が作用する機器・配管系に対して、耐震構造による補強では設計及び施工が困難となる場合、単軸粘性ダンパの設置により地震応答を低減することは有効な耐震補強の手法の一つである。

単軸粘性ダンパの適用にあたっては、その減衰性能を適切にモデル化し、単軸粘性ダンパを組み込んだ機器・配管系の地震応答解析を実施する必要がある。本資料では、単軸粘性ダンパの構造、作動原理等を示した上で、単軸粘性ダンパの減衰性能を適切に考慮したモデル化及び地震応答解析手法について説明する。

なお、単軸粘性ダンパ（単軸粘性ダンパ）の設置は、島根 2 号機、島根 3 号機及び柏崎 6 / 7 号機等の排気筒で実績がある。

2. 基本方針

2.1 構造の概要

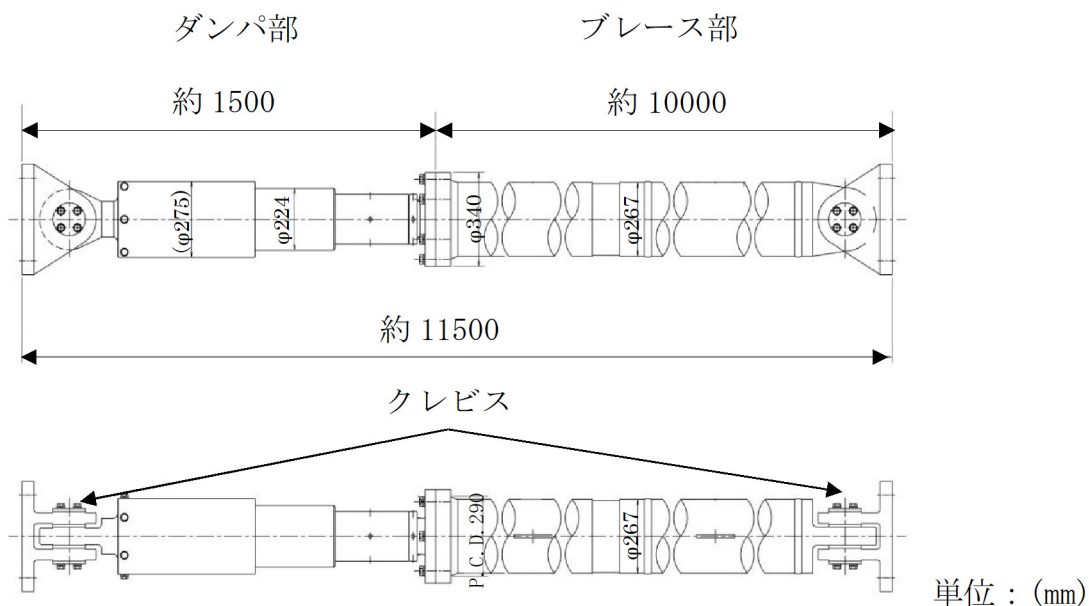
2.1.1 取水槽ガントリクレーンの構造概要

取水槽ガントリクレーンの構造を図 12-1 に示す。取水槽ガントリクレーンは大型の構造物であり、単軸粘性ダンパの設置による地震荷重の低減が耐震性向上に有効である。取水槽ガントリクレーンの応答は、横行方向に脚が変形する振動モードが支配的であり、ガーダと脚の間にブレースを介して単軸粘性ダンパを設置する。単軸粘性ダンパの設置は、島根 2 号機、島根 3 号機及び柏崎 6 / 7 号機等の排気筒で実績がある。

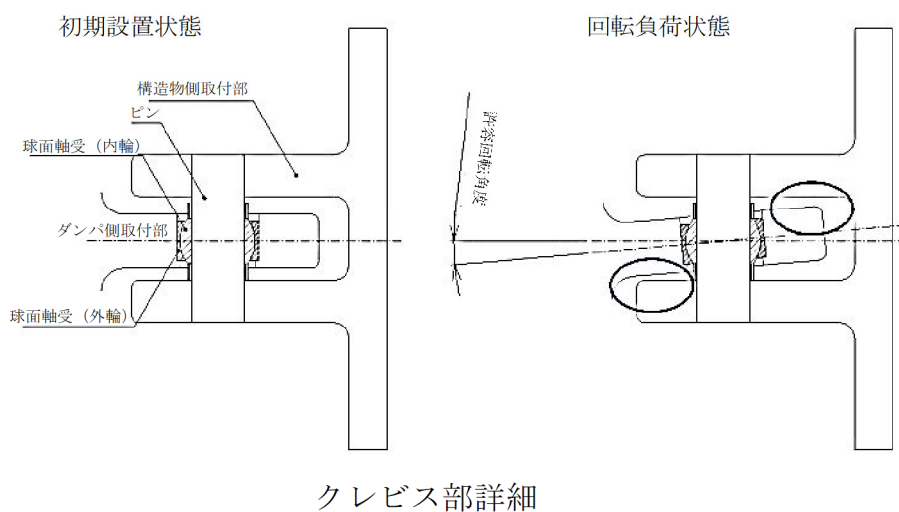
単軸粘性ダンパ取付部の構造を図 12-2 に示す。ダンパ本体の長さは標準設計の約 1.5m とし、これに約 10m のブレースを接続している。単軸粘性ダンパとガーダの接続部、ブレースと脚の接続部にはクレビスと呼ぶ回転部を設けている。このクレビスは単軸粘性ダンパの伸縮方向と直交する一方向にはピンを軸として自由に回転可能となっている。また、ピンの軸受部は球面軸受となっており、単軸粘性ダンパに伸縮方向以外の荷重が加わらない構造としている。



図 12-1 取水槽ガントリクレーンの構造



単軸粘性ダンパ及びブレースの構造



クレビス部詳細

図 12-2 単軸粘性ダンパ取付部の構造

2.1.2 単軸粘性ダンパの構造概要

取水槽ガントリクレーンに設置する単軸粘性ダンパの仕様を表 12-1 に示す。また、単軸粘性ダンパの外観及び構造を図 12-3 に示す。単軸粘性ダンパは主にシリンダ、ピストン、ロッド及び粘性体により構成されている。単軸粘性ダンパの粘性体は化学的に安定であり、消防法で定められている危険物に該当しない。

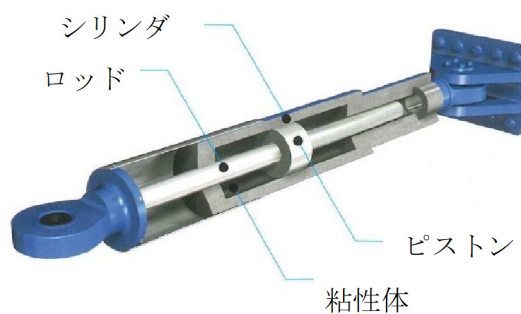
単軸粘性ダンパの動作原理を図 12-4 に示す。単軸粘性ダンパは、ピストン、ロッドが軸方向に移動することにより、シリンダ内面とピストン外面の間に形成されるオリフィス部を粘性体が流れ、その抵抗力により減衰性能を発揮するものであり、自重等の静的荷重は支持しない。

表 12-1 単軸粘性ダンパの仕様

定格荷重 (kN)	全長 (mm)	外径 (mm)	質量 (kg)	許容荷重 (kN)	許容変位 (mm)
220	1535	224	533	300	100



単軸粘性ダンパの外観（橋梁への設置例）



単軸粘性ダンパの構造

図 12-3 単軸粘性ダンパの外観及び構造

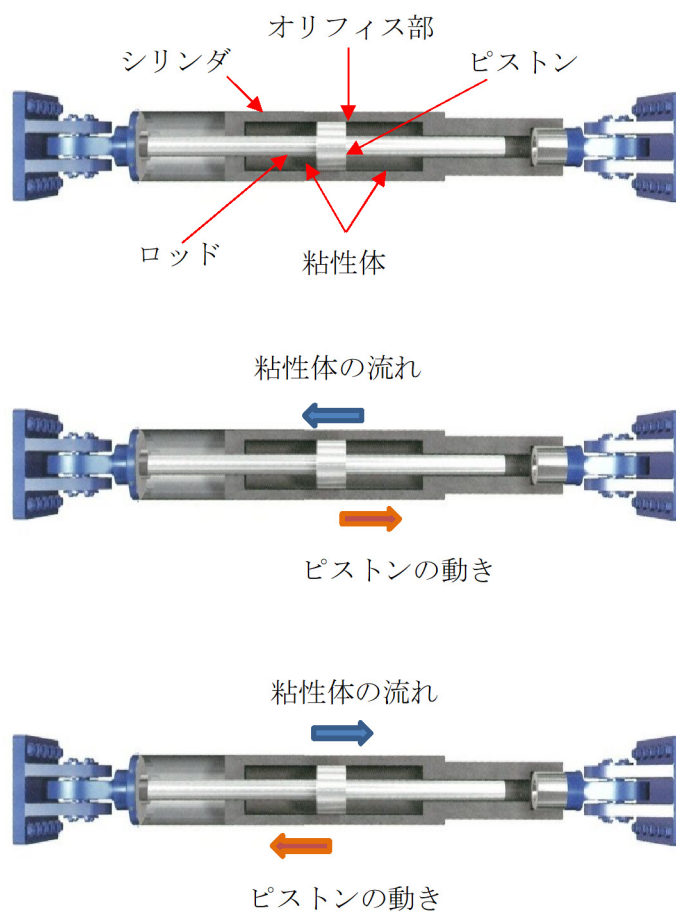


図 12-4 単軸粘性ダンパの動作原理

2.1.3 単軸粘性ダンパの構造概要

単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの耐震設計フローを図 12-5 に、設計プロセスを表 12-2 に示す。また、単軸粘性ダンパ設置前の取水槽ガントリクレーンと単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの地震応答解析モデルを図 12-6 に示す。単軸粘性ダンパ設置前の地震応答解析モデルに単軸粘性ダンパを適切にモデル化して追加するという考え方は、既工認実績のある排気筒のモデル化の考え方と同様である。

