

コンテナクレーンの地震時輪荷重に関する 実験的研究

塩崎禎郎¹・菅野高弘²・山本俊介³・佐藤栄治⁴・南部俊彦¹・村野健一⁵

- ¹正会員 工修 NKK基盤技術研究所都市工学研究部 (〒210-0855川崎市川崎区南渡田町1-1)
²正会員 工博 独立行政法人港湾空港技術研究所地盤・構造部 (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)
³正会員 日本港湾コンサルタント技術開発部 (〒141-0031東京都品川区西五反田8-3-6)
⁴独立行政法人港湾空港技術研究所施工・制御技術部 (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)
⁵正会員 工修 NKK重工センター重工部 (〒230-8611横浜市鶴見区末広町2-1-1)

コンテナクレーンの地震時輪荷重は、岸壁やクレーン基礎の設計における外力として必要となるが、レベル2地震動ではクレーンの脚が浮き上がる可能性があり、荷重の正確な評価が困難であった。そこで1/15縮尺の模型振動実験で地震時輪荷重の測定を行い基礎的な検討を実施した。今回の実験から得られた知見を以下に示す。1)地震時輪荷重は水平成分、鉛直成分の両方ともクレーンの応答加速度から算定した設計震度を用いると安全側の設計となる、2)クレーン脚部に免震機構を取り付けることで、地震時輪荷重が大きく低減される。

Key Words : container crane, wheel load, shaking table test

1. はじめに

港湾荷役機械であるコンテナクレーンは、大型のものでは重量が10MNを越え、地震時には図-1に示すような輪荷重が岸壁やクレーン基礎に作用することになる。ところが、耐震強化岸壁の設計で考慮するレベル2地震動に対しては、クレーンの脚が浮き上がる可能性があり、荷重の正確な評価が困難であった。「コンテナクレーン耐震設計のための手引き」¹⁾では、輪荷重の算定には、震度法による岸壁の設計震度を用いることを提案しているが、コンテナクレーンは固有周期が長く(2~3秒程度)、動的な影響が無視できないものと考えられる。そこで、コンテナクレーン模型による振動実験で地震時輪荷重に関する基礎的な検討を行った。

2. 実験概要

(1) 実験模型

実験対象としたコンテナクレーンはレーススパン30.5m、重量約10MN(1000tf)で、表-1に示す相似則²⁾に即して1/15縮尺でモデル化した。模型と計測器の配置を図-2に示す。模型製作にあたっては、重心位置と固有振動数を合わせることを念頭におき、使用する鋼材(角形鋼管および鋼管)と重りの位置を決定した。車輪の数は実機では一脚あたり8輪であるが、模型では簡略化のため、両端の2輪でモデル化している。また、通常のコ

構付きコンテナクレーンに対しても実施した。輪荷重は、片持ち梁で作製したレールの歪み測定で行った。

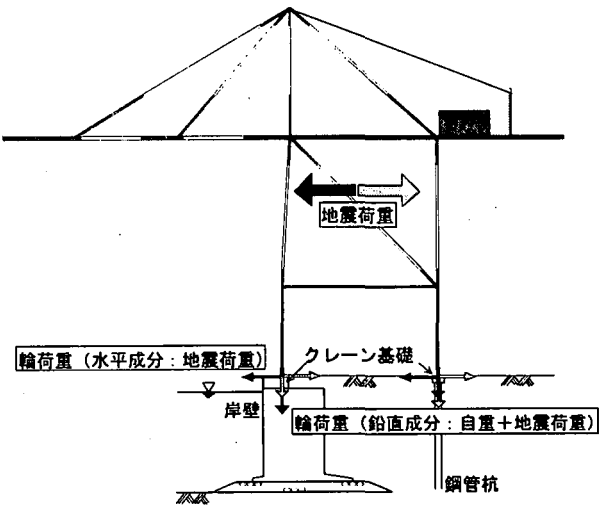


図-1 コンテナクレーンによる地震時輪荷重

表-1 適用相似則

物理量	実機/模型	縮尺比
長さ	λ	15.00
時間	$\lambda^{1/2}$	3.87
加速度	1	1.00
重量	λ^3	3375
曲げ剛性	λ^5	759375

