

# サイクルパスモデルによる Super Panamax 型 コンテナクレーンの荷役時間分析

Analysis on Handling Time of Super Panamax Size Container Crane  
by Cycle Path Model

鈴木武<sup>1</sup>

Takeshi SUZUKI

<sup>1</sup>正会員 博士(工学) 国土技術政策総合研究所(横須賀) 沿岸海洋研究部  
(〒239-0826 横須賀市長瀬 3-1-1)

The organizations connected with ocean container freight make own all efforts to enhance their service competences. In this trend, ship's enlarging is one of major measures. Upsized ships require improving port facilities, which contain enlargement and speed-up of quayside container cranes.

In order to seek appropriate measures, I measured motions of the Post Panamax size container crane in the Port of Shimizu. Based on the observation data, I formulated a numerical model on the motions and the cycle times of container crane, and verified that calculated cycle times by the numerical model conformed measured one. We made the sensitivity analysis on the performance indices of the crane and on the pose times in the container handling to the cycle time.

*Key Words:* container crane, motion of crane, cargo handling, cycle path, Post Panamax

## 1. はじめに

国際コンテナ輸送に関与する各主体は、競争力の強化に全力を挙げている(井上, 2002)。こうした流れの一つにコンテナ船の大型化がある。現在日本に就航しているコンテナ船の最大船型は積載能力 6,000TEU 級の Post Panamax 型(以下、「PP 型」という。)であるが、近い将来これを大きく超える Super (Post) Panamax 型(以下、「SP 型」という。)船舶の就航が予想されている。船舶の大型化は、様々な面から港湾の能力の向上を求める。求められる事柄の一つにコンテナクレーンの大型化と荷役速度の向上がある。この要請に的確に答えていくためには、まずクレーンの荷役実態を正しく把握し、そのデータをもとに船型が大型化した場合の状態を予測し、課題を正しく把握することが必要である。そのためのツールの一つとして、コンテナクレーンの荷役動作シミュレーションがある。

コンテナクレーンの荷役動作の実測は、パナマックス型クレーンを対象にした研究はある(中島ら, 1993)ものの、PP 型コンテナクレーンを対象にした研究はない。このため、まず PP 型コンテナクレー

ンの荷役動作を実測し、実態を把握することが必要である。

コンテナクレーンの荷役能力の予測には、荷役サイクルパスモデルがこれまで多く用いられてきた(門前ら, 2001)。それらモデルは、ほとんどの場合、直角軌道を仮定しているため、理論上サイクルタイムは大きめに算出されてしまう。このため、何らかの補正が必要であるが、確立された修正方法は存在しない。荷役サイクルパスモデルを修正する適切な方法が必要である。

こうした状況のもと、本研究では、清水港袖師埠頭の PP 型コンテナクレーンの荷役動作の実測を行い、それら実測値をもとにより実態に近い軌道を持つ荷役サイクルパスモデルを作成し、その適用度の確認を行った。そして、作成したモデルを用いて SP 型コンテナクレーンの荷役時間を予測するとともに、PP 型コンテナクレーンで運動性能および運転条件が変化した場合のサイクルタイムの変化の感度を計算した。

## 2. コンテナクレーンの荷役実態

### 2.1 計測の対象と方法

清水港袖師第一埠頭コンテナターミナルには 5 基のコンテナクレーンがあり、そのうち 2 基がパナマックス型で、3 基が PP 型である。この 3 基の PP 型コンテナクレーンの中で、最新の 5 号機（平成 10 年設置）を対象に調査を行った。対象クレーンの主な諸元は表-1 のとおりである。

表- 1 コンテナクレーンの諸元

設置年月	1998.12
吊上荷重(t)	45.0
定格荷重(t)	30.5
アウトリーチ(m)	40.8
全揚程(m)	50.0
レール面上揚程(m)	35.0
レールスパン(m)	16.0
巻速度(m/min)	60/130
横行速度(m/min)	180
走行速度(m/min)	45