図 12-5 の耐震設計フローは、基本的に一般的な機器の設計フローと同じであるが、図 12-5 における単軸粘性ダンパを設置することに伴う追加の設計プロセスについて、2.2 項にて詳細に説明する。

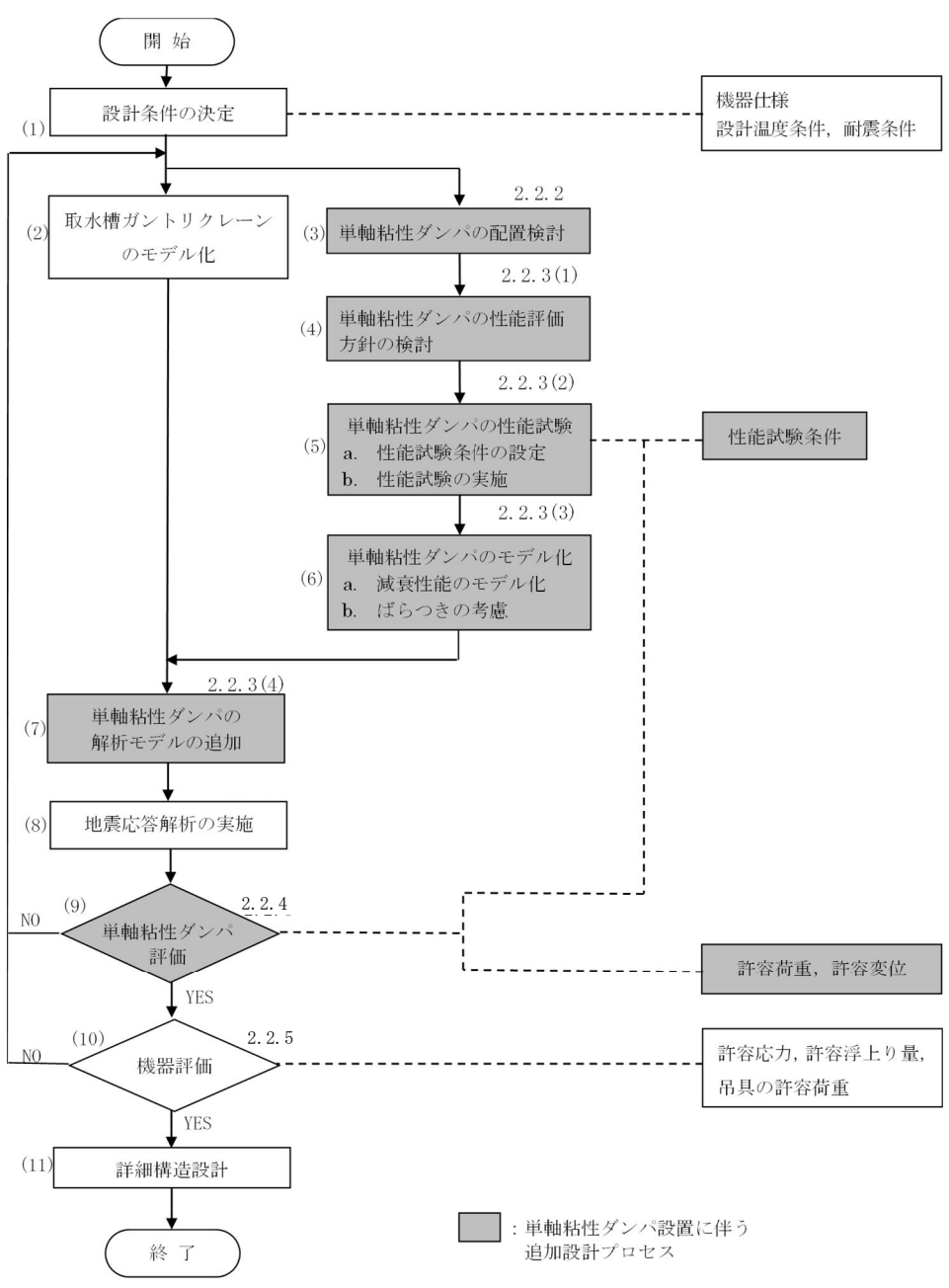


図 12-5 単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの耐震設計フロー

表 12-2 単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの設計プロセス

番号*	実施事項	内容	追加設計プロセス
(1)	設計条件の決定	取水槽ガントリクレーンの仕様，設計条件を決定する。	—
(2)	取水槽ガントリクレーンのモデル化	取水槽ガントリクレーン本体を構成する主要部材を質点及びはり要素でモデル化し，車輪部のすべり及び浮上り等の非線形挙動をギャップ要素，ばね要素及び減衰要素でモデル化する。	—
(3)	単軸粘性ダンパの配置検討	単軸粘性ダンパの配置を検討する。	○
(4)	単軸粘性ダンパの性能評価方針の検討	単軸粘性ダンパの減衰性能への影響の検討を要する項目を抽出し，性能試験及びモデル化における対応方針の検討を行う。	○
(5)	単軸粘性ダンパの性能試験	単軸粘性ダンパの実機使用条件を踏まえた性能試験条件を設定し，性能試験を実施する。	○
(6)	単軸粘性ダンパのモデル化	性能試験結果から単軸粘性ダンパの減衰性能を Maxwell モデルによりモデル化する。また，減衰性能のばらつきを考慮して，地震応答解析モデルにおける減衰性能を設定する。	○
(7)	単軸粘性ダンパの解析モデルの追加	取水槽ガントリクレーンの地震応答解析モデルに単軸粘性ダンパをモデル化した Maxwell モデルを追加する。	○
(8)	地震応答解析の実施	地震応答解析を実施し，応力，変位等を求める。	—
(9)	単軸粘性ダンパ評価	地震応答解析により得られた応答値が性能試験条件の範囲内であること及び単軸粘性ダンパの許容限界が満たされていることを確認する。	○
(10)	機器評価	地震応答解析結果を基に，発生応力，浮上り量，吊具荷重が許容値以内であることを確認する。	—
(11)	詳細構造設計	地震応答解析結果を基に，各部の詳細構造設計を行う。	—

