

# 港 湾 技 研 資 料

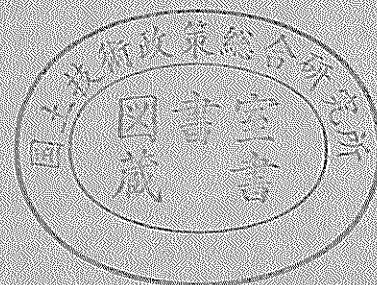
TECHNICAL NOTE OF  
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE  
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 646 Mar. 1989

ふ頭特性に関する一考察  
—荷役時間規制を加味した待ち合せモデルの図表—

山 谷 弘 幸

運輸省港湾技術研究所



# Analysis of Port Characteristics from a Rational Planning Viewpoint – Table of Queueing Model Considering Service Time Restriction –

Hiroyuki YAMAYA\*

## Synopsis

One of rational methods of port planning what is called COSTMINIMUM is mentioned here so that port characteristics might be divided into four classes from the points of view as follows;

(1) items and volume handled, (2) terminal handling capacity, (3) operating service restrictions, (4) ship movement. In addition, four classes are analyzed in case of a bulk port terminal in use.

On the otherhand, queueing tables of  $M/M/s$ ,  $M/E_2/s$ ,  $M/E_3/s$  and  $M/D/s$  models considering service time restriction are made with the simulation programs. Several port planning problems can be solved with the tables.

**Key Words:** Port Planning, Cost Minimum, Handling Capacity, Queueing Model

---

\* Senior Research Engineer of Machinery Division

# ふ頭特性に関する一考察

——荷役時間規制を加味した待ち合せモデルの図表——

山谷 弘幸\*

## 要 旨

公共ふ頭整備の合理的な考え方であるコストミニマムの概念について述べ、それをもとに、ふ頭特性をつぎの4つに分類した。

- I. 取扱品目・取扱量
- II. ふ頭荷役能力
- III. サービス条件
- IV. 船舶挙動

また一例として、供用中のばら物ふ頭のふ頭特性について調査分析を行った。

一方、サービス条件の一つである荷役時間規制を加味した待ち合せモデルのシミュレーションを実行し平均在港隻数を求め図表を作成した。待ち合せ現象は $M/M/s$ 、 $M/M_2/s$ 、 $M/E_s/s$ 、 $M/D/s$ 型の4つの基本型とした。さらにこれらの図表を用いて最適バース数の決定といった例題を与えふ頭整備の問題について解説を加えた。

キーワード：ふ頭計画，コストミニマム，荷役能力，待ち合せモデル

## 1. まえがき

わが国における港湾活動は、高度な技術開発やそれに伴う流通形態の変化を通じ質的・量的な変化を示してきた。その現象はコンテナターミナルの発達や、物資別専門ふ頭の台頭などによる効率的な輸送システムの発達によって顕著に示されている。これらは、港湾内の貨物取扱における合理性追求と、港湾運営の経済性を重視する港湾計画の発展によってもたらされたものである。

港湾計画に関する調査研究は、コンテナ、ばら物、雑貨等をおもな対象貨物とするコンテナターミナル、ばら物ふ頭、ライナーバース等の分野において整備計画当初から行われてきた。しかしそれらは港湾の計画作成時点に重点を置いた整備手法であって、供用中のふ頭の運営形態や再整備に重点を置いたものは数少ないのが現状である。

本稿では初めに、一般的な公共ふ頭の合理的な整備の考え方であるコストミニマムの概念について述べ、つ

ぎにそれらの考え方をもとにして、供用中のふ頭の特性をふ頭における船側の取扱特性とバース側の取扱特性の2つの観点から4つに分類し、ふ頭特性と定義して解説を加えた。

さらに一例として、供用中のばら物ふ頭のふ頭特性について調査し分析を行った。一方、ふ頭の運営に当たって重要なサービス条件となっている荷役時間規制を加味した待ち合せモデルのシミュレーションプログラムをつくり、最適なバース数の決定する場合の一つのパラメータとなる平均在港隻数の図表を作成した。さらに、これらの図表の使用法について最適バース数の決定といったふ頭整備の問題等について例題を与え解説を加えた。

以上によって、公共ふ頭の運営や再整備の計画に有効となる考え方ならびに資料を提供することができたものと考えられる。

## 2. 合理的な公共ふ頭整備の考え方

公共ふ頭を整備する場合は、第一に船舶への良質なサ

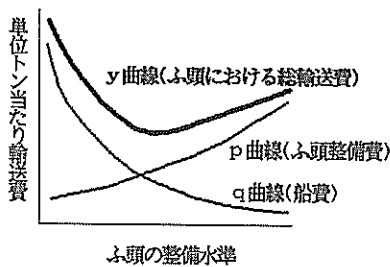
\* 機械技術部 主任研究官 (荷さばき施設担当)

サービスの提供を考えなければならない。船舶へのサービスの指標としては、船舶のバース待ち時間、バース待ち確率、バースにおける荷役時間などが挙げられる。そしてこれらの指標が小さければ小さいほど船舶に対して良質なサービスを提供することができるといえる。そのためにはバースの数や荷役機械の基数を増やしバースの荷役能力を大きくする必要がある。しかしそれでは、ふ頭における経済的負担は大きくなり過大投資を招くおそれがあるので合理的なふ頭の整備手法が必要となってくる。

ここでは、公共ふ頭整備においては一般的な計画手法の一つの考え方といえる経済性を追求した総輸送費の最小化すなわちコストミニマムの評価法を用いてふ頭の計画手法を考察する。

(1) ふ頭の整備水準と総輸送費

図一はふ頭の整備水準とふ頭における総輸送費の関係を図示したものである。一定期間のふ頭における取扱



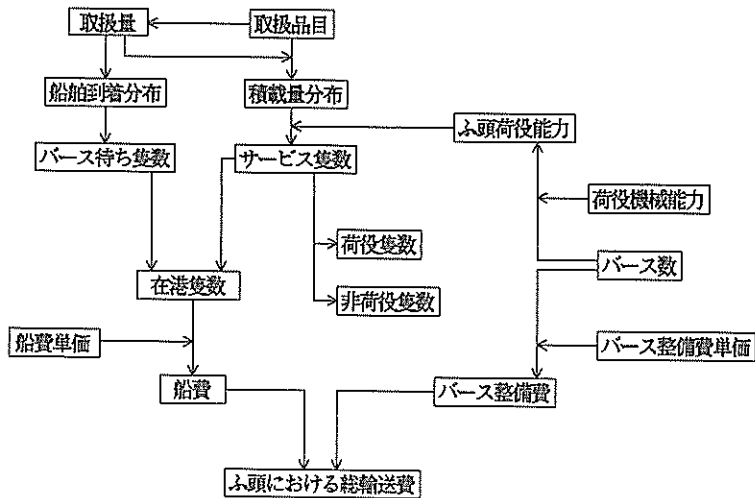
図一 ふ頭の整備水準とふ頭における総輸送費

量が一定という条件において、横軸にふ頭の整備水準を、縦軸に貨物の単位トン当たりの輸送費をとることとする。いま単位トン当たりのふ頭整備費を图中p曲線とした場合を考えると、p曲線はふ頭の整備水準に伴って上昇する。一方、貨物の単位トン当たりの船費をq曲線として示した場合、q曲線はふ頭の整備水準に伴って逆に下降する。ふ頭整備費(p曲線)と船費(q曲線)の和を取扱い貨物の総輸送費としてy曲線で示すとその曲線は極小値を持つ凹曲線となる。公共ふ頭を整備するに当たっては、ふ頭整備費と船費との和である総輸送費が最小値であること、すなわちy曲線の最小点を選ぶことで経済的により合理的なふ頭整備を行うことができると考えられる。