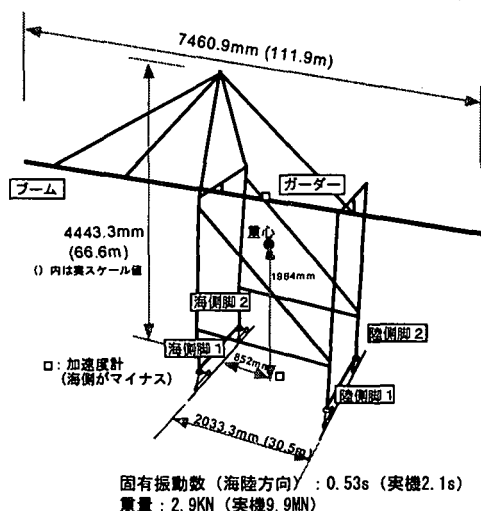


図-2 コンテナクレーン模型

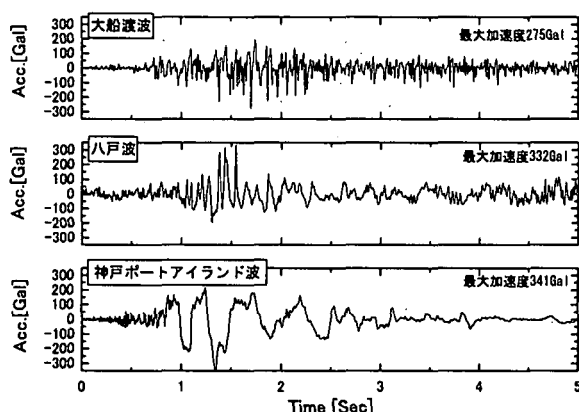


図-3 入力地震動の時刻歴波形 (模型スケール)

(2) 入力地震動

実験設備は港湾空港技術研究所所有の三次元水中振動台を使用した。入力地震動は、プレート境界型地震動である1968年十勝沖地震時の八戸地表面波NS成分 (以降、八戸波と表記)、1978年宮城県沖地震時の大船渡地表面波E41S成分 (以降、大船渡波と表記) と、プレート内地震動 (直下型地震動) である1995年兵庫県南部地震時の神戸ポートアイランド地表面波NS成分 (以降、KP波と表記) を用いた。加振は、これらの波形を相似則に則して時間軸を圧縮し、加速度レベルを調整した波形を海陸方向の1方向入力とした。入力地震動の時刻歴波形を図-3に示す。また、実験時に振動台で計測した加速度波形を用いて算定したフーリエスペクトルを図-4に示す。

3. 実験結果

(1) 通常のクレーンに対する実験結果

a) クレーンの応答

表-3に各加振ケースにおける振動台加速度、SMAC最大加速度、クレーンガーダー部の最大応答加速度を示す。表中に示す「大船渡×1.0」は最大加速度を原波形の1.0倍としていることを表している (以降、文中でもこの表記を用いる)。クレーンの応答は、入力地震動の卓越周期に大きく依存し、クレー

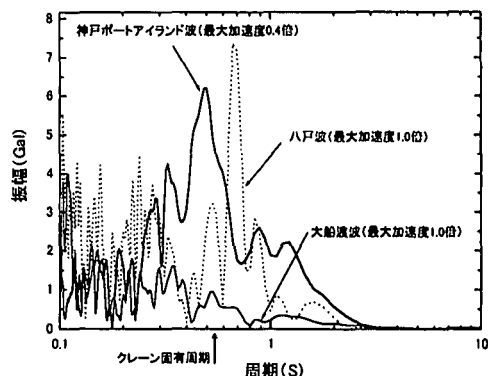


図-4 フーリエスペクトル (模型スケール)

表-3 振動台加速度とクレーン応答加速度

	振動台加速度 (Gal)	SMAC 最大加速度* (Gal)	クレーンガーダー部最大応答加速度 (Gal)
大船渡×1.0	453	245	187
大船渡×2.0	867	472	325
大船渡×3.0	1206	684	425
八戸波×1.0	475	315	321
八戸波×1.5	680	464	564
KP波×0.4	134	128	346
KP波×0.5	171	162	519

