

# 杭基礎で支持された自立型タワークレーンの動的遠心実験

平野秀司<sup>1</sup>・荒井郁岳<sup>2</sup>・伊藤和也<sup>3</sup>・玉手聡<sup>4</sup>・片田敏行<sup>5</sup>・末政直晃<sup>6</sup>

<sup>1</sup>武蔵工業大学大学院 工学研究科都市基盤工学専攻 修士課程  
(〒158-8556東京都世田谷区玉堤1-28-1)

E-mail: g0265014@eng.musashi-tech.ac.jp

<sup>2</sup>武蔵工業大学工学部土木工学科(同上)

E-mail: g0017007@sc.mushi-tech.ac.jp

<sup>3</sup>独立行政法人産業安全研究所 建設安全研究グループ 研究員  
(〒204-0024東京都清瀬市梅園1-4-6)

E-mail: k-ito@anken.go.jp

<sup>4</sup>独立行政法人産業安全研究所 建設安全研究グループ 主任研究官(同上)

E-mail: tamate@anken.go.jp

<sup>5</sup>武蔵工業大学 工学部都市基盤工学科 教授(〒158-8556東京都世田谷区玉堤1-28-1)

E-mail: tkatada@sc.musashi-tech.ac.jp

<sup>6</sup>武蔵工業大学 工学部都市基盤工学科 助教授(同上)

E-mail: nsuemasa@sc.musashi-tech.ac.jp

構造物の施工に際し、杭基礎で支持される自立型タワークレーンが多く用いられる。クレーンの上部工に関する設計基準は定められているが、それを支持する杭基礎部に関する設計指針は存在せず、施工業者の判断に基づき設計されている。しかしながら施工不良によりクレーンが転倒し、周囲に被害を及ぼした事例が報告されており、杭基礎に関する何らかの指針が必要であると考えられる。本研究では自立型タワークレーンの安定性について遠心模型実験装置を用いて検討した。本報ではタワークレーン模型の遠心場における加振実験から、地震時の動的安定性および杭基礎～地盤の相互作用による振動特性の変化等を検討した。その結果、地盤の軟化により応答特性が変化し、一体系での検討が必要であることが分かった。

**Key Words** : Tower crane, Clay ground, Pile foundation structure, Earthquake, Construction disaster

## 1.はじめに

構造物の耐震性には、その基礎地盤の影響が大きいことは、良く知られている。耐震設計に必要な耐震解析についても、構造物～基礎～地盤の相互作用について十分な検討を行う必要がある。一般に建設工事中に使用される仮設構造物の耐震性は、その設置期間の短さ、建設費全体に対するコスト面の制限等から永久構造物のそれと比べると小さい傾向がある。しかしながら、仮設構造物であるタワークレーンが地震により被災した場合、被害は建設現場だけでなく、周辺住宅や通行人を巻き込む惨事となる可能性が大きい。例えば、1999年に発生した台湾の集集地震では建設中の高層ビル頂上に設置してあったクライミング型ジブクレーンがジブ部分から破損し高さ

260mから地上に落下した。その結果5人が死亡した。

近年、建物内部にタワークレーンを設置することができない場合、建物の外部に杭基礎にて支持されたタワークレーンを設置するケースが多くなっている。しかしながら、クレーンの構造規格では自立型タワークレーンの杭基礎に関して設計基準は制定されておらず、施工業者ごとに独自に設計されている。このような現状において、杭基礎の施工不良による支持力不足により自立型タワークレーンが転倒し、周辺地域に被害を及ぼした事例も報告されており、杭基礎の設計指針を提案することは必要であると考えられる。一般に地震時における上部構造物の振動特性は、下部構造物である地盤や基礎の振動特性の影響も大きく受ける。特に地盤は地震動によって、容易にその剛性や強度が低下するため、構造物全体の振

動特性の評価をより複雑なものにしている。またクレーン構造規格では地震による水平荷重は鉛直荷重の20%を見積もることが定められている<sup>1)</sup>が、大規模な地震の発生で水平震度が基準を上回ることが予想される。特にクレーンは長尺な構造物であるため共振時には変位が過大なものとなり、破壊に至る恐れがある。

そこで本研究では、自立式タワークレーンの基礎部の挙動を明らかにすることを目的とし、遠心模型実験装置を用いて、タワークレーン模型の振動実験を行い、地震時における安定性を検討した。

## 2. 実験概要

### (1) 遠心模型実験装置

実験は独立行政法人産業安全研究所所有のNIIS Centrifugeを用いて行った。遠心模型実験装置の主要諸元を表-1に示す。

### (2) クレーンモデルの選定

モデル化の際に対象としたクレーンは、“トンボ型クレーン”と呼ばれるタワー上部に付いたジブが水平に360°回転し、揚重を行うクレーンであり、欧米圏では多く用いられているものである。なお、日本で多く用いられている起伏型タワークレーンはモデル化が複雑であるため<sup>2)</sup>、今回は対象としなかった。本試験では遠心加速度50G場における遠心場での動

