

外 22-4

早稲田大学大学院理工学研究科

博 士 論 文 概 要

論 文 題 目

栈橋式岸壁上のコンテナクレーンの
地震時の動的応答特性に関する研究

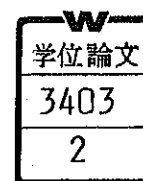
A Study on Response Properties of Container
Cranes on Pier Type Wharf during Earthquakes

申 請 者

山 本 俊 介

Yamamoto Shunsuke

2002 年 4 月



微動観測を実施しその結果について考察している。さらに、3次元のFEM固有値解析結果との比較を行い、コンテナクレーンの主要なモードと、刺激係数から地震時に顕著に応答すると思われるモードを検討し、以降の振動実験および解析に対するモデルデータの取得を行っている。

第3章では、栈橋式岸壁上のコンテナクレーンの動的応答特性を把握するための1/15模型振動実験について、静的および動の実験の概要、模型作製に適用した相似則の考え方、模型の諸元および使用した計測機器、振動実験に使用する三次元水中振動台の諸元および加振能力、さらに実験に使用する入力地震動とその特性について、記述している。

第4章では、模型振動実験に使用する栈橋模型およびコンテナクレーン模型の特性値を示している。そのために、模型の自由振動試験の方法と試験結果について記述し、3章で示した適用相似則を満足しているか検討している。自由振動試験から得られた模型の固有振動数および減衰定数を算出し示している。また、コンテナクレーンモデルについては、クレーン脚の浮き上がり特性（脱輪現象）を、3章で示した静的計算方法と静的脚浮き上がり実験の結果との比較検討から、コンテナクレーン模型の脚浮き上がり限界荷重を把握した。

第5章では、振動台を使用した大規模加振実験について、栈橋単体実験、クレーン単体実験ならびに栈橋・クレーン連成実験により得られた栈橋上部工の応答加速度、応答変位、杭頭曲げモーメント、クレーン重心位置の応答加速度、脚の曲げモーメントの結果について、考察している。また、各単体実験結果と連成実験結果の比較を行い、栈橋とコンテナクレーンの地震時動的相互作用の影響を実験結果より検討している。

第6章では、栈橋とコンテナクレーンの地震時応答をシミュレートする目的から、二種類の動的応答解析を提案し、各解析について概要と方法を解説している。一つは、栈橋およびクレーンの応答を質点とバネによるモデルで検討する簡易モデル計算である。もう一方は、クレーン脚の浮き上がり現象を表現することが可能である三次元FEMモデルを使用した過渡応答解析についてである。各シミュレーション方法とモデルの作成について記述している。

第7章では、5章で行った加振実験結果と6章で示したシミュレーション結果との比較検討を行い、各シミュレーションの妥当性を検証している。その結果、簡易モデル計算では、動的相互作用を考慮した設計に対して概略の応答の把握という位置づけで一次検討に使用すること、三次元FEM解析はクレーンの脱輪現象を模擬できることから、動的相互作用を考慮した設計等に対して二次検討に使用することを提案している。

第8章では、前章まで検討してきた栈橋とクレーンの動的相互作用の影響やクレーンの脱輪現象、さらに本章で実験より地震時にクレーンが基礎（クレーンレール）に与える荷重の影響を把握した上で、コンテナクレーンの免震化を提案し、免震コ

ンテナクレーン模型を作製し、実験を行っている。さらに、実験結果から免震の効果は大きく、クレーンのみならず基礎に与える影響を軽減するものであることがわかり、地震時のコンテナ施設全体の耐震性に有効であるものと結論づけている。

第9章では、栈橋式岸壁とコンテナクレーンの地震時相互作用ならびにコンテナクレーンの脱輪現象について、各実験結果と簡易モデル計算および詳細モデル計算との比較から得られた結果を踏まえ、設計実務に対する検討方法の提案を行い、フローにより設計プロセスを示している。

第10章では、2章で記述した栈橋式岸壁上のコンテナクレーンの常時微動観測より得られた結論、5章で検討した模型振動実験により得られた結論、7章で記述した動的解析および動的解析と模型振動実験結果の比較より得られた結論ならびに8章で示した免震実験により得られた免震の効果に対する結論についてまとめ、本研究で得られた成果を統括している。