*) 港湾の設計で用いるSMAC型強震計の振動特性に合わせるためフィルターを掛けて処理した値

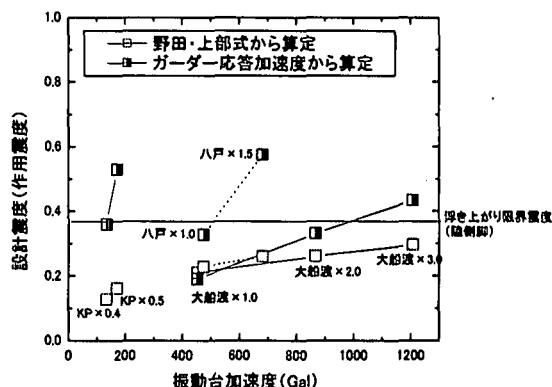


図-5 振動台加速度と作用震度

ンの固有周期と地震動の卓越周期が近いKP波と八戸波の応答が大きくなっている。八戸×1.5加振では車輪が完全に浮き上がり、KP×0.5加振では陸側脚が脱輪に至っている。

b) 輪荷重算定に用いる作用震度

地震時輪荷重は、クレーン構造規格によるとクレーン自重に作用震度を水平方向に掛けて算定することになっている。今回の加振ケースにおける振動台加速度と作用震度の関係を図-5に示す。作用震度は、振動台の加速度を用いて、岸壁の設計で用いる野田・上部式から求める従来の方法¹⁾と、比較検討のためクレーンの応答加速度から求める方法の二通り図示している。また図中に示す浮き上がり限界震度は、静的に荷重を作用させた場合に陸側脚が浮き上がる震度である。したがって、クレーンの応答加速