注記*：番号は図 12-5 の耐震設計フローの番号に対応している。

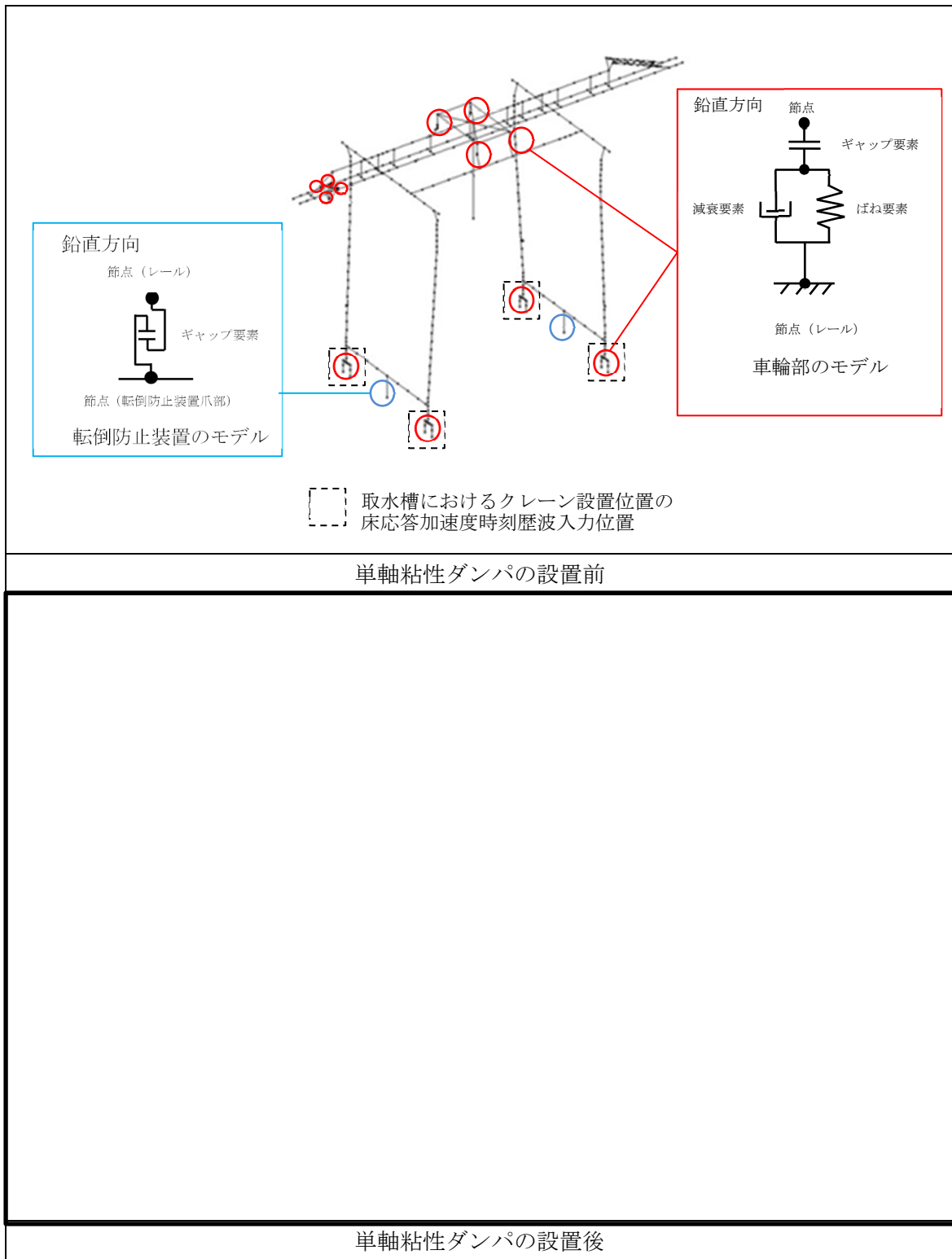


図 12-6 取水槽ガントリクレーンの地震応答解析モデル

2.1.4 適用規格

取水槽ガントリクレーンの単軸粘性ダンパの設計における適用規格の適用範囲について表 12-3 に示す。

表 12-3 単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの適用規格及び適用範囲

適用対象	適用範囲		適用規格	適用の考え方
単軸粘性ダンパ	構造強度評価	許容荷重	J E A G 4 6 0 1 等	従来の機器・配管系の支持構造物と同様である。
		許容変位	— (構造寸法に基づく)	単軸粘性ダンパごとの構造寸法に基づき設定する。
	減衰性能の設定		— (性能試験結果)	単軸粘性ダンパの特性に応じて試験結果に基づき設定する。

2.2 耐震評価方法

2.2.1 評価方針

2.1.3 にて整理した単軸粘性ダンパを設置することに伴う追加の設計プロセスについて、具体的な評価方針を以下に示す。

まず、取水槽ガントリクレーンの構造を考慮して、地震荷重の低減に効果的な単軸粘性ダンパの配置を検討する。次に、単軸粘性ダンパの減衰性能への影響の検討を要する項目を抽出し、性能試験及びモデル化における対応方針を検討する。単軸粘性ダンパのモデル化を行うために、実機使用条件を踏まえた性能試験条件により、実機に設置する単軸粘性ダンパを用いた性能試験を実施する。性能試験の結果に基づき減衰性能を設定し、単軸粘性ダンパを Maxwell モデルによりモデル化する。この Maxwell モデルを取水槽ガントリクレーンの地震応答解析モデルに追加し、地震応答解析を行う。単軸粘性ダンパの評価として、地震応答解析により得られた応答値が性能試験条件の範囲内であること及び単軸粘性ダンパの許容限界が満たされていることを確認する。

2.2.2 単軸粘性ダンパの配置検討

取水槽ガントリクレーンの構造を考慮して、地震荷重の低減に効果的な単軸粘性ダンパの配置を検討する。単軸粘性ダンパはピストン、ロッドが軸方向に移動することで生じる抵抗力により減衰性能を発揮するため、大きな変位が生じる取水槽ガントリクレーンのガーダと脚の間に設置する。

2.2.3 性能試験及び解析モデル

(1) 単軸粘性ダンパの性能評価方針の検討

単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの評価においては単軸粘性ダンパの減衰性能を適切に取得して設定することが重要であるため、単軸粘性ダンパの性能試験及びモデル化にあたって、減衰性能への影響の検討を要する項目を「免震構造の審査手引きの提案（平成 26 年 1 月） 独立行政法人原子力安全基盤機構」を参照して抽出した（別紙 1 参照）。減衰性能への影響の検討結果を表 12-4 に示す。減衰性能に影響する項目については、減衰性能を取得するための性能試験条件の設定において適切に考慮する、若しくは地震応答解析においてばらつきとして考慮する方針とする。

表 12-4 減衰性能への影響の検討結果（単軸粘性ダンパ）

No.	項目	減衰性能への影響	対応方針
1	連続加振	連続加振による減衰性能への影響は十分小さいことを試験により確認している（別紙7参照）。	—
2	振動数	減衰性能は、加振振動数によって±10%以内の範囲で変動することを試験により確認した（別紙7参照）。	左記の変動及びばらつき要因を合わせて、±20%の減衰性能のばらつきを考慮する。
3	製造公差	製造公差による減衰性能のばらつきは±10%以内で管理する。	

(2) 単軸粘性ダンパの性能試験

a. 性能試験条件の設定

単軸粘性ダンパの実機使用条件を踏まえ、性能試験条件を設定する。

加振振動数による単軸粘性ダンパの減衰性能の変動は比較的小さいことを踏まえ、単軸粘性ダンパの許容変位 100mm の中で実機使用条件を含む幅広い試験速度 (0.1～0.8m/s) を設定して性能試験を実施する。単軸粘性ダンパの性能試験条件を表 12-5 に示す。

b. 性能試験の実施

設定した性能試験条件により、単軸粘性ダンパの性能試験を実施する。性能試験の詳細について別紙 6 に示す。地震応答解析に適用する単軸粘性ダンパの減衰性能は、実機に設置する単軸粘性ダンパについて性能試験を実施のうえ設定する。単軸粘性ダンパは抵抗力が速度の 0.1 乗に比例するように設計されており、非線形の挙動を示すことから、その減衰性能は抵抗力と速度の関係で把握する。性能試験結果により取得した減衰性能を図 12-7 に示す。

表 12-5 単軸粘性ダンパの性能試験条件

No.	振動数 (Hz)	加振速度 (m/s)
1	1.6	0.1
2		0.2
3		0.4
4		0.5
5		0.8

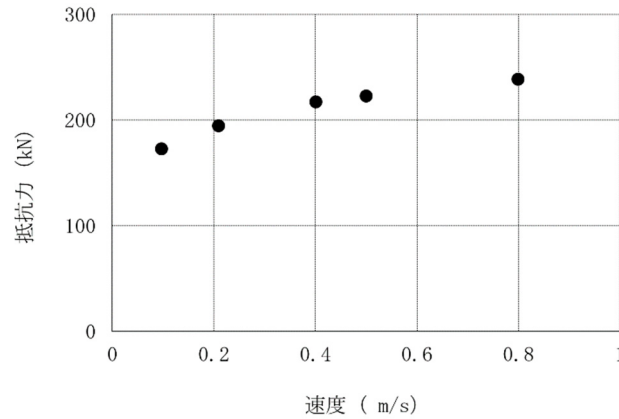


図 12-7 性能試験結果

(3) 単軸粘性ダンパのモデル化

a. 減衰性能のモデル化

性能試験の結果に基づき、単軸粘性ダンパの減衰性能をモデル化する。

単軸粘性ダンパは、加振速度の変化に対して抵抗力の変化が小さく、振動数依存性も比較的小さいことから、速度の 0.1 乗に比例するダッシュポットを組み込んだ 2 パラメータの Maxwell モデルを用いる。単軸粘性ダンパの減衰性能を模擬する Maxwell モデルを図 12-8 に示す。加振振動数 1.6Hz の場合の Maxwell モデルによる計算値と性能試験結果の比較を図 12-9 に示す。この図から、速度と抵抗力の関係及び履歴曲線で囲まれる面積に相当する散逸エネルギーのいずれに關しても、Maxwell モデルにより減衰性能を精度良く表現できることが分かる。

b. ばらつきの考慮

単軸粘性ダンパの減衰性能のばらつきを考慮して、地震応答解析に用いる解析モデルを設定する。性能試験結果に基づいてモデル化した単軸粘性ダンパの減衰性能に対して、表 12-4 に基づき、振動数による $\pm 10\%$ の変動と、製造公差による $\pm 10\%$ のばらつきを合わせて $\pm 20\%$ のばらつきを考慮する。単軸粘性ダンパの減衰性能は、ばらつきを考慮して標準性能 +20%、標準性能、標準性能 -20% の 3 段階設定する。標準性能 +20% の減衰性能を設定する理由は、単軸粘性ダンパの取付部材の設計においては減衰性能が高く抵抗力が大きい場合の荷重を適用するためである。地震応答解析モデルにおける減衰性能の設定を図 12-10 に示す。