本研究で得られた主な知見として、岸壁とクレーンの動的相互作用を検討する上で重要な固有周期を実機を用いた計測により明らかにし、設計実務等に対する検討資料を提示した。また、大規模加振実験により、栈橋とコンテナクレーンの地震時動的相互作用の影響およびコンテナクレーンの地震時における特徴的な挙動である脚の浮き上がり現象を把握した。一方、動的相互作用およびクレーン脚浮き上がり現象に対して、二種類のシミュレーション方法（簡便法、詳細法）を提案し、実験結果との比較よりその適応性を示し、設計実務に対する検討手法を得ることが出来た。さらに、コンテナクレーンの地震応答の軽減および脚の浮き上がりの防止を目的として、免震式コンテナクレーンを提案した。地震波を用いた加振実験では、コンテナクレーン脚の断面力の軽減、応答加速度の軽減および脱輪現象の回避を確認することができた。特にレベル2地震動にする相当する入力加速度以上に対してもその効果は大きく、クレーン脚に発生する断面力を通常のクレーン（免震機構を持たないクレーン）に対して最大で50%の軽減を行うことが可能であり、脱輪現象については、脚の浮き上がりが発生する応答加速度レベルまでに達しないことが確認できた。さらに、クレーンによる基礎の地震時反力を定量的に把握し、実験より免震式クレーンが基礎の反力の軽減に対しても有効であることを確認し、クレーンの免震化が荷役施設全体の耐震性向上に寄与するものと結論づけた。最後に、本研究により得られた知見より、設計実務に対する栈橋式岸壁とコンテナクレーンの地震時動的相互作用およびクレーン脱輪現象を考慮し、その対応策を含めた設計検討手法（設計フロー）を提案し提示した。尚、本設計手法を用いた荷役岸壁および免震式コンテナクレーンが設計実務で採用され、近年、新しいコンテナ岸壁が供用され実用化に至った。本研究で得られた知見により、新しい荷役埠頭の耐震設計法が確立され、耐震性向上に寄与することが出来たものと考えられる。

ンテナクレーン模型を作製し、実験を行っている。さらに、実験結果から免震の効果は大きく、クレーンのみならず基礎に与える影響を軽減するものであることがわかり、地震時のコンテナ施設全体の耐震性に有効であるものと結論づけている。

第9章では、栈橋式岸壁とコンテナクレーンの地震時相互作用ならびにコンテナクレーンの脱輪現象について、各実験結果と簡易モデル計算および詳細モデル計算との比較から得られた結果を踏まえ、設計実務に対する検討方法の提案を行い、フローにより設計プロセスを示している。

第10章では、2章で記述した栈橋式岸壁上のコンテナクレーンの常時微動観測より得られた結論、5章で検討した模型振動実験により得られた結論、7章で記述した動的解析および動的解析と模型振動実験結果の比較より得られた結論ならびに8章で示した免震実験により得られた免震の効果に対する結論についてまとめ、本研究で得られた成果を統括している。

本研究で得られた主な知見として、岸壁とクレーンの動的相互作用を検討する上で重要な固有周期を実機を用いた計測により明らかにし、設計実務等に対する検討資料を掲示した。また、大規模加振実験により、栈橋とコンテナクレーンの地震時動的相互作用の影響およびコンテナクレーンの地震時における特徴的な挙動である脚の浮き上がり現象を把握した。一方、動的相互作用およびクレーン脚浮き上がり現象に対して、二種類のシミュレーション方法（簡便法、詳細法）を提案し、実験結果との比較よりその適応性を示し、設計実務に対する検討手法を得ることが出来た。さらに、コンテナクレーンの地震応答の軽減および脚の浮き上がりの防止を目的として、免震式コンテナクレーンを提案した。地震波を用いた加振実験では、コンテナクレーン脚の断面力の軽減、応答加速度の軽減および脱輪現象の回避を確認することができた。特にレベル2地震動にする相当する入力加速度以上に対しては、その効果は大きく、クレーン脚に発生する断面力を通常のクレーン（免震機構を持たないクレーン）に対して最大で50%の軽減を行うことが可能であり、脱輪現象については、脚の浮き上がりが発生する応答加速度レベルまでに達しないことが確認できた。さらに、クレーンによる基礎の地震時反力を定量的に把握し、実験より免震式クレーンが基礎の反力の軽減に対しても有効であることを確認し、クレーンの免震化が荷役施設全体の耐震性向上に寄与するものと結論づけた。最後に、本研究により得られた知見より、設計実務に対する栈橋式岸壁とコンテナクレーンの地震時動的相互作用およびクレーン脱輪現象を考慮し、その対応策を含めた設計検討手法（設計フロー）を提案し提示した。尚、本設計手法を用いた荷役岸壁および免震式コンテナクレーンが設計実務で採用され、近年、新しいコンテナ岸壁が供用され実用化に至った。本研究で得られた知見により、新しい荷役埠頭の耐震設計法が確立され、耐震性向上に寄与することが出来たものとする。