(2) 総輸送費最小化(コストミニマム)の考え方

ここで総輸送費の最小値がどのような方法で得られるかを考えてみる。

貨物を取扱うふ頭においては、船舶が順次入港し、バースに着岸し船積みまたは荷卸しなどの一連の荷役活動が行われる。その間の荷役活動における貨物の流れを船舶の挙動、ふ頭の要素施設とその稼働状況に注目して総輸送費をふ頭整備費と船費の和として導出する手順を図一2のフローチャートで示した。この図はまず、ふ頭整備の際に基本的なパラメータとなる取扱品目、取扱量を定める。つぎに整備するふ頭の性格(ターミナルカラー)をイメージして既存の同類と考えられるふ頭から、船舶到着分布、貨物積載量分布を調査してふ頭の荷役システムをモデル化する。つぎにふ頭の規模と荷役能力である



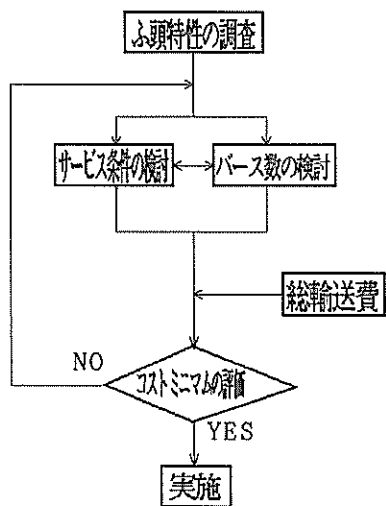
図二 ふ頭における総輸送費の求め方

バース数と荷役機械能力およびサービス条件（入出港時間規制、荷役時間規制）をパラメータとして船舶の平均バース待ち隻数、平均在港隻数を求める。他方で、バース整備費単価ならびに船費単価を調査し、船費とふ頭整備費を求める。そしてそれらの和すなわち、ふ頭における総輸送費が最小となるようにふ頭の規模であるバース数を決定するという手法がコストミニマムの基本的な考え方である。

但し、バース整備費については防波堤、航路、泊地などの整備費変動を、船費については、滞船による貨物の商品価値の低減や市況的要素のある用船料率は含まないこととし、バース並びに船舶の建造費およびランニングコストのみを考慮することとした。また、荷役コストについても地域的格差が大きく一律には評価できないので考慮の範囲外とした。

### 3. ふ頭特性の分類

公共ふ頭の整備計画においては、コストミニマムが合理的な考え方であるが、供用中の公共ふ頭の運営、再整備に当たっても同様と考えられる。したがって、公共ふ頭の運営、再整備は、図一3に示すようなふ頭特性を常時モニタリングして実施することが合理的であると考えられる。すなわち、ふ頭特性を調査したのち、総輸送費が最小となるようにサービス条件やバース数などの船舶へのサービス水準を左右する主要因の変更を検討して実施に移すという手法である。



図一3 公共ふ頭の運営・再整備の手順

ここではふ頭特性を運営、再整備の観点からつぎの4つの特性に分類して考察を行った。

- I. 取扱品目・取扱量
- II. ふ頭荷役能力
- III. サービス条件
- IV. 船舶挙動

これらの特性の概念図を図一4に示す。以下、これらの4特性の説明を行う。

#### I. 取扱品目・取扱量

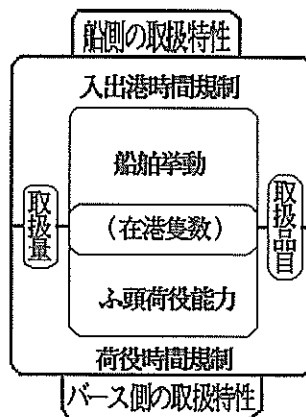
取扱品目・取扱量は、ふ頭整備時に想定する基本的なパラメータであるが、ふ頭が供用されたのちにどのような傾向を示すかはふ頭の性格であるターミナルカラーを示す場合の基本的な特性となる。

#### II. ふ頭荷役能力

ふ頭荷役能力は、バース側の取扱特性を示すことができるパラメータである。ふ頭荷役能力は、1バースにおける単位時間当たりの荷役能力とバース数の積で表される。ここでは1バースの単位時間当たり荷役能力を、荷役機械の実荷役能力と1バース当たり平均サービス基数との積で表わすこととした。

荷役機械の荷役能力は、特定の荷役対象品目を設定し、適当な計算方式によって決定される。たとえば、間欠式アンローダの場合はJIS B 8809（アンローダの計算陸揚げ能力）の計算方式である。しかし、供用中における荷役機械の能力である実荷役能力は、対象となる品目や船型などのパラメータによって変動するものと考えられる。<sup>1)</sup> ちなみに実荷役能力は、公称能力と荷役効率の積で表わされる。<sup>2)</sup>