表-1 遠心模型実験装置諸元

項目	内容	
最大遠心加速度(G)	200	
最大積載荷重(kgf)	500	
回転半径(m)	最大外径	2.68
	載荷面	2.31
	容器中心	2.00
最大回転数(r.p.m.)	中心軸	300
	駆動軸	1750
スリップリング	計測用	80極
	動力用	100V 2極

表-2 タワークレーン模型諸元

	実物(m)	模型(cm)
クレーン高	30	60
ジブ長	30	60
地盤層厚	12	24
杭径	0.75	1.5
杭長	13.5	27

表-3 藤ノ森粘土の物性

項目		
土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.743	
液性限界 $w_L$ (%)	62.7	
塑性限界 $w_p$ (%)	27.8	
塑性指数 $I_p$	34.9	

的な相似則に基づき、表-2に示すようにモデルの設計を行った。ただし、モデル化したタワークレーンは実験システムの都合により、自立高30m、ジブ長30mとモデル対象の実機よりも若干小さい。模型は全てアルミニウム製であり、タワー部やジブ部は角状である。

### (3) 実験方法

全ての実験は遠心加速度場50Gにて行った。実験に用いた模型容器は内寸150mm、高さ272mm、奥行き450mmの鋼製容器である。試料は表-3に示すような物性値を有する藤ノ森粘土を初期含水比を80%に調整し十分攪拌・脱気した後、容器に所定量投入し圧密応力100kPaにて圧密し、層厚24cm（実地盤換算12m）の模型粘土地盤を作製した。なお模型地盤は遠心場においては過圧密状態となる。圧密終了後、オーガーを用いて所定の位置を削孔し、模型地盤に模型杭を挿入した。ここで、模型杭先端部は容器下部に設置した固定板と接続することで模型杭の固定条件をピン支点とした。その後、模型クレーンを設置し、遠心回転中に発生する風の影響を防止するために風防を設置した状態で遠心力場加振実験を行った。実験装置の概略図を図-1に示す。なお、計測項目は、杭・クレーン部のひずみゲージから曲げモーメント・軸力を、地盤内およびクレーン部の加速度計から応答加速度を、レーザー変位計により地表面沈下量および基礎の水平変位をそれぞれ計測した。さらに、CCDカメラから地表面部の杭と地盤の状態についても観察している。このうち、本論では特に発生した応答加速度に着目して報告する。

なお、以下の結果については全て実地盤換算で記述する。

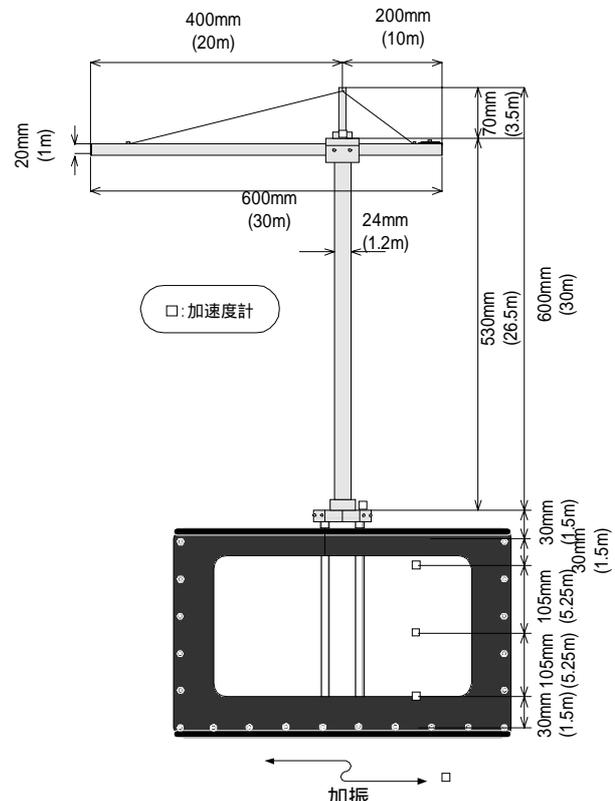


図-1 模型実験装置

### 3. 実験結果

#### (1) 共振点の選定(微小加振実験)

まず、地盤～杭基礎～上部構造物系（以下、全体系と呼ぶ）の固有振動数を把握することを目的として、0.5Hzから4Hzまで周波数を0.1Hzごとに变化させた微小加振実験を行った。ここで、入力加速度は地盤の劣化や、隙間の発生を極力抑えるため、50gal程度の微小加振とした。図-2に得られた結果を示す。結果よりタワー上部の応答は1.6Hzで最大となることから、全体系の1次固有振動数は1.6Hzであると判断した。