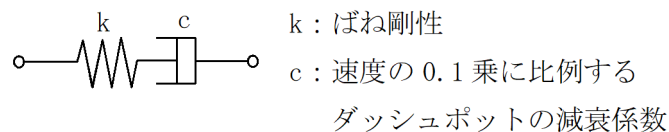
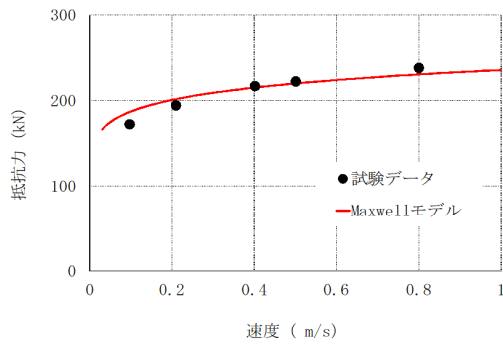
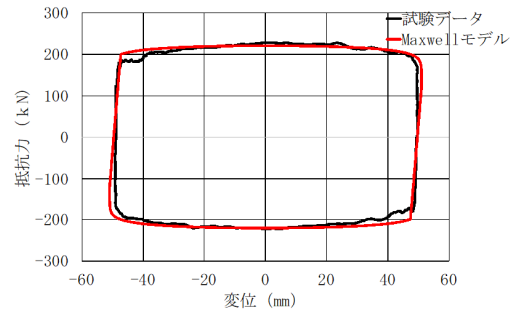


図 12-8 単軸粘性ダンパの Maxwell モデル



速度と抵抗力の関係



速度 0.5m/s における
正弦波 1 周期分の履歴曲線

図 12-9 Maxwell モデルによる計算値と性能試験結果の比較

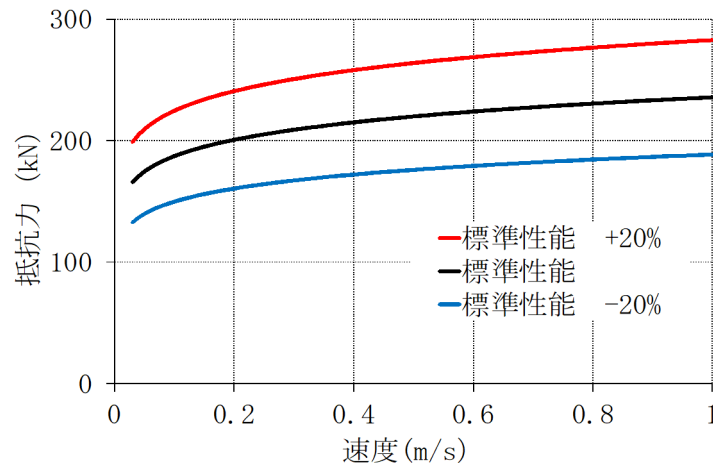


図 12-10 地震応答解析モデルにおける段階的な減衰性能の設定

(4) 単軸粘性ダンパの解析モデルの追加

単軸粘性ダンパをモデル化した Maxwell モデルを取水槽ガントリクレーンの地震応答解析モデルに追加することにより、単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの地震応答解析モデルを作成する。

2.2.4 単軸粘性ダンパ評価

単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの地震応答解析によって得られた応答値が、単軸粘性ダンパの減衰性能を取得した性能試験の試験条件の範囲内であることを確認する。

また、単軸粘性ダンパが許容限界を満足し、地震時にその機能を維持する設計とするため、単軸粘性ダンパは許容荷重及び許容変位を満たすように設計する。

2.2.5 機器評価

取水槽ガントリクレーンは、地震に伴う損傷、落下によって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ため、機器評価における評価方法及び許容限界は表 12-6 のとおりとする。許容限界は、J E A G 4 6 0 1 等に基づき設定することを基本とする。

表 12-6 機器評価における評価方法及び許容限界

評価方針	設計地震力	部位	評価方法	許容限界
上位クラス施設へ波及的影響を及ぼさないこと	基準地震動 S s による 地震力	単軸粘性 ダンパ	単軸粘性ダンパの荷重及び変位が許容限界を超えないことを確認する。	許容荷重及び 許容変位

3. 実績との比較

既工認実績のある単軸粘性ダンパとの差異に着目し、機器への適用性や減衰性能への影響の観点から検討を要する項目を整理した。その結果、追加の検討項目は抽出されず、必要な検討が行われていることを確認した。既工認実績との差異の確認結果について、詳細は別紙2に示す。

単軸粘性ダンパを設置する場合の耐震評価方法について、原子炉施設の耐震設計の体系及び新規制基準適合性審査の実績を踏まえて重点的に検討すべき事項を抽出し、耐震評価方法において考慮していることを確認するため、「耐震設計に係る工認審査ガイド（最終改正 平成29年11月15日，原規技発第1711152号）」に基づき、耐震評価方法の設定にあたって必要な検討を実施していることを確認した。確認の結果を別紙3に示す。工認審査ガイドに基づいて抽出した検討事項は、耐震評価方法の設定にあたって考慮されており、追加の検討を要する事項はないことを確認した。

4. まとめ

単軸粘性ダンパは、その減衰性能をMaxwellモデルにより精度良くモデル化できる。単軸粘性ダンパの減衰性能の表現方法及びモデル化の考え方について、別紙4で示した。また、単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの地震応答解析では、減衰性能の変動及びばらつきを踏まえて段階的に設定した減衰性能に対応した地震応答解析を行い、これらの最大応答を用いて耐震評価を行う。したがって、単軸粘性ダンパのモデル化は妥当であり、減衰性能の変動及びばらつきを適切に考慮していることから、地震応答解析手法として妥当と考える。

別紙 1 単軸粘性ダンパの減衰性能に影響する検討項目の抽出

単軸粘性ダンパの減衰性能の設定において考慮すべき事項について「免震構造の審査手引きの提案（平成 26 年 1 月） 独立行政法人原子力安全基盤機構」を参照して表 1-1 に整理した。各項目について単軸粘性ダンパの構造、使用条件、性能試験方法等を踏まえて、減衰性能への影響の検討要否を表 1-2 に整理した。表 1-2 で検討要となった項目については、単軸粘性ダンパのモデル化にあたって減衰性能への影響を検討する。

表 1-1 免震構造の審査手引きの提案における検討項目（1/3）

項目	内容	記載箇所
①単軸粘性ダンパに応じた減衰性能の設定	単軸粘性ダンパに応じた減衰性能の設定方法について検討する。	【本文】 5. 4. 8 (機器免震に係る考慮事項) (2) 免震装置の構造に起因する応答特性の考慮 p. 31 【解説】 5. 4. 8 (機器免震に係る考慮事項) (2) 免震装置の構造に起因する応答特性の考慮 p. 38 【審査等のポイント】 5. 4. 8 (機器免震に係る考慮事項) (2) 免震装置の構造に起因する応答特性の考慮 p. 42
②地震入力方向	地震入力方向による減衰性能の変化について検討する。	【本文】 5. 4. 8 (機器免震に係る考慮事項) (1) 地震入力方向による免震特性変化の考慮 p. 31 【解説】 5. 4. 8 (機器免震に係る考慮事項) (1) 地震入力方向による免震特性変化の考慮 p. 38 【審査等のポイント】 5. 4. 8 (機器免震に係る考慮事項) (1) 地震入力方向による免震特性変化の考慮 p. 42
③使用環境	使用環境を踏まえて減衰性能を設定する。	【本文】 5. 4. 6 p. 30 【解説】 5. 4. 6 p. 33

表 1-1 免震構造の審査手引きの提案における検討項目 (2/3)

項目	内容	記載箇所
④温度	減衰性能の変化要因として温度による影響を検討する。	<p>【本文】 5. 4. 8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項) (3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつきの考慮 p. 31</p> <p>【解説】 5. 4. 8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項) (3)免震装置の性能の変化に係る考慮○地震時免震機能の変化の考慮 p. 36</p> <p>【審査等のポイント】 5. 4. 8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項) (3)免震装置の性能の変化に係る考慮○地震時免震機能の変化の考慮 p. 41</p>
⑤速度	減衰性能の変化要因として速度による影響を検討する。	<p>【本文】 5. 4. 8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項) (3)免震装置の性能の変化に係る考慮○地震時免震機能の変化の考慮 p. 31</p>
⑥振動数	減衰性能の変化要因として振動数による影響を検討する。	<p>【解説】 5. 4. 8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項) (3)免震装置の性能の変化に係る考慮○地震時免震機能の変化の考慮 p. 36</p>
⑦連続加振	作動中の減衰性能の変化について検討する。	<p>【審査等のポイント】 5. 4. 8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項) (3)免震装置の性能の変化に係る考慮○地震時免震機能の変化の考慮 p. 41</p>
⑧経年劣化	経年劣化による減衰性能のばらつきについて検討する。	<p>【本文】 5. 4. 8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項) (3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつきの考慮 p. 31</p> <p>【解説】 5. 4. 8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項) (3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつきを考慮 p. 35</p> <p>【審査等のポイント】 5. 4. 8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項) (3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつきを考慮 p. 41</p> <p>【参考資料-4】</p>