ふ頭荷役能力は、船舶の荷役時間分布を決定する場合



図一4 ふ頭特性の概念図

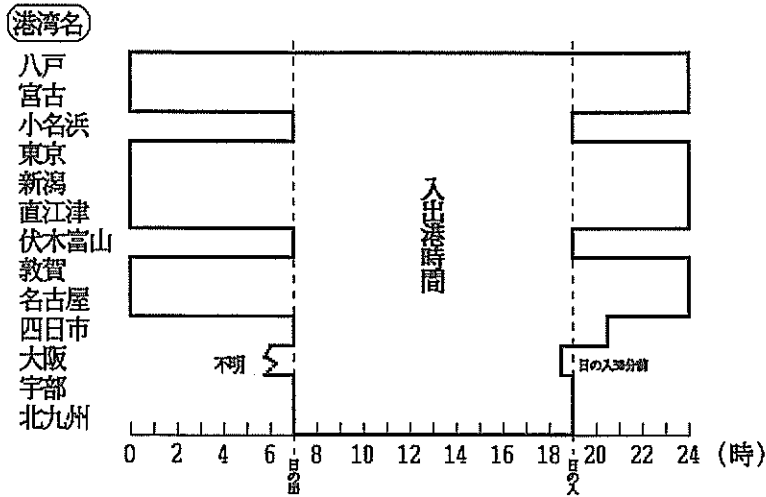


図-5 (a) 入出港時間

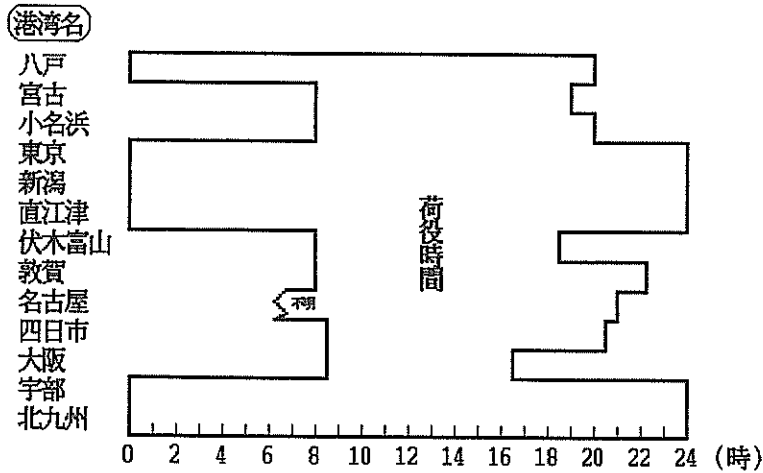


図-5 (b) 荷役時間

図-5 ばら物ふ頭におけるサービス条件

の主要なパラメータとなる。すなわち、船舶の荷役時間分布は、1船における船積みまたは荷卸しの取扱量を1バースの実荷役能力で除することで求まる。公共ふ頭における荷役時間分布は、入港船型がばらついているために低次のアーラン分布に従うとされている。<sup>3)</sup>

### Ⅲ. サービス条件

サービス条件とはふ頭オペレータがふ頭を運営する際に船舶へのサービスに課する種々の規制条件である。ここではサービス条件として入出港時間規制、荷役時間規制の2つの規制条件を扱う。図-5には、ばら物ふ頭に

おけるそれらのサービス条件の一例を示した。入出港時間規制を行うふ頭では図-5(a)に示すように入出港時間を日の出から日の入までとする港湾が多い。ほかに、港湾独自で設定する場合もみられる。図-5(b)は荷役時間規制が行われている港湾の荷役時間を示したものである。荷役時間規制は、各港湾の慣習的な労働時間帯に沿って荷役規制の時間帯とする場合が多い。

以上の2つのサービス規制の他に、日曜日、祝祭日の入出港、荷役規制が行われる場合もある。

### Ⅳ. 船舶挙動

港湾内における船舶挙動は、船側の貨物動態特性を示す。港湾における船舶の入出港を待ち合せ現象としてとらえると、船舶挙動の代表的な指標として到着時間隔分布、在港時間分布の2つが挙げられる。

到着時間隔分布は、船舶の港湾区域に到着する時刻の間隔密度で表すことができる。公共ふ頭において入出港する船舶は、船社や荷主が不特定多数であり、そのため到着時間隔が不規則となり到着パターンがランダム（ランダム到着）となるケースが多い。しかし、公共ふ頭のライナーバースやコンテナターミナル、および専用ふ頭においては配船計画が比較的容易なことから、到着パターンが規則的（レギュラー到着）となるケースもある。

在港時間分布は、船舶が港湾区域に到着した時点からバースに着岸できるまでのバース待ち時間と、バースに着岸してからサービスを受けて離岸するまでのサービス時間との合計時間の分布である。サービス時間は、荷役時間と非荷役時間（荷役規制時間）に分けられる。

以上のふ頭特性Ⅰ～Ⅳは、ふ頭を整備するときに決定あるいは調査すべきパラメータであるが、供用後にどのような分布値を示すかは、ふ頭の運営、再整備の場合のコストミニマムの評価をおこなう場合に重要な指標となるものである。そして、コストミニマムの評価をおこなう場合に必要となる平均在港隻数は、船舶の到着率（単位時間当たり平均到着隻数）と荷役率（単位時間当たり平均荷役処理隻数）とそれらの分布形、およびバース数を与えられていれば、5. で求める待ち合せモデルの図表から一義的に読み取ることができる。

#### 4. ふ頭特性の調査例

3. で述べたふ頭特性Ⅰ～Ⅳを、現実のふ頭データによって分析した例を紹介する。

調査を行ったふ頭は、石炭、鉱石、化学製品などのばら物をおもに取扱う中規模の公共ふ頭（以下、調査ふ頭と呼ぶ）である。調査ふ頭は、「2バース2アンロード」型ターミナルを3ターミナル（計6バース）有する構成となっている。

##### Ⅰ. 取扱品目・取扱量

表一1は、調査ふ頭の昭和57年度における取扱品目とそれらの取扱量と示している。取扱品目の分類方式は「港湾統計に用いるコード表」<sup>4)</sup>（付表）に拠っている。取扱品目を大分類でみると、鉱産品と化学工業品の2つの品目群に分かれている。さらに中分類でみると、鉱産品は、石炭、その他金属鉱、りん鉱石、原塩、その他非金属鉱物の5品目、一方の化学工業品では、石油製品、コークス、その他石炭製品、化学肥料の4品目で、合計9品目を取扱っている。取扱量に関しては、年間の総取扱量は2,238千トンであり、品目別では石炭とその他金属鉱がおのおの800千トンを越え両者の合計は総取扱量の75.1%を占めている。その他100千トンを越える品目としては、りん鉱石、原塩がありそれらの品目の合計は282千トンで全体の12.6%を占めている。よって、上位4品目で全体の取扱量の87.7%を占めていることになる。

以上から調査ふ頭は、多品目（9品目）の貨物を取扱っているが、取扱量の大部分（90%弱）は少品目（4品目）によって占められているのが特徴（ターミナルカラー）

表一1 調査ふ頭のターミナルカラー

（昭和57年度）

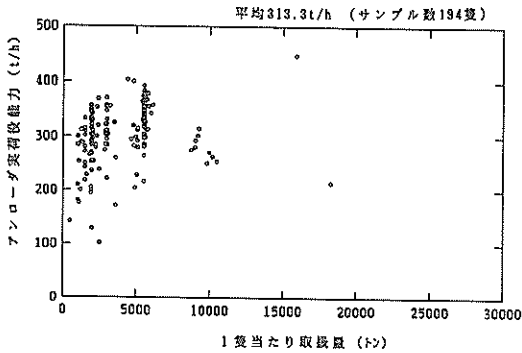
| 大分類／中分類  | 取扱量（千トン）      | 隻数  | 1隻当たり取扱量（トン） |
|----------|---------------|-----|--------------|
| 鉱産品      | 1,997 (89.2%) | 352 | 5,673        |
| 石炭       | 859 (38.4%)   | 194 | 4,428        |
| その他金属鉱   | 822 (36.7%)   | 88  | 9,341        |
| りん鉱石     | 162 (7.2%)    | 35  | 4,635        |
| 原塩       | 120 (5.3%)    | 11  | 10,919       |
| その他非金属鉱物 | 34 (1.5%)     | 24  | 1,421        |
| 化学工業品    | 241 (10.8%)   | 89  | 2,708        |
| 石油製品     | 51 (2.2%)     | 20  | 2,540        |
| コークス     | 72 (3.2%)     | 7   | 10,346       |
| その他石炭製品  | 21 (0.9%)     | 16  | 1,295        |
| 化学肥料     | 97 (4.3%)     | 46  | 2,100        |
| 計        | 2,238 (100%)  | 441 | 平均 5,075     |

