コンテナターミナルの特性分析と 年取扱能力-蔵置容量の関係

正員 渡 辺 逸 郎

Analysis on Characteristics and Relationship between
Annual Handling Ability and Stowing Capacity in Container Terminals

by Itsuro Watanabe, *Member*

Summary

The relationship between annual handling ability (TEU/year) and stowing capacity (TEU) in container terminals is one of the most important factors for planning and operation of container terminals. Because several factors such as quantity of transshipped containers, calling interval of containerships, dwell time of containers in the terminals and so on, are involved in the relationship, however, this has been usually dealt with on practical experience.

In this paper, the relationship between handling ability and stowing capacity in container terminals is theoretically analysed, taking the quantity of transshipped containers, the calling interval of ships and dwell time of containers into account.

On the other hand, most container terminals in the world are able to be classified into two categories, that is to say, OD (Origin and Destination) type and hub centre type. The classification is characterised by the quantity of transshipped containers handled in the terminal.

A theoretical analysis to characterise container terminals by the quantity of transshipped containers is presented based upon the result of study on the relationship between handling ability and stowing capacity.

In conclusion, container terminals which handle transshipped containers more than 50% of total containers, are usually classified in hub centre type, and terminals handling less than 40% transshipped containers are usually classified in OD type. Container terminals handling 40% to 50% transshipped containers are finally classified in either type after analysing the calling interval of ships and dwell time of containers, in details.

コンテナターミナルの年取扱能力と蔵置容量の関係は、その計画、運用に当って、極めて重要な問題である。しかし、この関係はコンテナ船の寄港間隔、寄港時におけるコンテナ揚積量、積替コンテナの量、コンテナのターミナルにおける滞留日数などの因子に影響されるため、経験により処理されている現状である。

また、年取扱量の実績と蔵置容量に関係があるコンテナターミナルの面積との比を調査すると、香港、シンガポールのコンテナターミナルでは、25,000～30,000 TEU/年 ha

となり、わが国のターミナルの10,000～12,000 TEU/年 ha に比べ、極めて大きな値となっている。この差の主要な原因の一つは、積替コンテナの取扱比率によるものと考えられる。従って、コンテナターミナルの特性は、積替コンテナの比率によって分析できるであろう。

本論文は、コンテナターミナルの年取扱能力と蔵置容量の関係を、本船寄港間隔、コンテナの滞留日数および積替コンテナの取扱比率をパラメータとして解明したものである。また、この関係に大きな影響を与える積替コンテナの取扱比率により、コンテナターミナルの特性分析を試みたものである。

1. コンテナターミナルの特性

幹線コンテナサービスに列する主要港のコンテナターミ

原稿受理 平成3年12月25日

春季講演会において講演 平成4年5月12, 13日

ナルの特性は、その港湾の性格に従って、二ツに分類される。第一は道路または鉄道による内陸輸送に頼る後背地への輸出入コンテナを主力に取扱うコンテナターミナルである。第二は海上輸送の幹線間または、幹線-支線間の積替コンテナを主力に取扱うコンテナターミナルである。前者はOD型(Origin and Destinationの略)と呼ばれ、日本、米国の主要港のターミナルの特性がこの型である。後者はハブセンタ型(Hub centre)と呼ばれ、香港、シンガポールなどが代表的な例である。支線コンテナサービスに列する中小港のコンテナターミナルの特性は、その年取扱量は少ないが、ほとんどがOD型とみなされる。

コンテナターミナルの年取扱能力は、岸壁とコンテナ船との間での1年間のコンテナ荷役個数(一般にTEUに換算される)をもって示される。従って、輸出または輸入コンテナは、岸壁荷役1個分に対して、一つの蔵置スペースを必要とする。これに対して、積替コンテナでは、岸壁荷役が揚積の2回、2個分に対して、一つの蔵置スペースでよいことになる。この点がコンテナターミナルの特性の根拠となっている。

OD型コンテナターミナルでは、蔵置スペースと荷役個数が1:1に対応するだけでなく、輸入コンテナの内陸への搬出、輸出コンテナの内陸からの搬入などの作業を行わねばならぬので、ヤード側の荷役能力は、岸壁荷役能力の支援に加えて、これらの作業の達成能力が附加される。岸壁荷役能力に対して、十分な蔵置容量およびヤード荷役能力が必要となる。