注) 巻速度は、左が定格荷重時で、右が無負荷時である。

荷役効率は船舶の大きさによって異なるため、対象コンテナクレーンの設計対象船型に近い PP 型の船舶（以下、「PP 船」という。）と、それに対してかなり小さい近海航路の船舶（以下、「K 船」という。）を各 1 隻、合計 2 隻を調査対象とした。対象船舶の主な諸元は、表-2 のとおりである。

表- 2 対象船の諸元

	ポストパナマックス船 (PP 船)	近海航路船 (K 船)
船長	283.8 m	143.3 m
型幅	40.0 m	20.5 m
積載能力	6,214 TEU	702 TEU
列数	16 / 14	8 / 6
段数	6 / 9	4 / 4
満載喫水	14.0 m	7.35 m
仕向先	欧州	韓国・中国

注) 列数と段数は、左がデッキ、右がホールドである。

対象としたクレーンの計測項目は、①スプレッド位置、②横行速度、③巻速度、④走行速度、⑤ツイストロックの状態、⑥吊り荷重等であり、各項目を 0.5 秒間隔で計測した。計測は、対象船舶の寄港にあわせて、PP 船は 2000 年 10 月 20-21 日、K 船は 2000 年 12 月 20 日に行った。

### 2.2 計測時の気象・海象

計測時の気象・海象の状況は図-1~2 のとおりである。若干の降雨や風があったものの、荷役を行ううえでは概ね恵まれた条件であった。

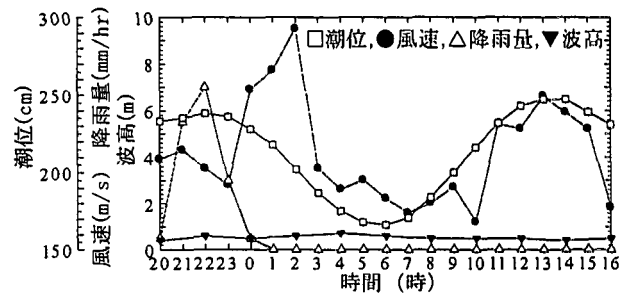


図- 1 気象・海象状態 (PP 船荷役)

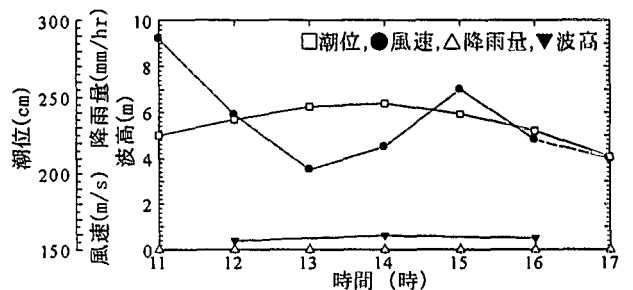


図- 2 気象・海象状態 (K 船荷役)

### 2.3 荷役動作

#### (1) 計測コンテナの船上積付位置

計測したコンテナの積み放し位置をプロットしたものを図-3~4 に示す。

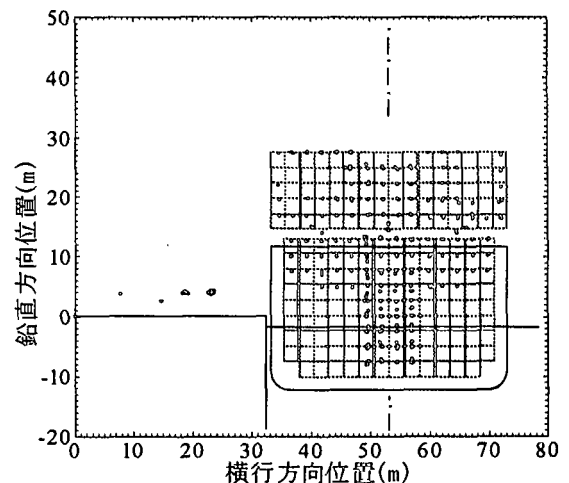


図- 3 計測コンテナの積み放し位置 (PP 船)

表- 4 停止時間の実測結果 (PP 船)