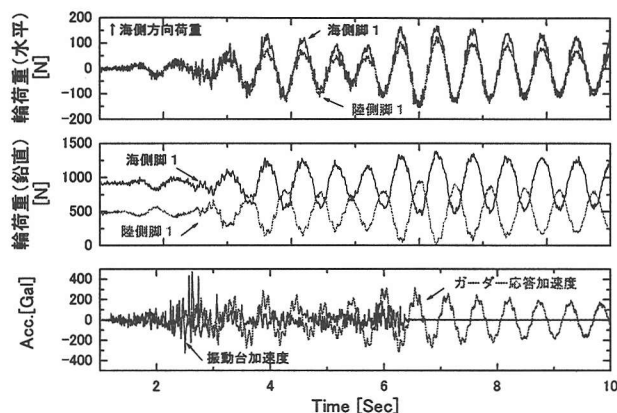


図-6 輪荷重の時刻歴波形（八戸×1.0加振）

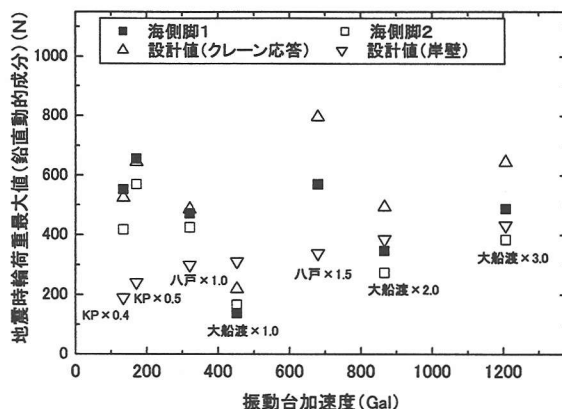


図-9 地震時輪荷重（動的鉛直成分，海側脚）

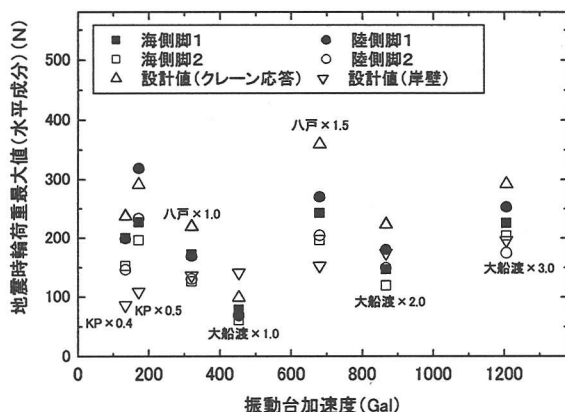


図-7 地震時輪荷重（水平成分）

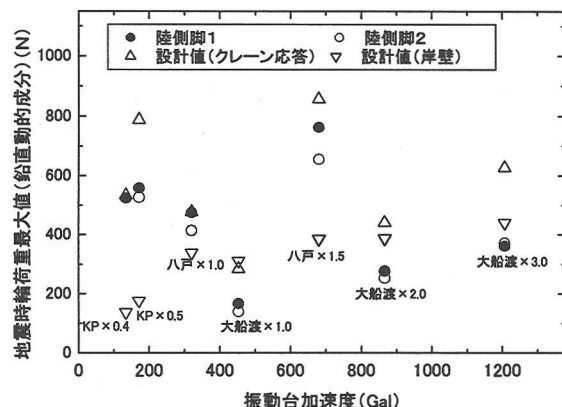


図-10 地震時輪荷重（動的鉛直成分，陸側脚）

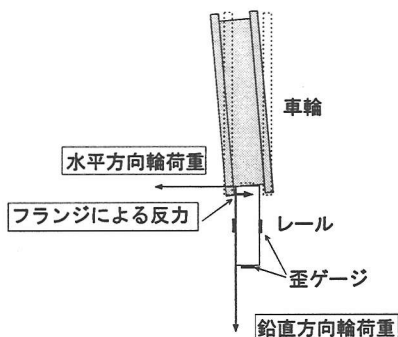


図-8 車輪が傾いたときの測定荷重

度から求めた震度が、限界震度をに近づくと、脚の浮き上がりの可能性が高くなる、なお、クレーンの応答加速度はガーダー部での加速度を用いている。

c) 地震時輪荷重データの整理方法

輪荷重は車輪8輪それぞれに対して、片持ち梁で製作したレールの歪みデータを、脚ごとの合計値で整理することにした。図-6は、輪荷重の時刻歴波形の一例である。車輪のレール上での滑りや浮き上がりで、衝撃的は値が生じるケースがあったため、今回は高周波成分（50Hz以上）をカットしている。実機に換算すると13Hz以下の成分となり、概ね静的な値として考慮すべきレベルとなっている。この時刻歴データから最大値を読みとった値について以降で考察する。

d) 地震時輪荷重（水平成分）

図-7に地震時輪荷重（水平成分）の海側方向最大値を示す。また、振動台加速度から岸壁の設計震度を算定して求めた輪荷重の設計値を▽印で、クレーンの応答加速度から求めた輪荷重を△印で示している。岸壁の設計震度から求めた設計値は、クレーンの応答の増幅が小さい大船渡波では、実験値とほぼ一致するが、増幅の大きな八戸波、KP波では過小評価となる危険性がある。一方、クレーン応答加速度から求めた設計値は、脱輪時の衝撃荷重の値を拾っているKP×0.5加振以外は、実験値を上回る値となっている。これは、実験値が図-8で示すように、車輪の傾きの影響でフランジ部分による反力が反対側に生じることが一つの要因である。また、車輪とレール面での滑りも影響しているものと思われる。

e) 地震時輪荷重（鉛直成分）

地震時輪荷重の鉛直成分（動的成分のみ）を海側脚、陸側脚に分けて図-9、図-10に示す。また、図-7と同様に設計値も合わせて示している（図中で示す設計値は、海側脚では海側への加速度の最大値、陸側脚では陸側への加速度の最大値を用いて算定）。地震時輪荷重の鉛直成分も水平成分と同様に、実験値はクレーンの応答から求めた設計値よりも小さな値を示している。岸壁の設計震度から求めた設計値は、クレーンの応答加速度の増幅度合いが小さな大船渡加振では実験値を上回るものの、それ以外の加振では過小評価になってしまう。

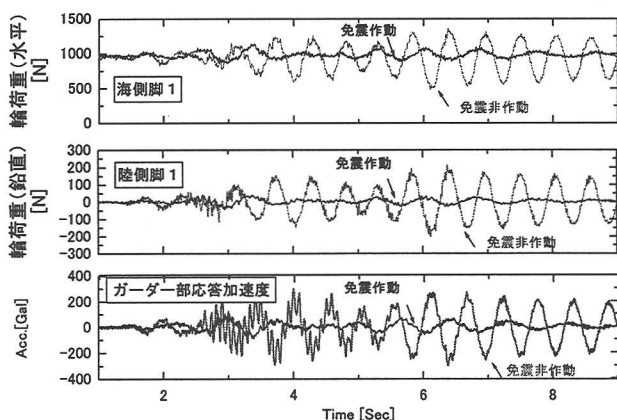


図-11 時刻歴波形

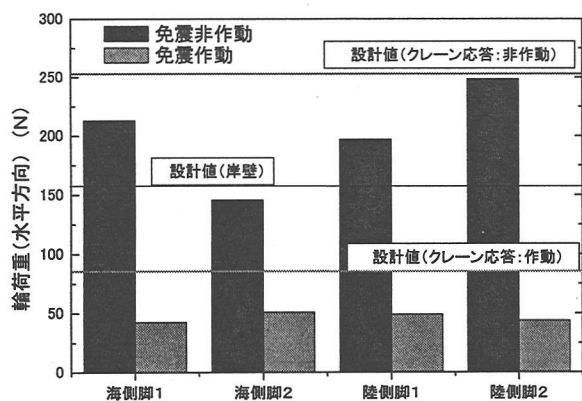


図-12 地震時輪荷重 (水平成分)