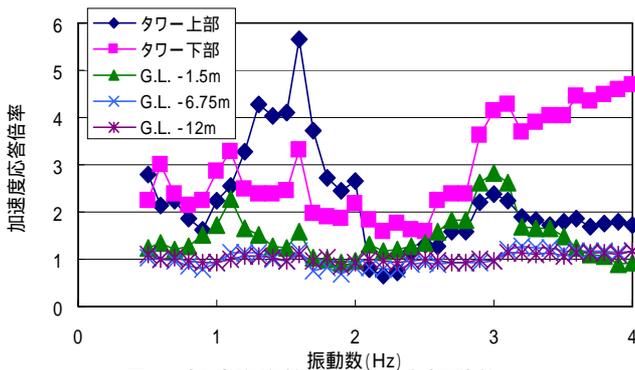


図-2 加速度応答倍率と入力振動数

#### (2) 大加振実験

先に行った微小加振実験から判断された全体系の共振周波数をターゲットとして加振実験を行った。入力波は図-3に示すような3段階の正弦波(12波)であり、入力加速度が100gal,200gal,400galと第1波群の2倍,4倍となるものを入力した。このような波形を入力することにより、入力加速度の違いや履歴によって地盤の劣化、クレーン部の応答特性の変化、そして地盤と構造物との相互作用の特性等の基本的な情報が得られるものと考えた。なお、タワークレーンの自由振動での挙動を把握するため各波群の間隔は6波分とした。

図-4は各波群における全体系の応答を示したものである。横軸に入力加速度、縦軸に各計測点での応答加速度をとり、入力加速度に対する位相ずれや応答の大きさを示している。なお入力加速度に対する位相差は履歴の傾きから判断する。以下に各波群ごとの詳細について記述する。

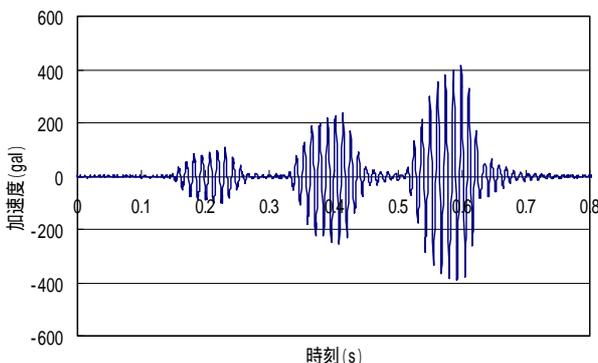


図-3 入力加速度時刻歴

#### a) 第1波群

地盤部分に関して、履歴は正の直線関係にあることから、位相のずれは地盤深度が深いほど小さいことが分かる。また、地盤上部とフーチング部では応答加速度の大きさ、位相ずれの発生状況がほぼ同じであり、杭基礎と地盤が一体となって振動していることが分かる。一方、タワー上部では応答が加振初期の状態から、フーチング部と逆位相となり応答が増幅した。これはタワー部が1次モードで振動しことが考えられる。

#### b) 第2波群

地盤部分に関して、地盤下部では第1波群と同様に線形的な応答を示した。しかし、地盤上部では加振の進行に伴い位相差が大きくなり、応答が減衰した。それに対しフーチング部での位相差は一定であり、応答は減少していない。この様に地盤上部とフーチング部が異なる挙動を示していることから、地盤と杭に相対変位が生じ杭が地盤を押し上げたことが考えられる。実際、CCDカメラから捉えた杭基礎周りの映像では杭と地盤の間に隙間が発生している様子を捉えている。タワー部では位相差は増加するものの、応答は減衰していない。

#### c) 第3波群

地盤上部の履歴曲線では突出部が2ヶ所（図中、部）生じた。は基盤からの応答、はフーチング部の応答に対応するものである。このことから、の応答は杭が地盤を押し込んだ際に発生したものと考えられる。また地盤上部で入力に対する応答が減衰している。これは入力波とフーチング部の挙動に影響を受けたもので、波形のピークが一波に付き2ヶ所と、加振の進行に伴い発生したため、振動が減少したものと考えられる。一方、タワー上部の応答はフーチング部の応答より減少した。その要因としては全体系の応答特性が変化し固有振動数が低下したことが考えられる。

### 4. まとめ

本論では自立型タワークレーンの基礎部の挙動を明らかにすることを目的とし、加振実験を行った。その結果、加振に伴い全体系の応答特性が変化した。

第1波群,2波群ではフーチング部に対し、タワー上部の応答には減衰が見られない。一方、第3波群においては応答が減衰した。この要因としては繰り返しの载荷によって地盤剛性が低下し、全体系としての固有振動数が変化したこと、隙間の発生により地盤反力が減少し、全体系としての剛性が低下したこと等が考えられる。また地盤上部における応答は波群ごとにそれぞれ異なる傾向を示した。これは地盤強度の劣化や入力加速度の強弱に起因するものであると考えられる。そのため自立型タワークレーンの応答はタワー部のみで考えるのではなく、杭周の地盤性状の変化を考慮し、タワー部と杭基礎部の一体系構造物として検討する必要があると考えられる。