停止項目	平均値	標準偏差	データ数
シャシへの着陸時	4.2s	2.8s	247
シャシからの離陸時	3.2s	0.8s	286
デッキ積付位置への着陸時	12.3s	7.9s	111
デッキ積付位置からの離陸時	5.4s	8.7s	110
ホールド内着陸時	3.8s	7.0s	210
ホールド内離陸時	3.8s	1.6s	209
ハッチ挿入時	4.2s	6.1s	147
スタッキングコーン着脱	—	—	—
シャシへの着陸時	24.7s	10.6s	76
シャシからの離陸時	22.0s	4.9s	39

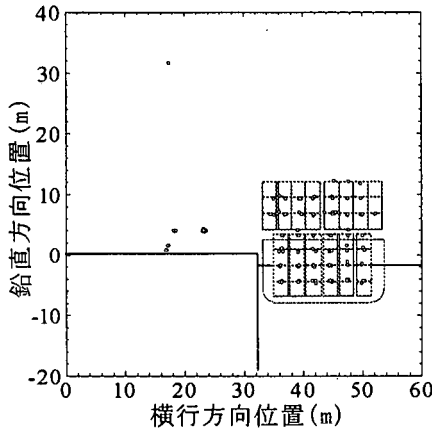


図- 4 計測コンテナの掴み放し位置 (K 船)

表- 5 停止時間の実測結果 (K 船)

停止項目	平均値	標準偏差	データ数
シャシへの着陸時	6.8s	3.5s	93
シャシからの離陸時	3.2s	0.7s	104
デッキ積付位置への着陸時	15.6s	13.8s	41
デッキ積付位置からの離陸時	4.4s	3.4s	42
ホールド内着陸時	6.6s	10.4s	60
ホールド内離陸時	4.6s	1.5s	58
ハッチ挿入時	9.5s	11.8s	55

(2) サイクル時間の状況

荷役効率は、一般にサイクルタイムで評価する。しかし、実際の荷役では、陸揚げから船積みに切り替わるときやハッチカバー荷役をするときなど、荷役サイクルが完結しない荷役がしばしば存在するため、それらの処理が面倒である。このため、往路と復路をわけて片サイクルで評価する。片サイクル時間を整理した結果は、表-3 のとおりである。平均値は PP 船で 57.8 秒、K 船で 51.8 秒であった。各々の標準偏差は 21.4 秒、21.8 秒である。

表- 3 片サイクル時間の実測結果

船舶	平均時間	標準偏差	データ数
PP 船	57.8s	21.4s	681
K 船	51.8s	21.8s	211

(3) 動作停止時間の特性

クレーンが一連の荷役動作を完遂するために動作途上で生じる各種の停止状態もしくはほとんど停止する状態の継続時間の統計量を求めた。結果は表-4~5 のとおりである。ハッチカバー直下のコンテナの停止時間は整理しにくいので、除外した。シャシへの着陸の際の停止時間およびシャシから離陸する際の停止時間の頻度分布は、15 秒を境に大きくグループが分かれる。この要因はスタッキングコーンの着脱作業によるものと考えられたため、停止時間が 15 秒を超えるものは、スタッキングコーンの着脱を行ったものとして、そのグループの平均値から残りノグループの平均停止時間を差し引いた時間を着脱時間とした。

K 船では、PP 船に比してローリングが大きいこと等により着陸時間が長くなっている。同様にローリング等のために、ハッチ挿入時間も長くなっている。

スプレッド伸縮と 40' ベイにおける 20' サイドの切替は、K 船では頻繁に行われていたが、PP 船では少なかった。このため、K 船の実測結果のみを整理した。結果は表-6 のとおりである。

表- 6 スプレッド伸縮と 20' サイド切替時間 (K 船)