である。

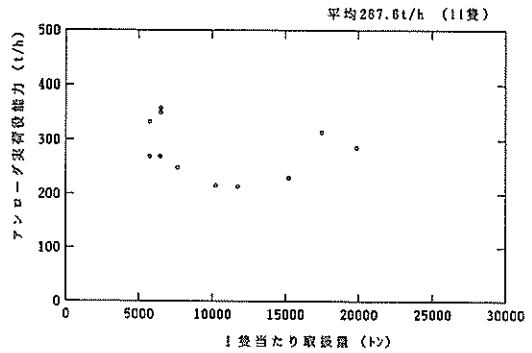
## II. ふ頭荷役能力

調査ふ頭に設置されているアンローダは、石炭を標準対象品目とした計算陸揚げ能力（公称能力）が315t/hのアンローダである。このアンローダが実際にどの程度の荷役能力（実荷役能力）を示すかをみる。

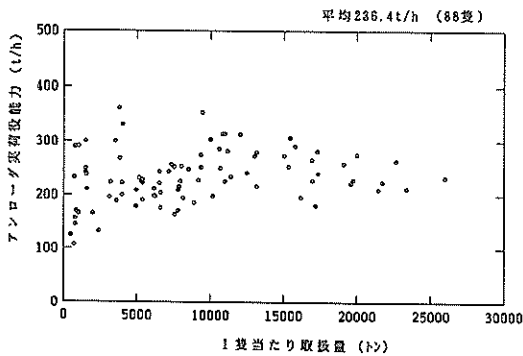
図一6は品目別に、1隻当たりの取扱量とアンローダ1基の実荷役能力の相関を示したものである。これらの図から、品目別に実荷役能力の値は異なる傾向にあり、1隻当たりの取扱量と実荷役能力との相関は小さいといえる。<sup>1)</sup> 実荷役能力を平均値で見ると、石炭が313.3t/hと一番高く、つぎに、原塩の267.6t/h、その他金属



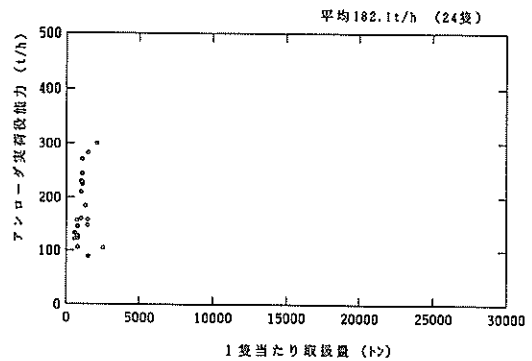
図一6 (a)石炭



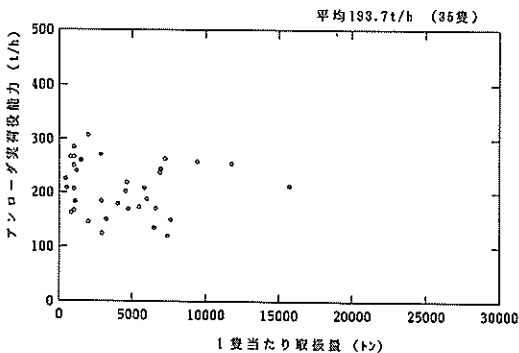
図一6 (d)原塩



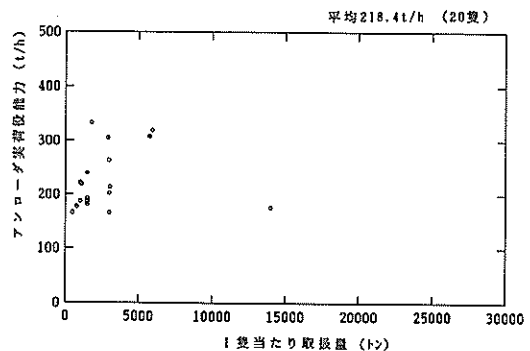
図一6 (b)その他金属鉱



図一6 (e)その他非金属鉱物



図一6 (c)りん鉱石



図一6 (f)石油製品

図一6 品目別アンローダ実荷役能力



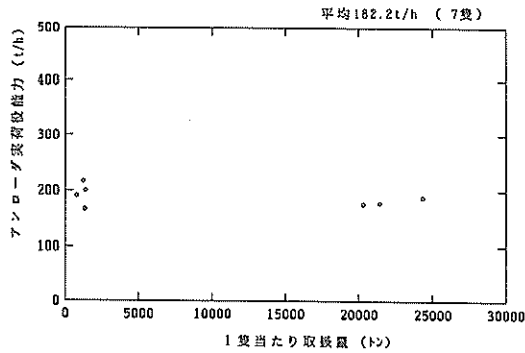


図-6 (g)コークス

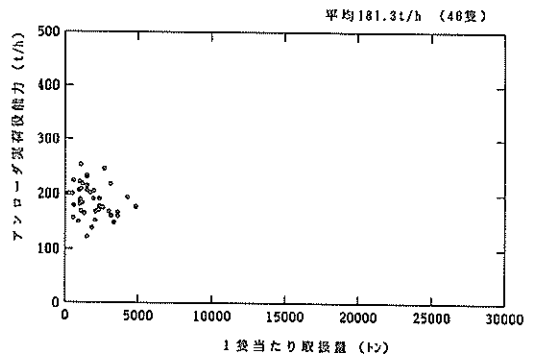


図-6 (i)化学肥料

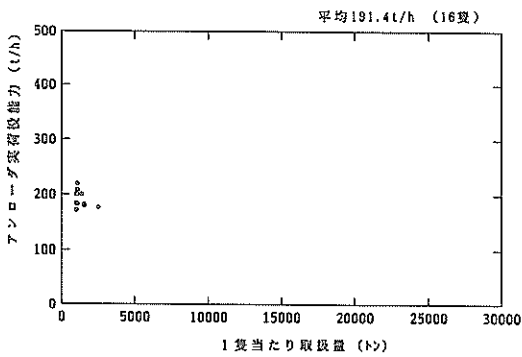


図-6 (h)その他石炭製品

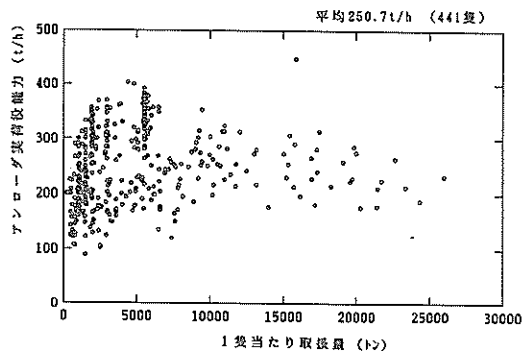


図-6 (j)全体

図-6 品目別アンローダ実荷役能力(つづき)