一方、ハブセンタ型コンテナターミナルでは、1蔵置スペースが2個分の岸壁荷役となり、内陸との搬出入作業も少なくなるから、ヤード荷役能力は岸壁荷役能力の支援が主力となる。従って、ハブセンタ型コンテナターミナルでは、岸壁荷役能力が蔵置容量およびヤード荷役能力よりも重要となる。

以上から、香港、シンガポールとわが国のコンテナターミナルにおける面積当り年取扱量の実績値の差の原因を定性的に説明できる。

2. 年取扱能力と蔵置容量の関係

2.1 本船寄港の因子を無視したケース

従来発表された論文では、つぎに示すDally and Maquireの式¹⁾のように、年取扱能力と蔵置容量との関係は、本船寄港および積替コンテナの取扱比率による影響を無視し、ピーク係数などの経験的な係数により補正している。

$$C = \frac{L \times H \times W \times K}{D \times F}$$

ここで、C:年取扱能力(TEU/年)

L:ヤードのグランドスロットの総数(TEU)

H:ヤードのコンテナ平均積段数(従って、L×Hが蔵置容量となる)

W:稼働グランドスロットの比(0<W≤1)

K:年間稼働日数

D:コンテナ平均滞留日数

F:ピーク係数(F≥1)

この式で、積替コンテナの取扱比率および積替、輸出、輸入コンテナそれぞれの平均滞留日数を考慮し、式の性格を明確にするため諸係数を除くと、次式を得る。

$$\frac{A'}{C'} = \frac{2 \times 365}{\mu D_i + (1 - \mu) D_e + (1 - \mu) D_i} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、A':年取扱能力(TEU/年)

C':ヤード蔵置容量(TEU)

μ:積替コンテナ取扱比率(0≤μ≤1)

D_i:積替コンテナの平均滞留日数

D_e:輸出コンテナの平均滞留日数

D_i:輸入コンテナの平均滞留日数

2.2 本船寄港を考慮したケース

(1)式は、本船の寄港間隔、寄港時のコンテナ揚積量の因子を無視している。しかし、実際には本船の定期寄港時に、まとまった量のコンテナがまず陸揚げされ、その後船積作業を行うから、ターミナルは、この陸揚コンテナを蔵置するスペースを用意せねばならない。(1)式では、係数を導入して経験により、この処理を行わねばならない。

ここで、つぎの前提条件に基づいて、本船寄港を考慮した、輸出入コンテナのみについて、年取扱能力と蔵置容量の関係を考える。

(1) 本船がそのターミナルにp(日)間隔で寄港し、その寄港ごとに、平均(q_u+q_w)(TEU)のコンテナを陸揚げし、その後、平均(q_i+q_u)(TEU)のコンテナを船積みする。ここで、q_uは陸揚輸入コンテナ、q_iは船積輸出コンテナ、q_wは陸揚積替コンテナ、q_uは船積積替コンテナの数量を表わす。

(2) 寄港1日で、全コンテナの陸揚および船積を完了する。

(3) 陸揚輸入コンテナq_uは、本船寄港日の翌日から毎日q_u/D_u(TEU)ずつ搬出されD_u(日)後に搬出を完了する。

(4) 船積輸出コンテナq_iは、本船寄港日のD_i(日)前から搬入を開始し、毎日q_i/D_i(TEU)ずつ搬入され、本船寄港日の前日に搬入を完了する。

実際には、コンテナのターミナルへの搬入出は、本船寄港日の直前、直後に集中してFig.1に示すようなパターンとなることが多いが、ヤードの蔵置容量について条件が厳しくなる毎日等量を搬入出する、上の(3)および(4)の条件を前提として考える。

陸揚輸入および船積輸出コンテナのヤードにおける蔵置量の変化の状態をFig.2に示す。Fig.2から、寄港船の船積輸出コンテナq_iがすべて搬入され、寄港船の陸揚輸入コンテナq_uを受入れるスペースを準備しなければならない寄