(2) 免震機構付きクレーンに対する実験結果

今回の実験対象とした免震機構付きクレーンは、脚下部と走行装置（車輪部）の間に、水平バネ要素とダンパー要素で構成される免震機構を取り付けた構造である。この機構によって、クレーンの固有周期の長周期化が図れ、地震動の卓越周期帯から離すことで地震時応答を抑え、脱輪やクレーン部材の損傷を防ぐことができる。実験モデルの免震機構非作動時は、固有周期が0.54秒であるのに対して、免震機構を作動させることで0.97秒まで長周期化している。

図-11は、八戸×1.0加振における免震機構を非作動時と作動時のクレーンガーダー部の応答加速度と、地震時輪荷重の時刻歴波形である。免震機構を作動させることで、クレーンの応答加速度が小さくなり、輪荷重が水平成分、鉛直成分の両方とも大きく低減されることがわかる。それぞれの脚の輪荷重最大値を水平成分は図-12に、鉛直成分は自重と動的成分に分けて図-13に示す。また、図中にクレーン応答加速度から求めた設計値と、岸壁の設計震度から求めた設計値を示している。設計値と実験値の関係は、免震機構の作動、非作動にかかわらず(1)で検討した結果と同様の傾向を示し、クレーンの応答加速度から求めた設計値で安全側評価が可能となっている。また、免震機構を作動させた場合にはクレーンの応答加速度が小さくなるため、岸壁の設計震度が

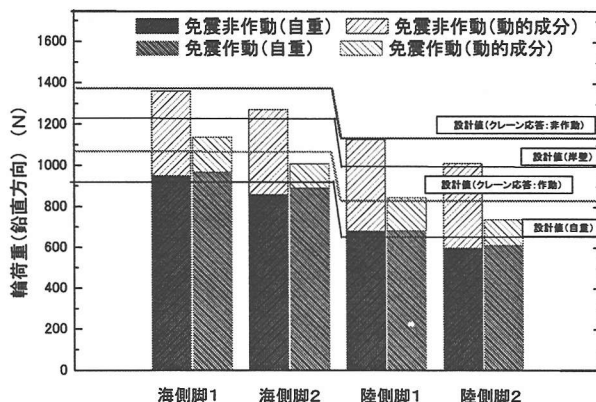


図-13 地震時輪荷重 (鉛直成分)

ら求めた設計値よりもクレーンの応答から求めた設計値の方が小さな値となり、クレーン基礎の設計の面でも有利に働くものと考えられる。

4. まとめ

1/15 縮尺模型による振動実験でコンテナクレーンの地震時輪荷重に対する基礎的な検討を行った。今回の実験から得られた知見を以下に示す。

- 1) 地震時輪荷重は、水平成分、鉛直成分の両方ともクレーンの応答加速度から算定すると安全側となる。
- 2) 免震機構付きクレーンでは、地震時輪荷重の水平成分、鉛直成分の両方とも大きく低減される。
- 4) 免震機構付きクレーンも通常のクレーンと同様にクレーンの応答加速度から輪荷重を算定すると安全側となる。

今後は、輪荷重のばらつきの問題や、動的な荷重取り扱いについて検討を進めていく予定である。なお、本研究は運輸省（当時）港湾技術研究所とNK Kの平成12年度共同研究「耐震コンテナクレーンと耐震強化岸壁（栈橋式）の地震時相互作用に関する共同研究」の中で実施したことをここに記す。

謝辞：本研究を進めるにあたっては、科学技術振興財団重点研究支援協力員の田中剛氏、海老原健介氏に多大な協力を得ている。ここに感謝の意を表する。

参考文献

- 1) (社) 港湾荷役化協会：コンテナクレーン耐震設計のための手引き，1999。
- 2) 江頭隆善ほか：大規模地震時におけるコンテナクレーンの脚の浮き上がりに関する模型実験，港湾技術研究所報告，第38巻第2号，pp. 475-492，1999。

(2001. 5. 25 受付)