停止項目	平均値	標準偏差	データ数
スプレッド伸縮	28.5s	12.2s	8
サイド変更	41.8s	15.7s	5

注 1) スプレッド伸縮は、コンテナサイズを変更する動作を含む片サイクルを対象とし、それに伴う走行位置の変更時間を含めている。

注 2) サイド変更は、スプレッド伸縮を含まないサイド変更のみの片サイクルを対象である。

3. 荷役サイクルパスモデル

クレーンの性能や荷役対象船型が変化した場合の荷役時間を予測するため、従来多く用いられてき

た荷役サイクルパスモデルに修正を加えたモデルを作成し、そのモデルによる計算値を実測値と対比した。これによってモデルの適合度を確認した。

### 3.1 モデルの荷役動作

片サイクルを単位とし、40' ベイを対象として、スプレッドの移動・時間経過を次のようにモデル化した。

- ① 加減速時の加速度の大きさは一定で、等速運動は最高速度で行い、中間的な速度では行わない。
- ② 障害となるデッキコンテナの最高点もしくはハッチカバー上面まで単調に加速もしくは最高速度で上昇する。そこから減速を行い、上昇速度が0となる時点で軌道の最高点に達する。最高点がレール面上揚程より高くなる場合は、レール面上揚程が最高点となるように減速時点を早める。
- ③ 横行は、目的の位置まで移動して停止するように加速・等速運動・減速すると考える。横行を開始する時点は、最高点に達する時点を開始点として0.5秒ずつ早めていき、デッキ上のいずれかの障害コンテナもしくは乾舷船側端から一定の安全距離だけ離れた点を通る軌道となる時点を横行開始時間とする。
- ④ 降下は、最高点から、陸行きの場合はシャシ上まで、海行きの場合はデッキ上コンテナ積付位置もしくはハッチまで、降下した時点で停止するように加速・等速運動・減速する。ホールド内の場合は、ハッチからホールド内積付位置まで降下した地点で停止するように加速・等速運動・減速する。ただし、ホールド内の降下の最高速度は低下する。
- ⑤ 降下を開始する時点は、デッキ上のいずれかの障害コンテナから一定の安全距離だけ離れた点を通る軌道となる時点とする。ただし、降下開始時点はスプレッドが最高点に到達する時点より前にはならない。
- ⑥ これらの一連の運動の過程で生じる(a)離陸時のロック・アンロック等のための一時停止の時間、(b)スタッキングコーン着脱の時間、(c)スプレッドの伸縮や40' ベイで20' コンテナを取り扱う場合の走行位置変更のための時間、(d)デッキ上のコンテナを扱う場合の積付位置直上やシャシ直上での一時停止・位置決め時間、(e)ホールド内であればハッチおよび積付位置直上での一時停止時間を想定し、それぞれに一定値を与える。

### 3.2 運転特性パラメータ

運転特性から定まる各種パラメータを実測結果を基に設定する。各項目ごとに対象となる片サイクルを抽出し該当する時間を読みとり、平均値を求め、それらをモデルのパラメータとした。設定したパラメータは表-7のとおりである。

表-7 運転特性パラメータ

	PP 船	K 船	備考
シャシ上離陸時間	3.2s	3.2s	
デッキ上離陸時間	5.4s	4.4s	
ホールド内離陸時間	3.8s	4.6s	
シャシ上着陸時間	4.2s	6.8s	位置決含む
デッキ上着陸時間	12.3s	15.6s	位置決含む
ホールド内着陸時間	3.8s	6.6s	
ハッチ挿入時間	4.2s	9.5s	
スプレッド伸縮時間	28.5s	28.5s	走行等含む
20'のサイド変更時間	41.8s	41.8s	
スタックコーン着脱	-	-	
デッキコンテナ船積	22.0s	0s	
デッキコンテナ陸揚	24.7s	0s	
ホールドコンテナ船積	22.0s	0s	20'のみ
ホールドコンテナ陸揚	24.7s	0s	20'のみ
ホールド内最大降下速度	0.45m/s	0.45m/s	