鉱の236.4t/hの順となり、石炭の実荷役能力が高くなっている。また、全体の実荷役能力の平均値は250.7t/hであった。

ここでさらに、実荷役能力と強い相関があると思われる船型およびハッチ開口面積について相関をみている。図-7には、船型と実荷役能力の関係を示したが、それ

らの間には大きな相関みられない。図-8は船型とハッチ数の相関を、図-9では船型とハッチ開口面積の相関を示した。これら2つの図から船型が大きくなるに従ってハッチ数は多くなるが、ハッチ開口面積が大きくなるという傾向はみられずむしろハッチ数が一つしかない小型船舶(3,000DWT以下)の方が開口面積が大きくな

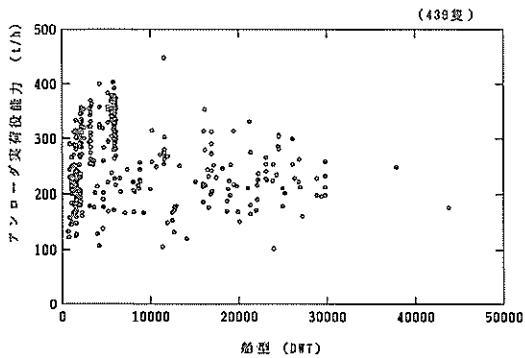


図-7 荷役対象船型とアンローダ実荷役能力の相関

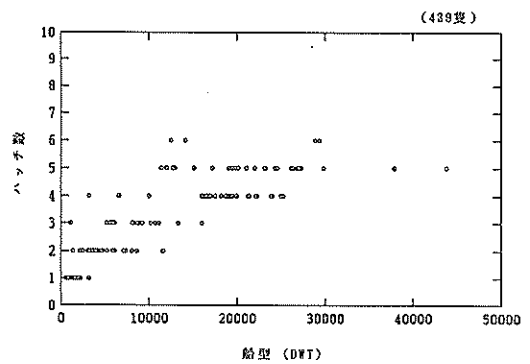


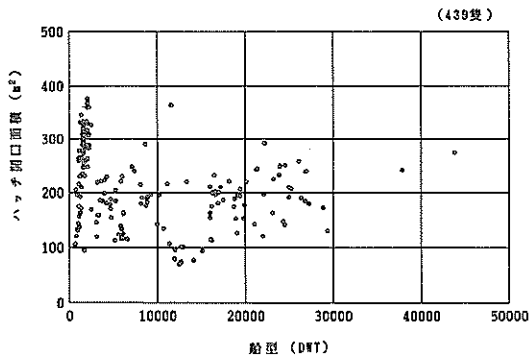
図-8 船型とハッチ数の相関

るといふ傾向もみられる。それによって小型船舶に対する実荷役能力が比較的大きくなる傾向もみられる。以上、アンローダの実荷役能力は、主に品目との相関が顕著であって他のパラメータである1隻当たりの取扱量、船型との相関は小さいという結果を示した。

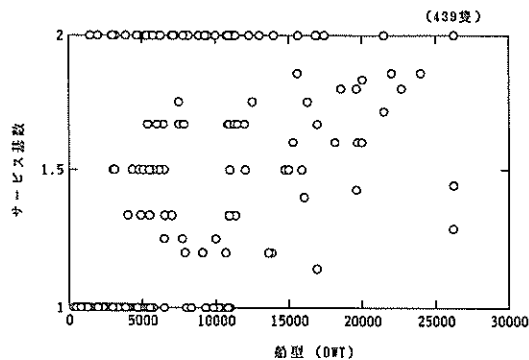
以上で1基当たりのアンローダの実荷役能力を調べてみたが、ここではアンローダが同時に最高2基サービスを行うことができる1バースにおける実荷役能力を調べてみる。図一10は、1バースごとの1隻に対するアンローダのサービス基数の分布を示したものである。この図から取扱量5,000トン以下の比較的小型の船舶ではほとんどの場合アンローダ1基のみで荷役を行い、一方の、11,000トンを越える船舶については1基以上で荷役を行っていることが分かる。そして、1バースの1隻に対する平均サービス基数は1.218基である。よって、1バース当たりの実荷役能力は、

$$250.7 \text{ t/h} \times 1.218 \text{ 基} = 305.4 \text{ t/h}$$

ということができる。



図一9 船型とハッチ開口面積の相関



図一10 1隻に対するアンローダのサービス基数

### Ⅲ. サービス条件

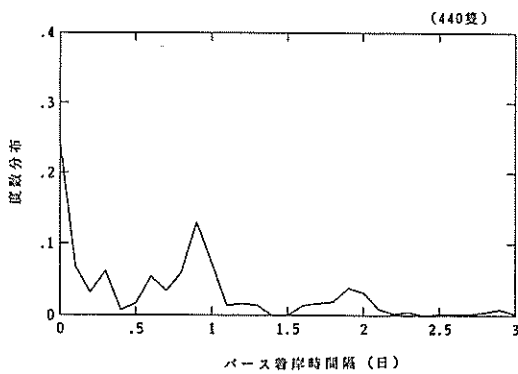
調査ふ頭のサービス条件は、入港規制が日の入から日の出までの年平均12時間(0.5日)であった。現実の船舶の入出港の時間帯を度数分布で示すと表一2のように6時から20時までの時間帯で出入港が行われた。荷役時間規制については、20時00分～8時30分までの12.5時間(0.521日)が規制されていた。さらに、荷役時間中は昼休み(1時間)をとっているので1日の荷役時間は10.5(0.438日)となっている。

### Ⅳ. 船舶挙動

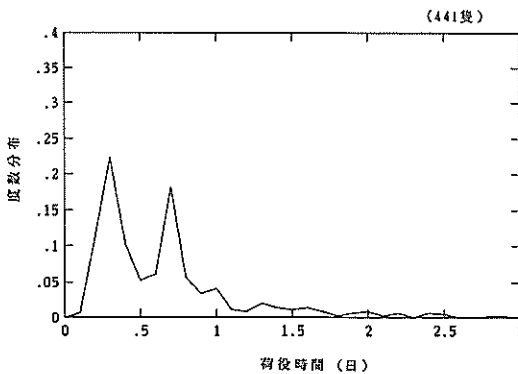
入港時間隔を知るためには、入港時間のデータで求めることになるが、ここではバース着岸時間隔から推測することにする。バース着岸時間隔と入港時間隔の間には平均時間隔値が同一値(年間の平均値)という関係がある。さらに、図一11では、バース着岸時間隔の密度分布を示した。この分布形は、指数分布とレギュラー分布が合成されたいわゆるL形の分布形<sup>9)</sup>を示している。指数分布形の方は船舶が港湾内に入港する場合のランダムな到着の様子を表わしている。レギュラー分布形の方は、入出港時間規制の時間帯がⅢ.で述べたように日の入から日の出までで、年間の一日当たり平均規制時間が

