

第7章 結 論

現在のコンテナクレーンの設計では、ほとんどの場合に風荷重によってその諸元が決定されるため、従来耐震設計はあまり重要視されてこなかった。しかし、平成7年兵庫県南部地震では、神戸港の港湾構造物及び荷役機械は大きな被害を受け、国際物流や我が国の国民生活に重大な影響を及ぼした。その後この被災の教訓から、大規模地震直後においてもこのような影響を及ぼすことの無いよう、中枢国際港湾等のコンテナターミナルにおいては、レベル2地震動を設計対象地震動とした耐震強化岸壁の整備や、エプロンの液状化対策を行うなど、その耐震強化を行うこととなった。また、耐震強化岸壁については、そのための変形の照査や動的解析等が設計に導入された。このような港湾構造物の設計法の変更に対して、コンテナターミナル全体のシステムとしての耐震性を確保しようとする、コンテナクレーンの設計においても同等の耐震性を確保する必要があり、レベル2地震動を設計対象地震動とし、クレーンの動的特性を考慮した設計法の開発が必要となってきた。しかし、兵庫県南部地震では、激しい地震動によると考えられるコンテナクレーンの脚の浮き上がりが観測されており、クレーンの設計においてレベル2地震動を設計対象地震動とする場合には、これまで設計上想定していなかったこのような脚の浮き上がりという極めて非線形性の強い特殊な挙動の取り扱いが大きな課題となってきた。

本研究は、上記の観点から脚の浮き上がりを考慮したコンテナクレーンの新しい耐震設計法を検討することを目的としたものであり、またその設計法は経済的にも実務上も十分設計の現場に適用可能であるべきであるという考え方に基づいている。すなわち、脚の浮き上がり現象はコンテナクレーンの全体系に過大な加速度が発生することにより生起される現象であると捉え、クレーンの重心位置の応答加速度を一つの指標として考えることにより、何らかの簡易的な手法で脚の浮き上がりを判定しようと試みた。また、従来から用いられている FEM の汎用

解析手法について、脚の浮き上がりを伴う挙動の詳細な検討への適用性について検討した。この適用性の検討結果から、簡易手法と FEM 解析を組み合わせた実用的な設計手法を提案しようと試みた。また、脚の浮き上がりの発生以後の詳細な挙動については、依然未解明の部分もあることから、脚の浮き上がりを抑制するための免震コンテナクレーンの効果についても検討を行っている。これらは全て模型実験の結果を中心に分析を行った。

模型実験におけるモデル化や解析モデルの検討に当たっては様々な簡略化や仮定を置きつつ検討を行っており、その後の理論展開やその結果には当然ながら適用の限界があるが、本研究で示した「コンテナクレーンの脚の浮き上がりはクレーン重心位置の応答加速度を指標として評価することができる」という基本的な概念や、簡易モデルと FEM を組み合わせた実用的な耐震設計法の開発への取り組みは、より合理的なコンテナクレーンの設計法を確立するための一つの方向を示すことができたと考える。

本研究で得られた主な成果を列挙すれば、以下のようになる。

- 1) 地震時にコンテナクレーンの脚の浮き上がりが生じることを模型実験で確認した。また、脚の浮き上がりは、これまで指摘されてきた PI 波以外の正弦波、八戸波でも観測され、一定の条件下で地震波によらず発生することを確認した。
- 2) 脚の浮き上がり時の主要な部材のモーメント、軸力等を計測し、これらの値はクレーン重心位置の応答加速度と一定の関係がある。
- 3) 脚の浮き上がりは、クレーン重心位置の応答加速度を指標として評価することができる。
- 4) 脚の浮き上がりが生じるか否かは、クレーン全体系の静的なモーメントの安定から得られる条件により判定できる。
- 5) 脚の浮き上がりまでの振動性状は脚の曲げ変形が支配的であり、今回のクレーンの場合、クレーンが全体として横行方向に振動する 2 次の振動モードによっ

て脚の浮き上がりが発生する。

6) 2次モード以外のやや高周波成分の影響により、脚の浮き上がり時の応答加速度のレベルは異なる。

7) 1質点系モデルによる簡易解析によって、脚の浮き上がりまでの重心位置の応答加速度等クレーン全体系の挙動を概略評価することができる。

8) 適切なパラメーターを用いて、FEMによる非線形過渡応答解析により、脚の浮き上がりを含む地震時のクレーンの挙動を評価することができる。

9) 1質点系モデルとFEM解析を用いて、経済的にも実用的にも適用が可能な耐震設計法を提案した。

10) 脚に免震機構を有する免震コンテナクレーンは、脚の浮き上がり対策として有効である。

以上、本研究で得られた主な成果を列挙したが、さらに検討すべき課題が残されており、これについて以下に述べ、本論文の締めくくりとする。

1) 本研究では係留施設の耐震設計との整合性から、入力地震動を横行1方向で検討したが、3次元入力の場合の詳細な検討を行う必要がある。

2) 今回の模型実験では、材料の制約から減衰定数を再現できていない。これはクレーンの応答に関しては安全側の結果を与えるが、より経済的な設計のためには、現実のクレーンの減衰定数のデータを蓄積し、この減衰定数の影響についても検討する必要がある。

3) 今回は人命上の問題もあり、最優先でクレーンの荷役時の状態（ブームダウン時）の検討を行ったが、休止時（ブームアップ時）の検討も次の課題として必要である。また、吊り荷としてのコンテナはモデル化しておらず、トロリー等細部にわたるモデル化を行い、より精密な検討が望まれる。

4) 脚の浮き上がりによって、クレーンの挙動も大きく異なることから、クレー

ンが基礎に与える反力も従来とは異なるものと考えられ、係留施設の設計上基礎に与える反力の評価が必要である。

5) 栈橋等係留施設との動的相互作用の検討が必要である。