表 1-1 免震構造の審査手引きの提案における検討項目 (3/3)

項目	内容	記載箇所
⑨製造公差	製造公差による減衰性能のばらつきについて検討する。	<p>【本文】5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項)(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつきの考慮 p. 31</p> <p>【解説】5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項)(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつきの考慮 p. 35</p> <p>【審査等のポイント】5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項)(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつきの考慮 p. 41</p>
⑩据付公差	据付公差による減衰性能のばらつきについて検討する。	<p>【解説】5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項)(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつきの考慮 p. 35</p> <p>【審査等のポイント】5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項)(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震要素特性のばらつきの考慮 p. 41</p>
⑪単軸粘性ダンパの構造上の動作制限	単軸粘性ダンパの構造上、動作に影響を与える機構等があれば、その影響を検討する。	<p>【解説】5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項)(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○免震装置変位防止ストッパー、台座、擁壁、塵埃防止カバー、結露に対する免震機能の変化の考慮 p. 36</p>
⑫地震以外の外的事象	地震以外の外的事象による減衰性能への影響を検討する。	<p>【本文】5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項)(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○地震以外の津波や風等の事象に対する免震機能の変化の考慮 p. 31</p> <p>【解説】5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項)(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○地震以外の津波や風等の事象に対する免震機能の変化の考慮 p. 36</p> <p>【審査等のポイント】5.4.8(建屋免震・機器免震共通の考慮事項)(3)免震装置の性能の変化に係る考慮○地震以外の津波や風等の事象に対する免震機能の変化の考慮 p. 42</p>

表 1-2 減衰性能への影響の検討項目の抽出

項目*		単軸粘性ダンパ	
		要否	理由
①単軸粘性ダンパに応じた減衰性能の設定		—	単軸粘性ダンパの性能試験結果を踏まえて減衰性能を適切にモデル化する。
②地震入力方向		—	単軸粘性ダンパは、伸縮方向にのみ動作することから、この方向に加振して減衰性能を取得する。
③ 使用 環境 条件	④温度	—	屋外で使用するため、使用環境温度の変化は小さい。また、減衰性能に対する温度の影響は小さいことを試験により確認済みである。
	放射線	—	屋外で使用するため放射線の影響を受けない。
	⑧経年劣化	—	化学的に安定な粘性体を使用しており、減衰性能の劣化は生じない。単軸粘性ダンパは 10 年以上の継続使用の実績がある。
⑥振動数		○	振動数による減衰性能への影響を確認する。
⑤速度		—	単軸粘性ダンパは非線形の挙動を示すことから、減衰性能は速度と抵抗力の関係として把握し、これを適切にモデル化する。
⑦連続加振		○	連続加振による減衰性能への影響を確認する。
ばら つき	⑨製造公差	○	製造公差による減衰性能のばらつきが生じる。
	⑩据付公差	—	単軸粘性ダンパはオリフィス部を粘性体が移動する際の流動抵抗により減衰性能を発揮するものであるため、ピストン位置による減衰性能の変化は小さい。また、据付時にシムによりピストン位置を調整するため、据付公差は小さい。
⑪単軸粘性ダンパの構造上の動作制限		—	変位防止用ストッパー、台座、擁壁、塵埃防止カバー等の単軸粘性ダンパの動作を制限するものは設置しておらず、減衰性能に影響はない。また、シリンダは粘性体で満たされ、密閉されているため結露しない。
⑫地震以外の外的事象		—	津波対策の実施により津波の敷地内への流入は防止しており、津波による減衰性能への影響を考慮する必要はない。なお、シリンダは密閉構造であるため、雨水の影響はない。また、単軸粘性ダンパは円筒形状であり、風及び積雪により受ける荷重は小さく、動作への影響はない。

注記*：表 1-2 内の各項目番号は、表 1-1 内の各項目番号に対応している。

別紙2 既工認実績のある単軸粘性ダンパとの差異の整理

1. はじめに

取水槽ガントリクレーンに設置する単軸粘性ダンパと既工認実績である島根2号機排気筒に設置した単軸粘性ダンパ（単軸粘性ダンパ）に着目し、機器への適用性や減衰性能への影響の観点から検討を要する項目を整理する。

2. 島根2号機の排気筒で実績のある単軸粘性ダンパについて

島根2号機の排気筒で適用実績のある単軸粘性ダンパについて、概要を以下に示す。この単軸粘性ダンパは、粘性体が充填されたシリンダとピストンにより構成され、シリンダとピストンの間に相対運動が生じることで、相対運動の方向と逆向きに生じる抵抗力を用いるものである。単軸粘性ダンパは自重等の静的荷重は支持せず、熱膨張のような低速度の運動を拘束しない。単軸粘性ダンパの外観及び構造を図1-1に示す。また、単軸粘性ダンパの仕様を表1-1に示す。

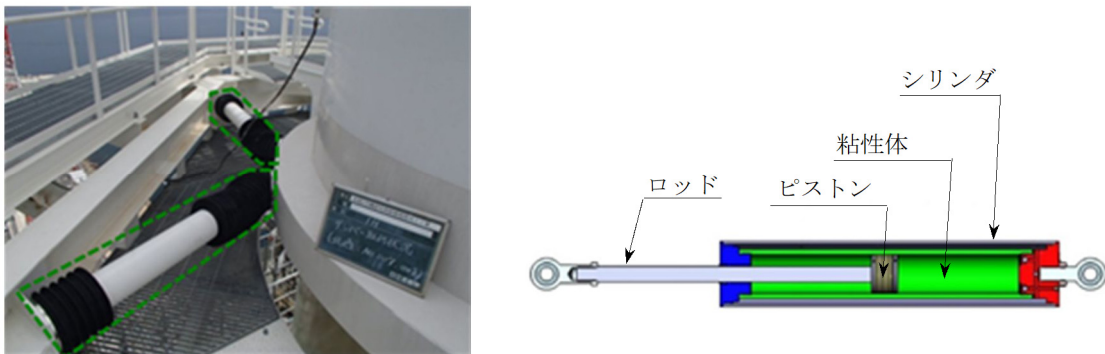


図1-1 島根2号機の排気筒に設置した単軸粘性ダンパの外観及び構造

表1-1 単軸粘性ダンパの仕様

全長 (mm)	外径 (mm)	質量 (kg)	許容荷重 (kN)	許容変位 (mm)
1350	165	86	144	300

3. 今回適用する単軸粘性ダンパと既工認実績のある単軸粘性ダンパの差異

取水槽ガントリクレーンに設置する単軸粘性ダンパと島根2号機排気筒の単軸粘性ダンパを比較し、機器・配管系への適用性や減衰性能への影響の観点から検討を要する項目を整理した。結果を表1-2に示す。その結果、追加の検討項目は抽出されず、必要な検討が行われていることを確認した。

表 1-2 適用実績のある単軸粘性ダンパとの差異の整理（単軸粘性ダンパ）

	単軸粘性 ダンパ 【島根2号 機排気筒】	単軸粘性 ダンパ 【取水槽ガン トリクレー ン】	差異	検討内容
適用対象	排気筒	取水槽ガン トリクレーン	○	適用対象のモデル化の方法を 検討
環境条件	屋外	屋外	—	—
単軸粘性 ダンパ	単軸線形 タイプ	単軸非線形タ イプ	○	単軸粘性ダンパのモデル化の 方法を検討
解 析	単軸粘性 ダンパ モデル	Maxwell モデル	—	—
	解析 手法	時刻歴 応答解析	—	—

別紙 3 新規制基準適合性審査の実績等を踏まえた検討事項に対する考察

単軸粘性ダンパを設置する場合の耐震評価方法について、原子炉施設の耐震設計の体系及び新規制基準適合性審査の実績を踏まえて重点的に検討すべき事項を抽出し、耐震評価方法において考慮されていることを確認する。具体的には、「耐震設計に係る工認審査ガイド（最終改正 平成 29 年 11 月 15 日，原規技発第 1711152 号）」（以下「工認審査ガイド」という。）に基づき、耐震評価方法の設定にあたって必要な検討が実施されていることを確認する。

確認の結果を表 1-1 に示す。工認審査ガイドに基づいて抽出した検討事項は、耐震評価方法の設定にあたって考慮されており、追加の検討を要する事項はないことを確認した。

表 1-1 工認審査ガイドに基づく検討事項の耐震評価方法への反映要否 (1/4)