港日に、最大の蔵置容量を要求されることが判る。このときの所要蔵置容量 C_0 (TEU) は次式で示される。

$$C_0 = q_u + q_u \frac{D_u - p}{D_u} + q_u \frac{D_u - 2p}{D_u} + \dots + q_u \frac{D_u - n'p}{D_u} \\ + q_l + q_l \frac{D_l - (p-1)}{D_l} + q_l \frac{D_l - (2p-1)}{D_l} + \dots \\ + q_l \frac{D_l - (np-1)}{D_l}$$

ここで、 $\rho = \frac{D_u}{p}$, $\sigma = \frac{D_l}{p}$ が正の整数となる場合に限り

て、上式はつぎの通り集約される。この場合、 $\rho = n'$, $\sigma = n$ となる。

$$C_0 = q_u \left(\frac{\rho+1}{2} \right) + q_l \left(\frac{\sigma+1}{2} + \frac{1}{p} \right)$$

空コンテナも含めれば、一般に $q_u \equiv q_l$ と考えられる。 $(q_u + q_l)/2 = q_0$ とすれば、

$$C_0 = q_0 \left(\frac{\rho + \sigma + 2}{2} + \frac{1}{p} \right) \dots \dots \dots (2)$$

一方、本ターミナルの輸出入コンテナによる年取扱能力 (TEU/年) を A_0 とすると、

$$A_0 = (q_u + q_l) \frac{365}{p} = 2q_0 \frac{365}{p} \dots \dots \dots (3)$$

(2) および (3) 式から、次式を得る。

$$\frac{A_0}{C_0} = \frac{2 \times 365}{\frac{p(\rho + \sigma + 2)}{2} + 1} \dots \dots \dots (4)$$

つぎに、積替コンテナについて考察する。Fig. 3 に示す通り、本船が p (日) 間隔で寄港し、 q_{tu} (TEU), q_u (TEU) の積替コンテナをそれぞれ陸揚げ、船積みする。また、本船寄港間隔中に、複数のフィーダ船が寄港し、各船が q'_{iu} (TEU) のコンテナを陸揚げし、 q'_{iu} (TEU) のコンテナを船積みする。

$$\text{従って、} q_{tu} = \sum q'_{iu} \quad q_u = \sum q'_{iu}$$

積替コンテナのための蔵置容量を C_l (TEU) とすると、

$$C_l = q_{tu} + q_u$$

空コンテナも含めれば、一般に $q_{tu} \equiv q_u$ と考えられる。

Fig. 1 Pattern of Receiving/Delivering of Containers to/from the Container Terminal