### 3.3 計算値と実測値の比較

まず安全距離を決定するために、PP 船ベイ 50 の全荷役コンテナを対象に、安全距離を変化させていくつか計算を行う。片サイクル時間の平均を求め、両者を比較し、もっとも適合する安全距離を選定した。結果は安全距離=1m である。実績値との整合を見るため、モデルに表-7 のパラメータを与え、PP 船はベイ 50 と 67、K 船はベイ 15 の実測した全ての荷役コンテナについて片サイクル時間を計算した。その結果を実測値と比較した結果は表-8 および図-5~6 のとおりである。PP 船の場合はかなり対応がよいが、K 船の場合は PP 船の場合に比べて対応が悪い。K 船の場合は一部明確な傾向を持って乖離しているサンプルグループがある。それは主に陸行の片サイクルである。陸行の片サイクルは、試験的に半自動運転を行っているものが多数含まれることによると考えられる。半自動運転のスプレッドの軌跡は、障害コンテナとの衝突を回避するために、全てのパスにおいてかなり高い位置まで巻上られているため、片サイクルの時間が長くなっている。

表- 8 片サイクル時間の計算値と実測値

	PP 船		K 船	
	実測	計算	実測	計算
平均値	53.6s	52.6s	48.9s	39.6s
標準偏差	18.4s	18.7s	16.7s	13.0s
データ数	419		194	
相関係数	0.72		0.49	

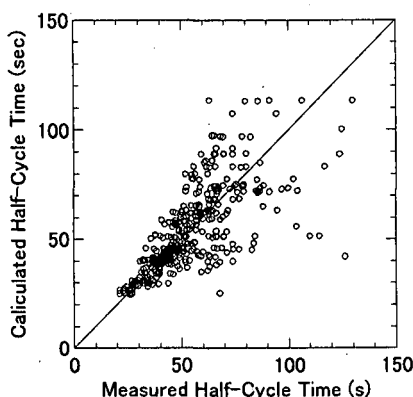


図- 5 片サイクル時間の計算値と実測値の散布図 (PP 船)

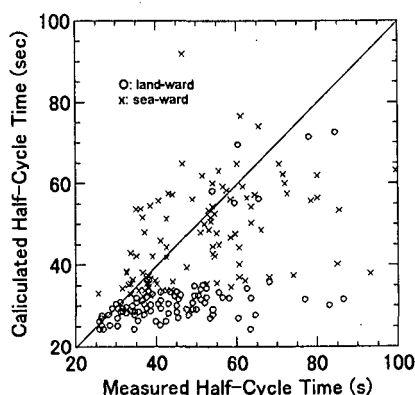


図- 6 片サイクル時間の計算値と実測値の散布図 (K 船)

されている SP 型岸壁クレーンの設計諸元を参考に、計算条件を設定した。船舶の諸元は、①船幅：58m、②型深：27m、③デッキスロット：23 列×7 段、④ホールドスロット：21 列×9 段とした。クレーンの諸元は、①レール面上揚程：45m、②最大横行速度：4m/s、③最大巻速度（無負荷）：3m/s、④最大巻速度（実負荷）：2.5m/s、⑤加速度：0.5m/s<sup>2</sup>とした。運転特性パラメータは、実測した PP 船と等しいと仮定した。積荷条件は、①消席率：100%、②荷役コンテナ割合：100%、③全体に占める 20'コンテナの割合：33% (TEU ベース) とした。このほか、比較用の PP 船ケースを計算した。このケースは、船舶諸元およびクレーン諸元は実測船舶・施設の諸元を用い、積荷条件は SP 船と同じとした。

#### 4.2 船舶・クレーンサイズの影響

SP 船-SP 型クレーンおよび PP 船-PP 型クレーンの計算結果は表-9 のとおりである。SP 船-SP 型コンテナクレーンのケースは、船舶のサイズが大型化するにもかかわらず、運動性能の向上努力によってサイクルタイムは PP 船-PP 型クレーンのケースとほとんど変化がない。しかし、クレーン 1 基あたりの取扱個数が増加するため、延べ荷役時間は非常に長いものになってしまう。この問題を克服するためには、1 港で使用するスロットエリアを分割し、クレーン 1 基当たりの延べ荷役時間を減少させ、そのうえでクレーン台数を増加させるか、クレーンの荷役速度を上げるかのどちらかの方法をとる必要がある。クレーンの台数を増加する方法の場合は、わが国の人件費が近隣諸国に比してかなり高いため、コスト競争力を低下させる可能性がある。わが国の国際競争力を高めるという視点からは、荷役性能の更なる向上が求められる。