表一2 船舶の入出港時刻

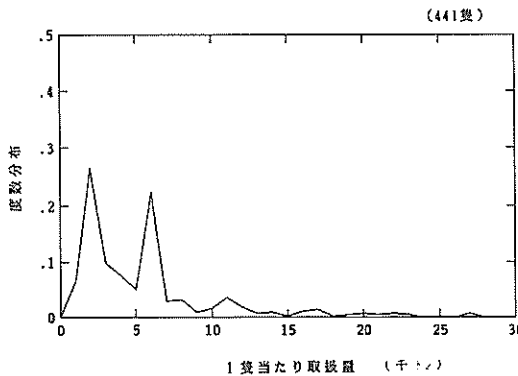
| 時刻 | 入港隻数 | 出港隻数 |
|----|------|------|
| 0  | 0    | 0    |
| 1  | 0    | 0    |
| 2  | 0    | 0    |
| 3  | 0    | 0    |
| 4  | 0    | 0    |
| 5  | 1    | 0    |
| 6  | 16   | 3    |
| 7  | 178  | 15   |
| 8  | 86   | 4    |
| 9  | 27   | 5    |
| 10 | 25   | 8    |
| 11 | 13   | 10   |
| 12 | 14   | 8    |
| 13 | 10   | 15   |
| 14 | 16   | 54   |
| 15 | 21   | 109  |
| 16 | 18   | 75   |
| 17 | 10   | 44   |
| 18 | 5    | 37   |
| 19 | 0    | 24   |
| 20 | 0    | 23   |
| 21 | 0    | 3    |
| 22 | 0    | 4    |
| 23 | 1    | 0    |
| 計  | 441  | 441  |



図一11 バース着岸時間隔分布



図一12 荷役時間分布



図一13 1隻当たり取扱量分布

0.5日となっているために着岸間隔の分布に0.75日を中心とする周りで高い値が出てくるレギュラーな到着の様子が示されている。この0.75日という値は、全域での平均到着時間隔である0.538日と入出港規制の0.5日の2分

の1である0.25日との和0.788とほぼ一致する。以上から、船舶の入港時間隔分布は、平均到着時間隔0.538日の指数分布に従うランダム到着と考えられる。

図一12は、荷役機械の1隻に対する荷役時間の密度分布を示している。荷役時間は、この分布形から、平均値0.3日のアーラン分布と平均値0.7日のアーラン分布が重なった平均値0.662日のL形分布を示すといえる。荷役時間分布がL形の分布形を示す原因をブレイクダウンしてみる。図一13は1隻当たりの取扱量の密度分布を示したものである。この図から2,500トンと5,500トンの周りに2つにピーク値をもつ分布形となっている。II. で求めた1バース当たりの実荷役能力である305.4 t/hでこれら2つのピーク値を除くとそれぞれ8.2 h (0.441日)、18.0 h (0.750日)となり、荷役時間分布の2つのピーク値とよく一致する。すなわち、荷役時間分布は、1隻当たりの取扱量分布と1バース当たりの実荷役能力を算出することによって分布形を推定することができると考えられる。

## 5. 荷役時間規制を加味した

### 待ち合せモデルの図表

ここでは、3. III. で述べたふ頭のサービス条件である入出港時間規制、荷役時間規制を加味したふ頭整備の計画手法について検討を行う。

ふ頭計画の手法について一般的に待ち合せモデルを適用する場合には、船舶を客、バースを窓口としてふ頭システムをモデル化し、船舶の挙動をシミュレートする方法がとられている。<sup>3)</sup> その場合、船舶の到着時間隔分布、船舶へのサービス時間隔分布が決まると平均在港隻数は、待ち合せモデルの数表などから求めることができる。しかし、入出港時間規制、荷役時間規制などのふ頭のサービス条件を加味した待ち合せモデルの数表は作成されていないのが現状である。そこで、これらのサービス条件を加味した待ち合せモデルのシミュレーションをつくり、入出港時間規制、荷役時間規制がある場合の平均在港隻数について検討を行いそれらの図表を作成した。

#### 5.1 待ち合せモデルの構造と図表

今回作成した待ち合せモデルは、イベントの変化（例えば船舶の接岸や離岸など）に着目する EVENT - SEQUENCE 法に基づいたシミュレーションモデルである。図一14にその構造と機能を示した。モデルは基本的に4個の副プログラムとこれらに関連づける主プログラムから構成されている。これらのプログラムによってふ頭における船舶の挙動をシミュレートすることができ