コンテナ	航海 次数	N 次 航 船 入 港 前										N 次 航 船 寄 港 日	N 次 航 船 出 港 後	
		D_u	~	$-np$	~	$-3p$	~	$-2p$	~	$-p$	~	-1	0	+1
陸	N-3 次	-		-		q_u	~	$q_u \frac{D_u-p}{D_u}$	~	$q_u \frac{D_u-2p}{D_u}$	~	$q_u \frac{D_u-(3p-1)}{D_u}$	$q_u \frac{D_u-3p}{D_u}$	$q_u \frac{D_u-(3p+1)}{D_u}$
	N-2 次	-		-		-		q_u	~	$q_u \frac{D_u-p}{D_u}$	~	$q_u \frac{D_u-(2p-1)}{D_u}$	$q_u \frac{D_u-2p}{D_u}$	$q_u \frac{D_u-(2p+1)}{D_u}$
揚	N-1 次	-		-		-		-		q_u	~	$q_u \frac{D_u-(p-1)}{D_u}$	$q_u \frac{D_u-p}{D_u}$	$q_u \frac{D_u-(p+1)}{D_u}$
	N 次	-		-		-		-		-		-	q_u	$q_u \frac{D_u-1}{D_u}$
船	N 次	$q_l \frac{1}{D_l}$		$q_l \frac{D_l-(np-1)}{D_l}$	~	$q_l \frac{D_l-(3p-1)}{D_l}$	~	$q_l \frac{D_l-(2p-1)}{D_l}$	~	$q_l \frac{D_l-(p-1)}{D_l}$	~	$q_l \frac{D_l}{D_l}$	(q_l)	-
	N+1 次	-		$q_l \frac{D_l-(n+1)p-1}{D_l}$	~	$q_l \frac{D_l-(4p-1)}{D_l}$	~	$q_l \frac{D_l-(3p-1)}{D_l}$	~	$q_l \frac{D_l-(2p-1)}{D_l}$	~	$q_l \frac{D_l-p}{D_l}$	$q_l \frac{D_l-(p-1)}{D_l}$	$q_l \frac{D_l-(p-2)}{D_l}$
	N+2 次	-		$q_l \frac{D_l-(n+2)p-1}{D_l}$	~	$q_l \frac{D_l-(5p-1)}{D_l}$	~	$q_l \frac{D_l-(4p-1)}{D_l}$	~	$q_l \frac{D_l-(3p-1)}{D_l}$	~	$q_l \frac{D_l-2p}{D_l}$	$q_l \frac{D_l-(2p-1)}{D_l}$	$q_l \frac{D_l-(2p-2)}{D_l}$
	N+3 次	-		$q_l \frac{D_l-(n+3)p-1}{D_l}$	~	$q_l \frac{D_l-(6p-1)}{D_l}$	~	$q_l \frac{D_l-(5p-1)}{D_l}$	~	$q_l \frac{D_l-(4p-1)}{D_l}$	~	$q_l \frac{D_l-3p}{D_l}$	$q_l \frac{D_l-(3p-1)}{D_l}$	$q_l \frac{D_l-(3p-2)}{D_l}$
	N+4 次	-		$q_l \frac{D_l-(n+4)p-1}{D_l}$	~	$q_l \frac{D_l-(7p-1)}{D_l}$	~	$q_l \frac{D_l-(6p-1)}{D_l}$	~	$q_l \frac{D_l-(5p-1)}{D_l}$	~	$q_l \frac{D_l-4p}{D_l}$	$q_l \frac{D_l-(4p-1)}{D_l}$	$q_l \frac{D_l-(4p-2)}{D_l}$
積														

各日の作業終了時、蔵置量を示す。ただし () は作業開始前、蔵置量を示す。

Fig. 2 Quantity of Containers Stowed in the Terminal

Fig.3 Movement of Transshipped Containers in the Terminal

$(q_{tu} + q_{ui})/2 = q_t$ とすれば,

$$C_t = 2q_t$$

一方、積替コンテナによる年取扱能力を A_t (TEU/年) とすれば,

$$A_t = (q_{tu} + q_{ui} + \sum q'_{tu} + \sum q'_{ui}) \frac{365}{p}$$

$$= \frac{2 \times 365}{p} (q_{tu} + q_{ui}) = \frac{4 \times 365}{p} q_t$$

故に,

$$\frac{A_t}{C_t} = \frac{2 \times 365}{p} \dots \dots \dots (5)$$

このコンテナターミナル全体の年取扱能力を A (TEU/年), 蔵置容量を C (TEU), 積替コンテナの取扱比率を μ とすると, (4) および (5) 式から次式を得る。

$$\frac{A}{C} = \frac{2 \times 365}{\mu p + (1 - \mu) \left\{ \frac{p(\rho + \sigma + 2)}{2} + 1 \right\}} \dots \dots \dots (6)$$

2.3 両ケースの比較と考察

コンテナターミナルの計画, 運用に当り, (6) 式により地形配置などから蔵置容量が与えられれば, そのターミナルの年取扱能力, すなわち年最大取扱量が求められる。また, 年取扱能力から必要な蔵置容量さらにターミナルの所要面積を求めることができる。もし, そのターミナルに複数の航路のコンテナ船が寄港する場合には, その航路ごとに, $A-C$ の関係を求め, その総和をとればよい。

あるコンテナターミナルの実際の蔵置容量から, (6) 式により年取扱能力を求め, 実際の年取扱量との比をとれば, その値がそのターミナルのその時点での使用効率となる。

また, (1) および (6) 式の A'/C' および A/C は, そのターミナルにおける蔵置スペースの年回転率 (1/年) の平均値を示している。

ここで, (6) 式の $\mu=0$, すなわち輸出入コンテナのみを取扱う OD 型ターミナルについて考察する。(4) 式において, p をベースに $\rho + \sigma$ をパラメータとして, A_0/C_0 を図示したものが Fig. 4 である。