表- 9 荷役時間

	a: SP 型	b: PP 型	a / b
片サイクル時間(s)	55.4	55.4	1.00
延荷役時間(hr)	28.6	18.1	1.58
取扱個数(個)	930	588	1.58

#### 4. モデルを用いた感度分析

このモデルを用いて船舶のサイズやクレーンのサイズ・性能や運転条件の変化による片サイクル時間の変化を予測した。

##### 4.1 計算条件

構想があると報じられている SP 船の諸元と建設

##### 4.3 クレーン性能・運転条件の影響

クレーン性能や運転条件の変化による片サイクル時間の変化をみるため、①最大速度（横行）、②最大速度（巻）（無負荷）、③最大速度（巻）（実コンテナ）、④ホールド内最大降下速度、⑤最大横行速度、⑥加速度、⑦離陸時間（シャシ）、⑧離陸時間（デッキ）、⑨離陸時間（ホールド）、⑩位置決・

着陸時間(シャシ), ⑪位置決・着陸時間(デッキ), ⑫着陸時間(ホールド), ⑬ハッチ挿入時間, ⑭スプレッド伸縮等時間, ⑮20'サイドのシフト時間, スタッキングコーン着脱時間(⑯デッキコンテナ(船積み), ⑰デッキコンテナ(陸揚げ), ⑱ホールドコンテナ(船積み), ⑲ホールドコンテナ(陸揚げ))をそれぞれ1/2倍, 2倍に各要素を単独で変化させた場合を, PP船-PP型コンテナクレーンのケースで計算した. 結果は図-7のとおりである. 片サイクル時間の短縮に最も効果があるのはホールド内最大降下速度を大きくすることであり, 次に効果が大きいのは加速度を大きくすることである.

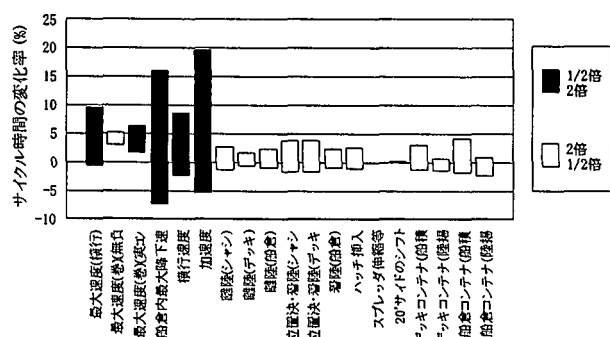


図-7 片サイクル時間の感度分析結果

## 5. まとめ

清水港袖師第一埠頭の Post Panamax 型のコンテ

ナクレーンを対象に荷役動作を実測し, その実測値をもとに直角軌道を緩和した荷役サイクルパスモデルを作成した. その計算結果と実測値を比較したところ, 小型船の場合はやや一致が良くない面があったが, 大型船の場合は良い一致がみられた. 従って, 今回作成したモデルは, 大型コンテナ船の荷役時間をかなり正確に予測することができると考えられる. こうしたモデルを使った各種条件変化による荷役能力変化の予測は, 大型コンテナクレーンの整備方針を検討する際に有益な情報を提供する. コンテナクレーンの評価等における荷役動作モデルの高度化が進められ, こうした進歩がコンテナクレーンの設計や運用の高度化をもたらすことを期待する.

## 参考文献

- 赤倉康寛・佐藤光子・高橋宏直 (2000) : 世界コンテナ船動静分析 (2000), 港湾技研資料, No.963, 運輸省港湾技術研究所.
- 井上聰史 (2002) : 港湾の国際競争力と経営戦略, 港湾, 日本港湾協会, pp.17-21.
- 中島忠男・高橋康弘 (1993) : コンテナクレーンの高能率化基礎調査ーパナマックス型コンテナ船の荷役調査ー, 港技研資料, No.758, 運輸省港湾技術研究所.
- 門前唯明・田邊俊郎・鈴木武・中島晋 (2001) : リニア搬送台車を活用した荷役システム, 土木学会論文集, No.667, IV-50, pp.147-156.