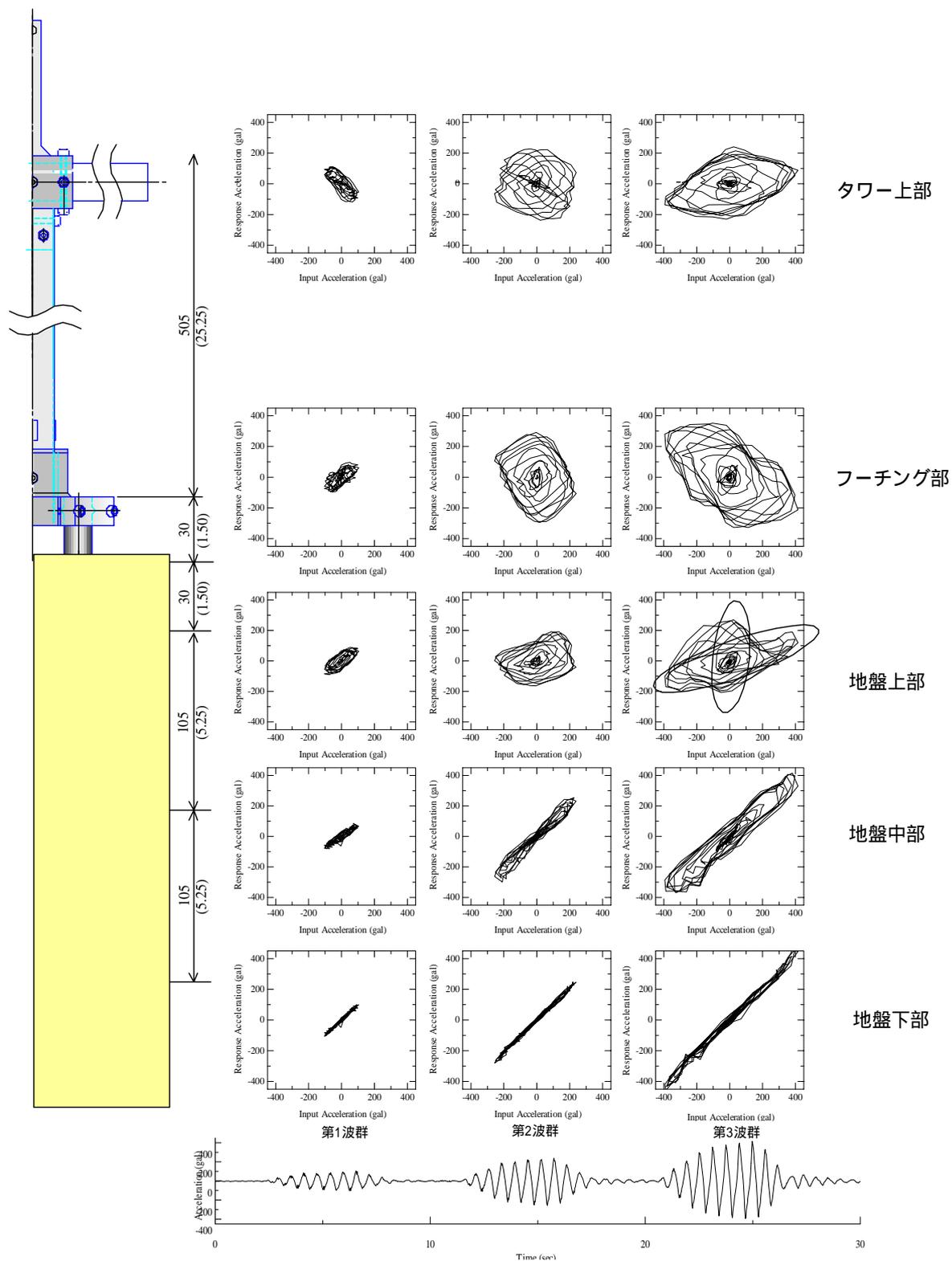


図-4 各入力波群と各計測地点における入力加速度と応答加速度

なお、本研究は、武蔵工業大学と独立行政法人産業安全研究所による共同研究「杭基礎で支持されたタワークレーンの地盤工学的不安定性に関する研究」の成果の一部をまとめたものである。

- 1) クレーン構造規格 労働省告示 第三百三十四号 構造規格第一章 第四節 第十二条
- 2) 高梨成次, 前田豊：建築用クレーンの耐震性に関する研究, 産業安全研究所研究報告 pp21-28 (2001)

参考文献

(2003.10.10 受付)