本船寄港を考慮したケースの (6) 式と, 考慮しないケースの (1) 式を比較する。(1) 式ではコンテナの平均滞留日数をベースにしているから, これを搬出入を完了する日数

Fig. 4 $p-A_0/C_0$ (parameter: $\rho + \sigma$)

に修正する。

$D_e \equiv D_t/2 = \sigma p/2$, $D_i \equiv D_u/2 = \rho p/2$, $D_t = p$ であるから,

(1) 式はつぎの式となる。

$$\frac{A'}{C'} = \frac{2 \times 365}{\mu p + \frac{(1 - \mu)\sigma p}{2} + \frac{(1 - \mu)\rho p}{2}} \dots \dots \dots (1')$$

ここで, (1') 式/(6) 式の値を, $p=5$ (日) と 7 (日), の 2 通りと, $(\rho + \sigma)$ を 2, 3, 4 の 3 通りとを組合せた 6 通りについて求め, 図示すれば Fig. 5 の通りとなる。本図から明らかなように, $\mu=1$ すなわち全部が積替コンテナとなる場合に, 両式の比は 1 となるが, $\mu=0$ すなわち全部が輸出入コンテナとなる場合には, この比は 1.5~2.2 と大きくなる。コンテナの滞留日数が短い場合には, この比は極めて大きくなるから, (1) または (1') 式を使用して, 得られた年取扱能力は少なくする方向に, また所要蔵置量は大きくする方向に, 大きく修正せねばならない。

3. コンテナターミナルの特性分析

(6) 式を用いて, 積替コンテナの取扱比率 μ の変化が, 年取扱能力と蔵置容量の比, A/C にどう影響するかを調査する。パラメータでは寄港間隔 p については, 5 日と 7 日の

Fig. 5 $\mu - A'/C / A/C$

2通り、輸出入コンテナの滞留日数については、 $p+\sigma$ を2, 3, 4の3通り、その組合せで6通りのケースについて、 $\mu - A/C$ の関係を図示すると Fig. 6の通りとなる。

μ の増加率に対して、 A/C の増加率が大きくなるのは、一般に、 $\mu=0.4\sim0.5$ の付近である。この転移点の μ の値は、本船寄港間隔が短いほど、輸出入コンテナの滞留日数が長いほど、小さくなる。

従って、コンテナターミナルの特性分析に当たって、OD型か、ハブセンタ型かの分岐点は、 $\mu=0.4\sim0.5$ にあるとみられる。これらから、年取扱量のうち50%以上が積替コンテナであるコンテナターミナルはハブセンタ型、積替コンテナが40%以下であれば、OD型とその特性を分析できる。積替コンテナの取扱比率が、40~50%の場合は、本船寄港間隔、輸出入コンテナの滞留日数などの因子を勘案して、その特性を判定すべきである。

あ と が き

コンテナターミナルの生産性を評価する重要な指標として、コンテナターミナルの面積 (ha) 当りのコンテナ年取扱能力 (TEU/年 ha) がある。これは、年取扱能力-蔵置容量および蔵置容量-ターミナル面積の二つの関係によって

Fig. 6 $\mu - A/C$

得られる。本論では、その最初の関係を解明したが、ついで、土地利用率ともいわれる蔵置容量とターミナル面積の関係を調査することとしたい。

年取扱能力と蔵置容量の関係は、荷役機器が必要数を具備しているとして求められているから、そのターミナルのハンドリング方式により、直接影響を受けることはない。しかし、蔵置容量とターミナル面積の関係は、このハンドリング方式と深く関係する。

コンテナターミナルの生産性を時間的に、また経済的に分析、評価をする場合には、施設面からみたターミナル面積当り年取扱能力の指標とともに、コンテナハンドリング方式を構成する荷役機器の数と性能に基づいた考察が必要であることは、いうまでもない。

参 考 文 献

- 1) H. K. Dally and F. J. Maquire "Container Handling and Transport-Terminal Capacity" C. S. Publication Ltd. (1983) p 51