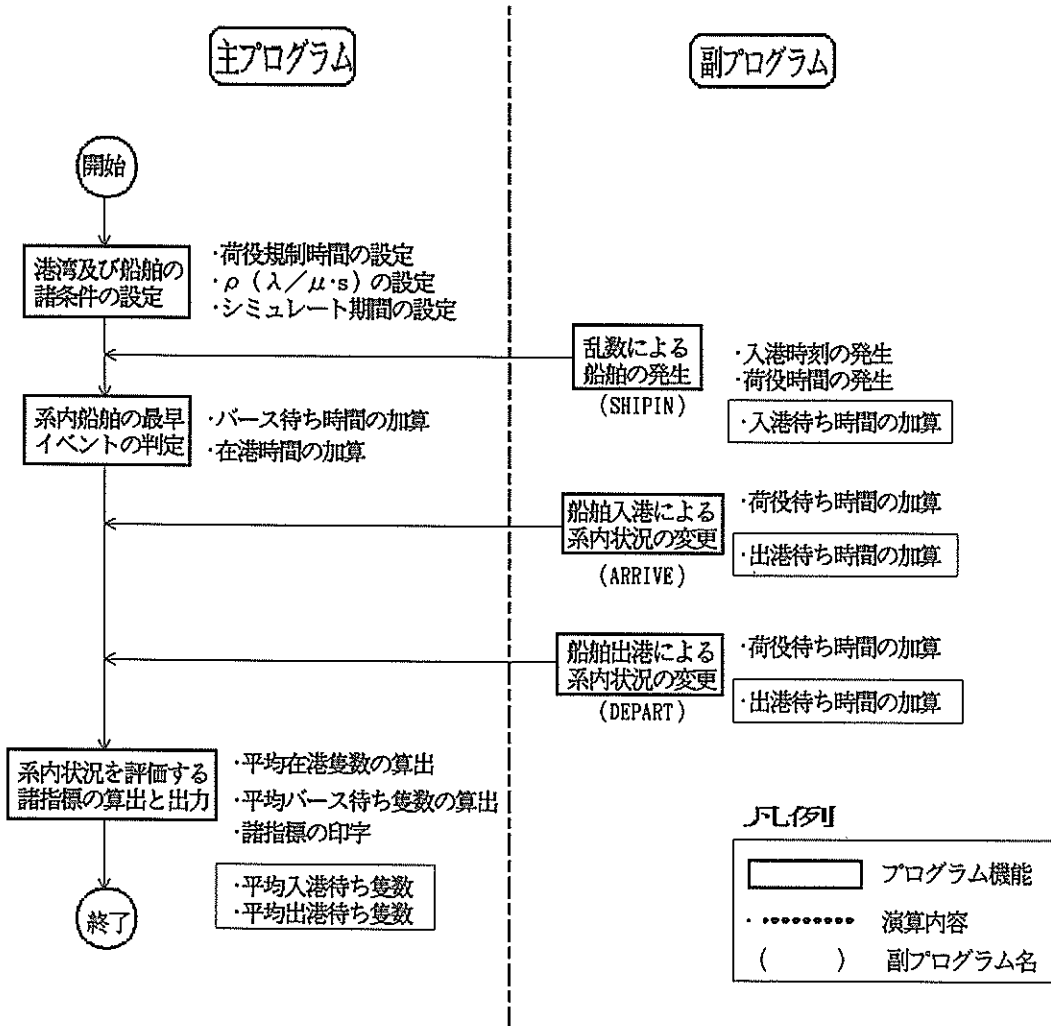


図-14 待ち合せモデルの構造と機能

る。プログラムの内容は図-15の通りである。

本モデルのキャリブレーションについては、以下の手順で行った。まず、到着時間隔分布および荷役時間分布はともに指数分布に従うものとした。ついで、平均在港隻数 ( $L$ ) を次式により求めた。

その際の条件として、

荷役率 ( $\mu$ ) = 1 隻/日

バース数 ( $s$ ) = 1 ~ 10 (整数)

バース利用率 ( $\rho$ ) = 0.05 ~ 0.8

を設定した。

$$L_q = \frac{\lambda \mu a^2}{(s-1)! (s\mu - \lambda)^2} P_0$$

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{s-1} \frac{a^n}{n!} + \frac{a^s}{(s-1)! (s-a)}}$$

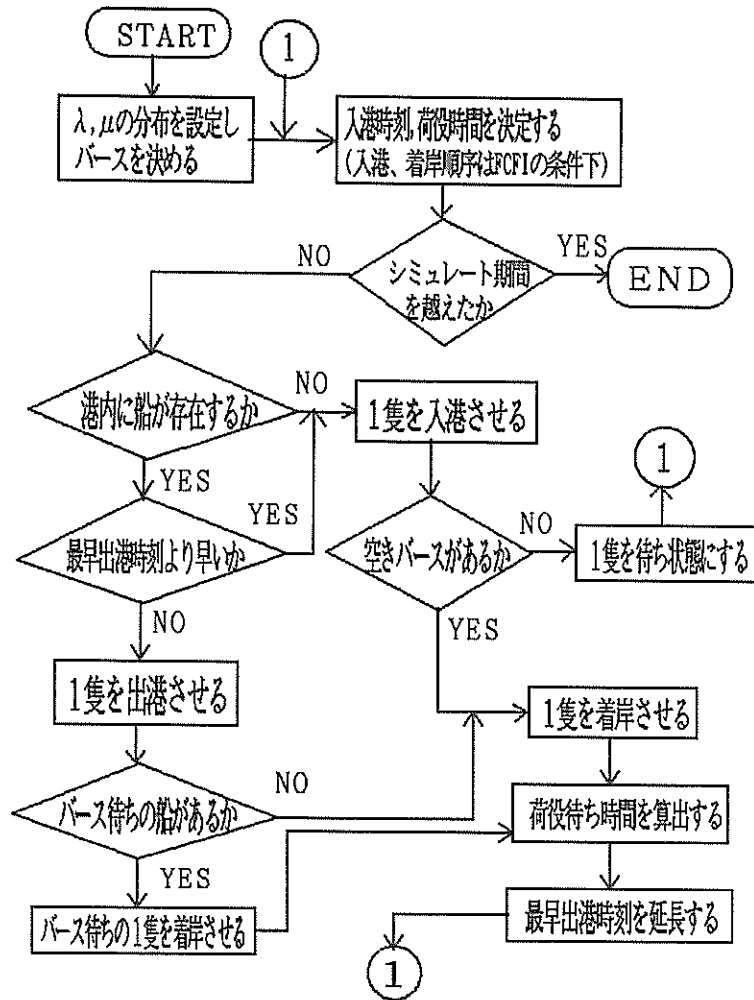
$$L = L_q + a$$

ここで、

$\lambda$  : 到着率

$a$  :  $\frac{\lambda}{\mu}$

$L_q$  : 平均バース待ち隻数



図一五 待ち合せシミュレーションプログラムの内容

同じ条件の場合を、本モデルによってシミュレートし、平均在港隻数を求めた。各ケースについて、20年間に相当する期間を10回繰り返し、その平均値をとって、上述の理論値と比較した結果を表一3に示す。全体の精度としては2%以下という値が出ており、本モデルの精度は十分であると判断される。

本モデルにより検討する待ち合せ現象の基本的な条件をケンドールの記法によって以下のように設定した。

- ①  $M/M/s$  ( $s = 1 \sim 10$ )
- ②  $M/E_2/s$  ( $s = 1 \sim 10$ )
- ③  $M/E_3/s$  ( $s = 1 \sim 10$ )

④  $M/D/s$  ( $s = 1 \sim 10$ )

サービス条件は、入出港時間規制型のみの場合には規制時間帯が決まれば算術的に平均在港隻数の近似値を求めることができる。<sup>6)</sup> また、入出港時間規制と荷役時間規制を同時に加味する入出港時間規制・荷役時間規制型の場合には、規制時間帯が等しければ平均在港隻数は荷役時間規制型のみの場合と全く等しくなる。よって、ここでは荷役時間規制型の1ケースについてのみシミュレートすることにした。