検討事項 (工認審査ガイド 4. 機器・配管系 に関する事項)	工認審査ガイドに対応した耐震評価方法の設定にあたっての検討内容		追加検討 事項の有無 (○：有 —：無)
	討内容		
4. 1 使用材料及び材 料定数	<p>単軸粘性ダンパを設置する取水槽ガントリクレーン</p> <p>機器・配管系の地震応答解析及び構造設計において、工認審査ガイドに従って適用可能な規格及び基準等を使用する。</p> <p>地震応答解析に用いる材料定数は、地盤の諸定数も含めて材料のばらつきによる変動幅を適切に考慮する。なお、単軸粘性ダンパにより機器・配管系に付与される減衰が大きくなるため、影響は軽微であると考えているが、詳細設計段階において ASME Boiler and Pressure Vessel Code SECTION III, DIVISION I—NONMANDATORY APPENDIX N (ARTICLE N-1222.3 Time History Broadening) に規定された手法等により検討を行い、影響が軽微であることを確認する。</p>		— (考慮済)
			— (考慮済)

表 1-1 工認審査ガイドに基づく検討事項の耐震評価方法への反映要否 (2/4)

検討事項 (工認審査ガイド 4. 機器・配管系 に関する事項)	工認審査ガイドに対応した耐震評価方法の設定にあたっての検討内容	追加検討 事項の有無 (○：有 ー：無)
4. 2 荷重及び荷重の 組合せ	単軸粘性ダンパを設置する取水槽ガントリクレーン 地震力と地震力以外の荷重は、工認審査ガイドに例示されている規格及び基準等に基づき適切に組み合わせる。	ー (考慮済)
4. 3 許容限界	取水槽ガントリクレーンに係る許容限界及び単軸粘性ダンパの許容荷重は、工認審査ガイドに例示されている規格及び基準等に基づき設定する。 単軸粘性ダンパの許容変位は、その構造、寸法に基づき設定する。	ー (考慮済)
4. 4 地震応答解析 4. 4. 1 地震応答解析手法及び地震応答解析モデル	地震応答解析手法は、工認審査ガイドに例示されている規格及び基準等並びに新規制審査実績を参考に設定する。 取水槽ガントリクレーンの地震応答解析モデルは、工認審査ガイドに例示されている規格及び基準等並びに新規制審査実績を参考に設定する。また、単軸粘性ダンパの減衰性能は、性能試験結果に基づいてモデル化し、減衰性能のばらつきを考慮する。	ー (考慮済)

表 1-1 工認審査ガイドに基づく検討事項の耐震評価方法への反映要否 (3/4)

検討事項 (工認審査ガイド 4. 機器・配管系 に関する事項)	工認審査ガイドに対応した耐震評価方法の設定にあたって の検討内容		追加検討 事項の有無 (○：有 —：無)
	工認審査ガイド	の検討内容	
4. 4. 2 入力地震力		単軸粘性ダンパを設置する取水槽ガントリクレーン 入力地震力は、取水槽ガントリクレーン設置位置の応答波を用いる。	— (考慮済)
4. 5 構造設計手法		構造解析手法及び構造解析モデルは、工認審査ガイドに 例示されている規格及び基準等並びに新規制審査実績を参 考に設定する。構造解析モデルの材料定数は、「4. 1 使用 材料及び材料定数」による。	— (考慮済)
4. 5. 1 構造解析手法及 び構造解析モデ ル			
4. 5. 2 水平方向及び鉛 直方向地震力の 組合せ		水平 2 方向及び鉛直方向の動的地震力の組合せに関して は、三方向同時入力により地震応答解析を行う。	— (考慮済)

表 1-1 工認審査ガイドに基づく検討事項の耐震評価方法への反映要否 (4/4)

検討事項 (工認審査ガイド 4. 機器・配管系 に関する事項)	工認審査ガイドに対応した耐震評価方法の設定にあたっての 検討内容		追加検討 事項の有無 (○:有 —:無)
	単軸粘性ダンパを設置する取水槽ガントリクレーン		
4. 6 基準地震動 S_s による地震力に 対する耐震設計	取水槽ガントリクレーンは、基準地震動 S_s による地震力 に対して、上位クラス施設に波及的影響を及ぼさないことが 要求されるものである。構造強度に関する耐震設計において は、耐震性を確認する上で必要な評価対象部位を選定し、施 設に作用する応力等が工認審査ガイドに例示されている規格 及び基準等に基づき設定した許容限界を超えていないことを 確認する。		— (考慮済) 【取水槽ガント リクレーン】
4. 6. 2 動的 機能	取水槽ガントリクレーンは、基準地震動 S_s による地震力に 対して、上位クラス施設に波及的影響を及ぼさないことが要 求されるものであり、動的機能維持の対象に該当しない。		— (対象外)
4. 7 弾性設計 用地震動 S_d に よる地震力・静 的地震力に対す る耐震設計	取水槽ガントリクレーンは、基準地震動 S_s による地震力に 対して、上位クラス施設に波及的影響を及ぼさないことが要 求されるものであり、弾性設計用地震動 S_d による地震力及 び静的地震力に対する耐震設計の対象に該当しない。		— (対象外) 【取水槽ガント リクレーン】
			— (考慮済) 【配管系】

別紙4 単軸粘性ダンパに応じた減衰性能の表現及びモデル化

本資料では、単軸粘性ダンパについて減衰性能の特性を整理し、その違いを踏まえた減衰性能の表現及びモデル化の考え方を示す。

1. 単軸粘性ダンパの減衰性能の振動数依存性

単軸粘性ダンパについて、振動数を変化させた場合の速度と抵抗力の関係を図1-1に示す。

単軸粘性ダンパは、微小速度の領域を除けば速度の変化に対して抵抗力の変化が小さい。また、振動数の変化に対して、単軸粘性ダンパは速度と抵抗力の関係の変化は小さい。

2. 単軸粘性ダンパの減衰性能のモデル化

単軸粘性ダンパは、微小速度では速度の変化に対して抵抗力が大きく変化し、それ以降は速度の変化に対して抵抗力の変化が小さいという特性を有している。これは単軸粘性ダンパの抵抗力が速度の0.1乗に比例するように設計されているためである。また、単軸粘性ダンパの速度と抵抗力の関係に対して、振動数依存性は小さいことが確認されている。このような特性を踏まえて、単軸粘性ダンパの減衰性能は、速度と抵抗力の関係として表現することとし、解析モデルとしては速度の0.1乗に比例するダッシュポットを組み込んだMaxwellモデルを使用する。Maxwellモデルのパラメータ数は2つであるが、図1-2に示すとおり、2つのパラメータで精度良く減衰性能を表現することができる。

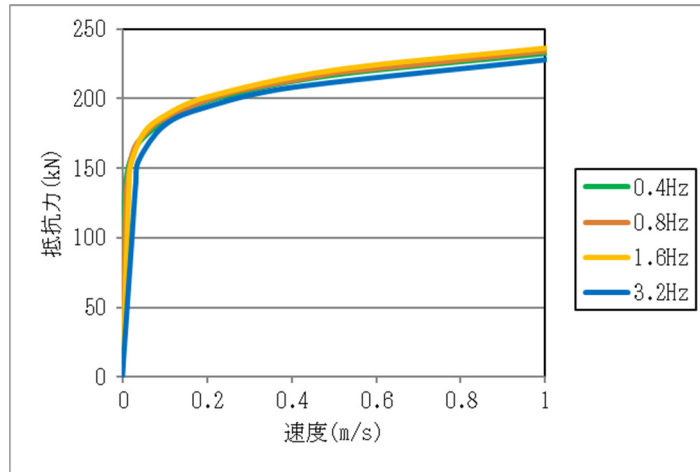


図1-1 振動数を変化させた場合の速度と抵抗力の関係

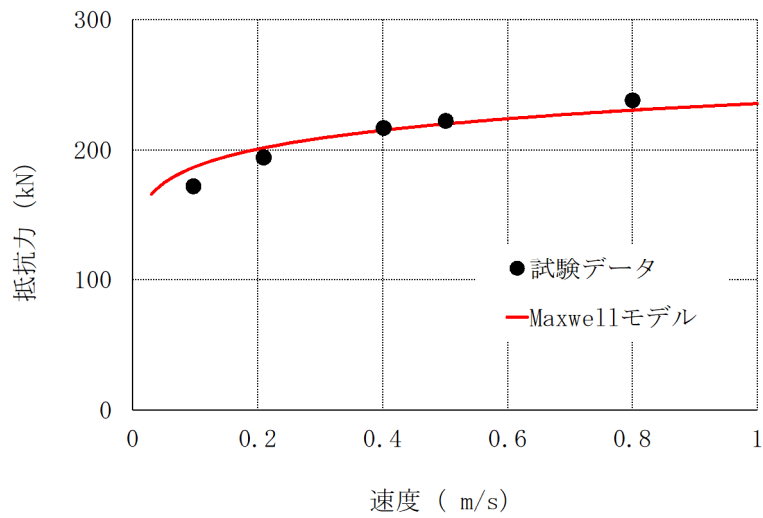


図 1-2 単軸粘性ダンパの減衰性能のモデル化

別紙5 取水槽ガントリクレーンに設置する単軸粘性ダンパの選定

取水槽ガントリクレーンに設置する装置として単軸粘性ダンパを選定した理由について表 1-1 に整理した。

表 1-1 取水槽ガントリクレーンに設置する単軸粘性ダンパの検討

分類	ダンパの種類	原理	作動方向	支持荷重	抵抗力の特性	原子力施設における適用実績	適用性	理由		
履歴型	弾塑性ダンパ	材料の弾塑性挙動を利用してエネルギーを吸収するダンパ	1 方向 又は 2 方向	熱膨張 地震荷重	抵抗力は、材料の初期剛性、二次剛性で決まる。	なし	△	塑性変形で地震エネルギーを吸収しており、繰り返しにより抵抗力が変化する。また、ダンパの剛性が高いため、クレーンの剛性が高くなる。		
	摩擦ダンパ	摩擦抵抗を利用してエネルギーを吸収するダンパ			抵抗力は、摩擦材の締め付け力等で決定し、履歴曲線は矩形に近い。				○	粘性ダンパと特性は類似しているが、加振繰り返し回数が多くなると、性能が変化する場がある。
	鉛ダンパ	鉛の塑性流動抵抗を利用してエネルギーを吸収するダンパ			抵抗力は鉛の初期剛性、二次剛性で決まる。				△	塑性変形で地震エネルギーを吸収しており、繰り返しにより抵抗力が変化する。
粘性型	粘性ダンパ (非線形)	粘性体の流動抵抗を利用してエネルギーを吸収するダンパ	1 方向	地震荷重	抵抗力は速度のべき乗 (0.1~1) に比例し、0.1 乗の場合、履歴曲線は矩形に近い。	なし	◎	微小変位から最大変位まで、抵抗力の変化が小さく、エネルギー吸収が大きいため、クレーンの剛性を高くせず、地震エネルギーの吸収を大きくできる		
	粘性ダンパ (線形)	粘性体の流動抵抗を利用してエネルギーを吸収するダンパ			抵抗力は速度に比例し、履歴曲線は楕円に近い。				○	適用は可能であるが、粘性ダンパほどのエネルギー吸収が期待できない。
	オイルダンパ	オイルの流動抵抗を利用してエネルギーを吸収するダンパ			抵抗力は速度のべき乗 (0.4~1) に比例し、履歴曲線は楕円に近い。				○	適用は可能であるが、粘性ダンパほどのエネルギー吸収が期待できない。

凡例 ◎：適用可能 (有効性が最も高い) ○：適用可能 △：適用するために課題がある ×：適用不可

別紙6 単軸粘性ダンパの性能試験方法

単軸粘性ダンパは、微小速度の領域を除けば速度の変化に対する抵抗力の変化を小さくすることを目的として、速度の0.1乗に比例した減衰性能を発揮するように設計されており、性能試験で設計通りの抵抗力が得られることを確認する。また、抵抗力が速度の0.1乗に比例するダッシュポットとばねを直列に接続した Maxwell モデルによりモデル化できることを確認する。ここでは、Maxwell モデルのパラメータを決定し、単軸粘性ダンパをモデル化するための性能試験方法について示す。

1. 単軸粘性ダンパの性能試験方法

単軸粘性ダンパの性能試験装置の構成を図1-1に示す。単軸粘性ダンパの性能試験では、アクチュエータを用いて単軸粘性ダンパを所定の正弦波により加振し、加振中の変位及び荷重を測定する。性能試験条件を表1-1に示す。加振振動数による単軸粘性ダンパの減衰性能の変動は小さいことを踏まえ、単軸粘性ダンパのストローク100mmの中で実機使用条件を含む幅広い試験速度（0.1～0.8m/s）を設定して性能試験を実施する。単軸粘性ダンパ設置前の取水槽ガントリクレーンの固有振動数 及び予備解析における単軸粘性ダンパの入力波形の主要な振動数（0.8Hz～2.0Hz程度）を考慮して加振振動数は1.6Hzとした。また、単軸粘性ダンパの減衰性能は温度の影響を受けない（別紙7参照）ことから、性能試験は室温にて実施した。単軸粘性ダンパの性能試験結果を図1-2に示す。測定した速度及び抵抗力に適合するように、Maxwellモデルのパラメータを決定する。パラメータの設定は最小二乗法により実施しており、図1-2に示すとおり、Maxwellモデルによって試験結果として得られた減衰性能を精度良く表現できることを確認した。



図1-1 単軸粘性ダンパの性能試験装置の構成

表 1-1 単軸粘性ダンパの性能試験条件

No.	振動数 (Hz)	加振速度 (m/s)
1	1.6	0.1
2		0.2
3		0.4
4		0.5
5		0.8

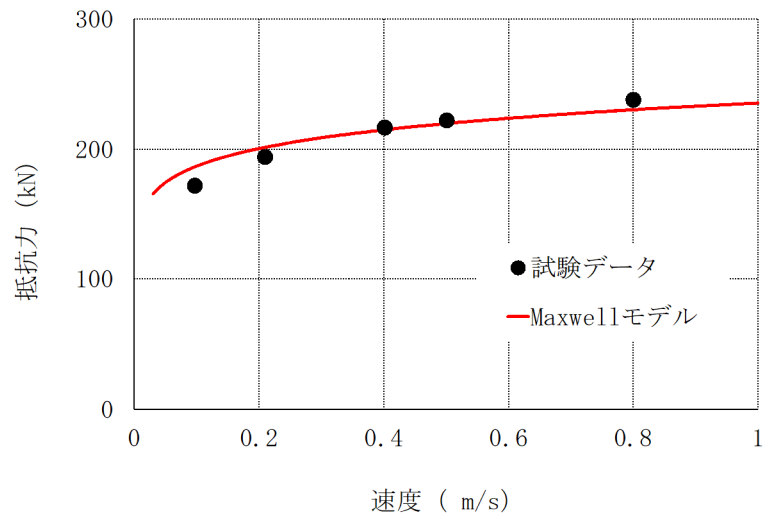


図 1-2 単軸粘性ダンパの性能試験結果

別紙7 単軸粘性ダンパの特性試験

単軸粘性ダンパの減衰性能に影響する特性を把握するために実施した特性試験の結果を以下に示す。なお、(1)及び(2)の特性試験は、取水槽ガントリクレーンに設置する単軸粘性ダンパを用いて実施した。また、(3)温度依存性試験については、温度による減衰性能への影響が生じる場合、その主要な要因は粘性体の物性変化と考えられることから、取水槽ガントリクレーンに設置する単軸粘性ダンパと同タイプ(粘性体が同一)で定格荷重の異なるダンパを用いた。

<試験項目>

- (1) 加振振動数を変更した特性試験
- (2) 連続加振試験
- (3) 温度依存性試験

1. 加振振動数を変更した特性試験

加振振動数に応じた単軸粘性ダンパの減衰性能への影響を確認するため、以下の試験条件で単軸粘性ダンパの特性試験を実施した。

1.1 試験条件

4段階の加振速度を設定し、同一の加振速度で振動数を変更した正弦波により特性試験を実施した。試験条件を表1-1に示す。

表 1-1 加振振動数を変更した特性試験の試験条件

No.	加振速度 (m/s)	振動数 (Hz)
1	0.1	0.4
2		0.8
3		1.6
4	0.2	0.8
5		1.6
6		3.2
7	0.4	0.8
8		1.6
9		3.2
10	0.8	1.6
11		3.2

1.2 試験結果

試験結果を図 1-1 に示す。この図には、加振振動数 1.6Hz の時の Maxwell モデルによる計算値を併せて示しているが、振動数を変更することによる抵抗力の変化は小さく、その変化幅は±10%以内であることが確認された。

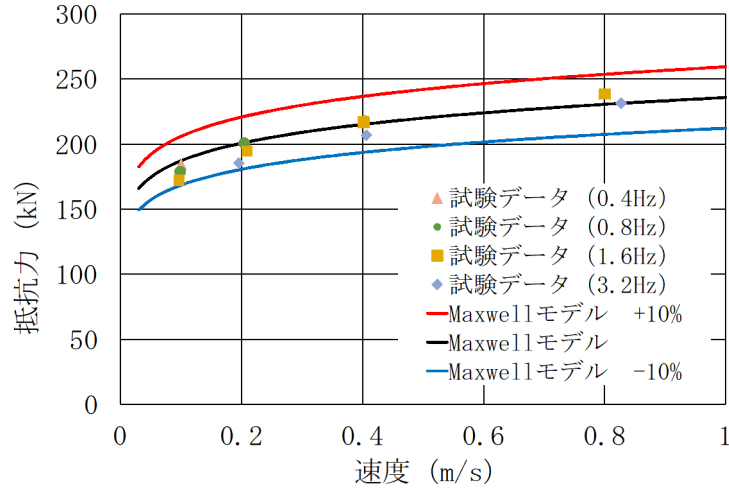


図 1-1 加振振動数を変更した単軸粘性ダンパの特性試験結果

2. 連続加振試験

連続加振による単軸粘性ダンパの減衰性能への影響を確認するため、正弦波による連続加振試験を実施した。

2.1 試験条件

表 1-2 に試験条件を示す。試験条件は、取水槽ガントリクレーンにおける単軸粘性ダンパの散逸エネルギーを上回る条件として設定した。

表 1-2 連続加振による試験条件

入力波	振動数 (Hz)	振幅 (mm)	加振時間 (秒)
正弦波	1	10	80以上

2.2 試験結果

連続加振試験における抵抗力の時間変化を図 1-2 に示す。80 秒経過までの連続加振により抵抗力は変化しておらず、連続加振による減衰性能への影響はないことを確認した。

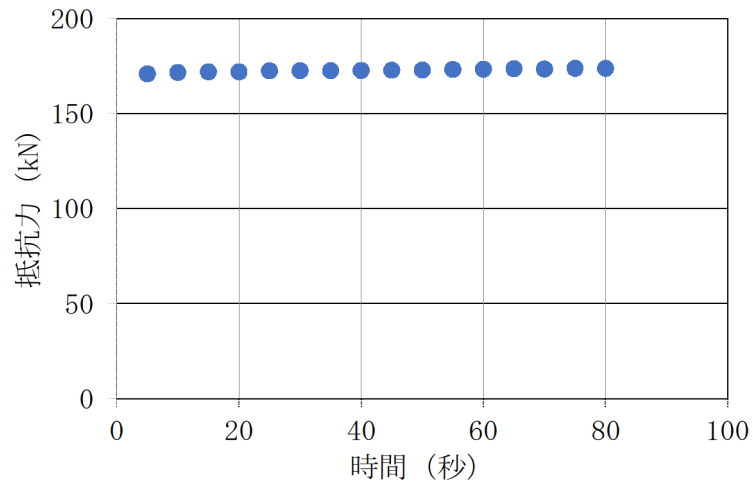


図 1-2 連続加振試験結果

3. 温度依存性試験

周囲環境温度による単軸粘性ダンパの減衰性能への影響を確認するため、温度を変化させて単軸粘性ダンパの性能試験を実施した。

3.1 試験条件

試験条件を表 1-3 に示す。屋外に設置することから、温度は -10°C 、 23°C 、 40°C の3段階とした。

表 1-3 温度依存性試験の試験条件

No.	振動数 (Hz)	加振速度 (m/s)	温度 ($^{\circ}\text{C}$)
1	1.0	0.13	-10
2			23
3			40
4		0.26	-10
5			23
6			40
7		0.39	-10
8			23
9			40
10		0.52	-10
11			23
12			40

3.2 試験結果

試験結果を図 1-3 に示す。温度が異なっても、抵抗力にほとんど差が見られないことから、単軸粘性ダンパの減衰性能への影響がないことを確認した。

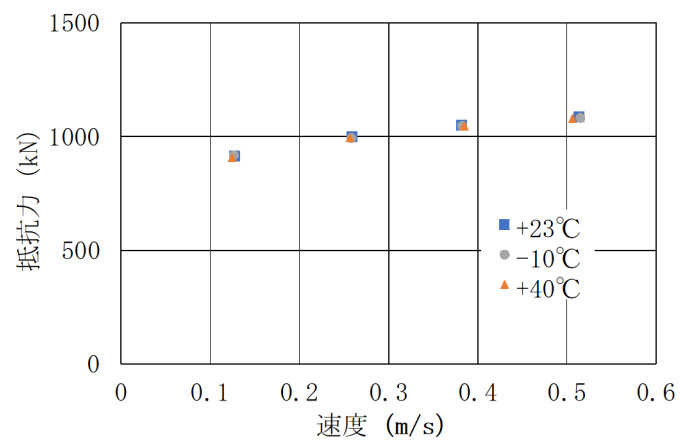


図 1-3 温度依存性試験結果

本資料では、単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの時刻歴応答解析手法を説明する。

1. 地震応答解析

地震による慣性力を受けるクレーンの運動方程式を以下に示す。単軸粘性ダンパの減衰性能は、ばね（クレーンの剛性マトリクス内の要素として考慮）と抵抗力が速度の0.1乗に比例するダッシュポットを直列に接続したMaxwellモデルでモデル化する。

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} + [C_D][\dot{X}_D]^{0.1}\{I\} = -[M]\{I\}\ddot{y} \quad (1)$$

- $[M]$, $[C]$, $[K]$: クレーンの質量, 減衰, 剛性マトリクス
- $[C_D]$: 相対速度の 0.1 乗に比例するダッシュポットの減衰マトリクス
- $[X_D]$: クレーンの相対変位マトリクス
- $\{x\}$: クレーンの変位ベクトル
- $\{I\}$: 単位ベクトル
- \ddot{y} : 地動加速度

2. 個別要素のモデル化

2.1 単軸粘性ダンパの減衰

単軸粘性ダンパを含む系の運動方程式の簡単な例として、1 質点系に単軸粘性ダンパを表す Maxwell モデルを接続した図 1-1 に示す系の運動方程式を示す。

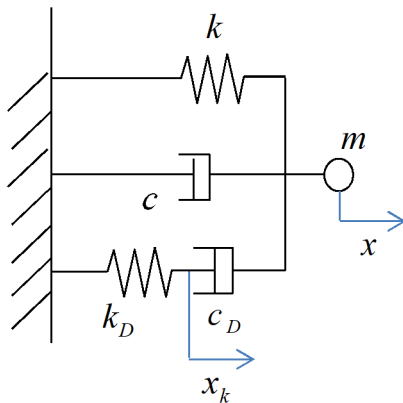


図 1-1 単軸粘性ダンパを接続した 1 質点系のモデル

ここで(1)式の $\{x\}$ を

$$\{x\} = \begin{pmatrix} x \\ x_k \end{pmatrix} \quad (2)$$

$X - X_k$ を単軸粘性ダンパの相対変位として表すと、この系の運動方程式は以下となる。

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx + c_D(\dot{x} - \dot{x}_k)^{0.1} = -m\ddot{y} \quad (3)$$

$$k_D x_k - c_D(\dot{x} - \dot{x}_k)^{0.1} = 0 \quad (4)$$

単軸粘性ダンパを設置した取水槽ガントリクレーンの地震応答解析では、単軸粘性ダンパの抵抗力の速度に対する非線形性を表す $[C_D][\dot{X}_D^{0.1}]\{I\}$ の項が存在することから、非線形時刻歴解析を採用する。

単軸粘性ダンパの保守管理の方針

1. 概要

取水槽ガントリークレーンに設置する単軸粘性ダンパは、設置環境を踏まえた経年劣化事象を考慮した適切な周期による定期的な点検（時間基準保全）により、設備性能を維持する。本資料においては、単軸粘性ダンパの保守管理の方針について説明する。

2. 点検項目等

単軸粘性ダンパは、本体（カバー、ガイドリング、ロッド、ピストン、シリンダー、クレビス）、特殊充填材、取付ボルトにより構成（図 13-1 参照）され、電子的な機構はない構造となっている。

単軸粘性ダンパの点検項目及び点検内容等を表 13-1 に示す。

本体及び取付ボルトは金属製であり、想定される経年劣化事象は腐食である。したがって、点検項目としては、目視により腐食等の有無を確認する。また、取付ボルトは緩みも想定されるため、緩みの有無も確認する。

特殊充填材はシリコン系であり、化学的に安定しており、極めて劣化し難い素材のため、経年劣化による減衰性能への影響は考え難いものの、本体内部の特殊充填材が外部へ漏えいした場合は減衰性能に影響を与える可能性がある。したがって、点検項目としては、目視により特殊充填材の漏えいの有無を確認する。

表 13-1 単軸粘性ダンパの点検項目及び点検内容

点検部位	想定される経年劣化事象	点検項目	点検内容	点検周期
本体	腐食	外観点検	き裂、変形、腐食がないことを確認する	1回/1年
取付ボルト	腐食	外観点検	き裂、変形、腐食、緩みがないことを確認する	1回/1年
特殊充填材	漏えい	外観点検	特殊充填材の漏えいがないことを確認する	1回/1年

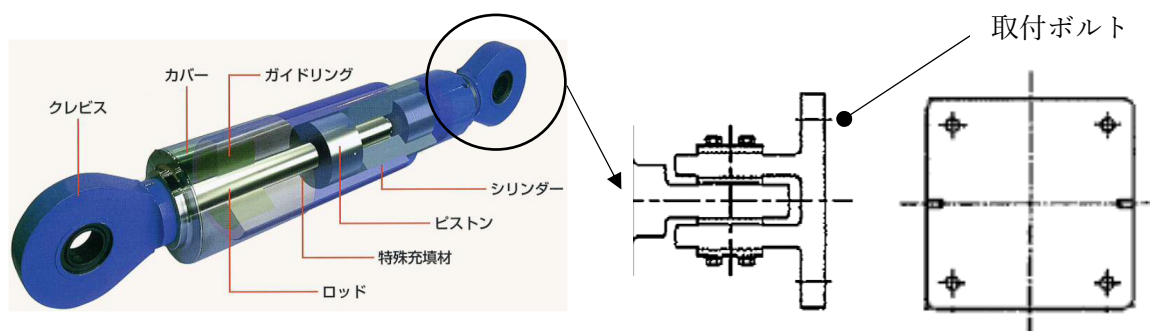


図 13-1 単軸粘性ダンパの概要