よってふ頭のサービス条件はつぎの通り想定した。すなわちサービス規制の形態として荷役時間規制型をとり、

表一3 シミュレーションの精度

上段：計算値(L) 下段：精度

| $\rho/s$ | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0.05     | 0.0532 | 0.0986 | 0.1495 | 0.2021 | 0.2506 | 0.2992 | 0.3490 | 0.3990 | 0.4512 | 0.4988 |
|          | 1.0105 | 0.9835 | 0.9964 | 1.0105 | 1.0022 | 0.9973 | 0.9972 | 0.9994 | 1.0027 | 0.9976 |
| 0.1      | 0.1120 | 0.1956 | 0.3067 | 0.3979 | 0.4981 | 0.5992 | 0.7039 | 0.8023 | 0.9001 | 0.9951 |
|          | 1.0081 | 0.9683 | 1.0210 | 0.9945 | 0.9961 | 0.9986 | 1.0055 | 1.0029 | 1.0001 | 0.9951 |
| 0.2      | 0.2483 | 0.4148 | 0.6086 | 0.7973 | 0.9952 | 1.2068 | 1.4021 | 1.5981 | 1.8110 | 2.0019 |
|          | 0.9931 | 0.9956 | 1.0041 | 0.9937 | 0.9943 | 1.0054 | 1.0014 | 0.9988 | 1.0061 | 1.0010 |
| 0.3      | 0.4220 | 0.6588 | 0.9363 | 1.2071 | 1.5096 | 1.7942 | 2.0967 | 2.3908 | 2.7143 | 3.0013 |
|          | 0.9846 | 0.9992 | 1.0068 | 0.9928 | 1.0007 | 0.9942 | 0.9972 | 0.9955 | 1.0050 | 1.0003 |
| 0.4      | 0.6732 | 0.9507 | 1.3051 | 1.6496 | 2.0450 | 2.4274 | 2.8124 | 3.2002 | 3.6122 | 4.0050 |
|          | 1.0098 | 0.9983 | 1.0085 | 0.9935 | 1.0026 | 1.0003 | 0.9980 | 0.9962 | 1.0010 | 0.9998 |
| 0.5      | 0.9850 | 1.3270 | 1.7477 | 2.1921 | 2.6228 | 3.0988 | 3.5883 | 4.0681 | 4.5208 | 5.0658 |
|          | 0.9850 | 0.9953 | 1.0062 | 1.0084 | 0.9971 | 0.9999 | 1.0034 | 1.0022 | 0.9944 | 1.0059 |
| 0.6      | 1.5585 | 1.8868 | 2.3140 | 2.8487 | 3.3848 | 3.8806 | 4.4786 | 5.0517 | 5.5869 | 6.1810 |
|          | 1.0390 | 1.0063 | 0.9922 | 1.0064 | 1.0091 | 0.9963 | 1.0070 | 1.0085 | 1.0016 | 1.0047 |
| 0.7      | 2.2836 | 2.7072 | 3.2184 | 3.8624 | 4.4303 | 5.0064 | 5.6790 | 6.2749 | 6.9140 | 7.5978 |
|          | 0.9787 | 0.9862 | 0.9906 | 1.0164 | 1.0111 | 1.0045 | 1.0138 | 1.0070 | 1.0063 | 1.0107 |
| 0.8      | 3.9808 | 4.4925 | 5.0467 | 5.6686 | 6.2805 | 7.0191 | 7.6424 | 8.3765 | 9.0831 | 9.7082 |
|          | 0.9952 | 1.0108 | 1.0116 | 1.0148 | 1.0103 | 1.0215 | 1.0131 | 1.0177 | 1.0173 | 1.0074 |

$M/M/s$  ( $s=1$ ) 型の荷役時間規制率  $\sigma=0$  の場合

その場合の荷役時間規制率 ( $\sigma$ ) を  $0/24$ ,  $4/24$ ,  $8/24$ ,  $12/24$ ,  $16/24$ ,  $20/24$  の6通りとした。

以上の条件における待ち合せモデルのシミュレーションを実施した平均在港隻数の算出結果を図一16(17~28p)に荷役時間規制率別に示した。

### 5.2 図表の使用例

ここでは、5. で作成した荷役時間規制を加味した待ち合せモデルの図表を用いてふ頭整備問題についての2つの例題を考察してみる。

(例題1) 取扱貨物量, 入港隻数, 1バース当たり実荷役能力, 荷役規制時間, 待ち合せ現象の型, 船費単価, バース整備費単価が既知の場合の最適バース数の決定

<解説>ふ頭整備の設定条件をつぎのように仮定する。

|                    |                           |
|--------------------|---------------------------|
| 年間取扱貨物量            | 2,238,000 トン/年            |
| 年間入港隻数             | 441 隻/年                   |
| 1バース当たり実荷役能力       | 305.4 t/h                 |
| 荷役規制時間             | 12 h/日 ( $\sigma=12/24$ ) |
| バース整備費単価 ( $C_b$ ) | 120 千円/バース・日              |
| 船費単価 ( $C_l$ )     | 650 千円/隻・日                |

待ち合せ現象の型

$M/E_2/s$  型

ただし、バース整備費は昭和63年度現在におけるバースおよびアンローダの建造費の実績を耐用年数40年として算出した値である。船費については、15000 DWTの石炭専用船の昭和63年度における1日当たり滞船料の一例を用いて代用した。

ふ頭における総輸送費 ( $C$ ) は、

$$C = C_b \cdot s + C_l \cdot L = 120 \cdot s + 650 \cdot L \quad \dots (1)$$

であるので、 $C$ が最小となるようなバース数 ( $s$ ) を求めればよい。

ここで、待ち合せ現象が  $M/E_2/s$  型で、荷役時間規制率 ( $\sigma$ ) が  $12/24$  なので図一16.2 (d) の曲線を参照すればよい。 $C$ が最小となる時の  $s$  を求めるためには、 $s$  を変化させてバース利用率 ( $\sigma$ ) を求め、その図から  $L$  をよみとり、式 (1) より  $C$  をもとめて  $C$  が最小となるような  $s$  を捜せばよい。

ここで  $\rho$  は、

表一4 (例題1) バース数を変化させた場合の総輸送費の求め方

| バース数 | バース利用率 | 平均在港隻数   | バース整備費+船費                   | 総輸送費     |
|------|--------|----------|-----------------------------|----------|
| $s$  | $\rho$ | $L$      | $C_0 \cdot s + C_1 \cdot L$ | $C$ (千円) |
| 1    | 0.840  | $\infty$ | 120 + $\infty$              | $\infty$ |
| 2    | 0.420  | 5.50     | 240 + 3575                  | 3815     |
| 3    | 0.280  | 2.00     | 360 + 1300                  | 1660     |
| 4    | 0.210  | 1.70     | 480 + 1105                  | 1585     |
| 5    | 0.168  | 1.50     | 600 + 975                   | 1575     |
| 6    | 0.140  | 1.45     | 720 + 942                   | 1662     |
| 7    | 0.120  | 1.40     | 840 + 910                   | 1750     |
| 8    | 0.105  | 1.38     | 960 + 897                   | 1857     |
| 9    | 0.093  | 1.34     | 1080 + 871                  | 1951     |
| 10   | 0.084  | 1.30     | 1200 + 845                  | 2045     |

$$\begin{aligned} \text{到着率 } (\lambda) &= 441 / 365 = 1.21 \text{ 隻/日} \\ \text{荷役率 } (\mu) &= 305.4 \times 24 \times 441 / 2238000 \\ &= 1.44 \text{ 隻/日} \end{aligned}$$

であるので、

$$\rho = \lambda / (\mu \cdot s) = 1.21 / (1.44 \cdot s) = 0.840 / s$$

となる。

$S$ を1から10まで変化させたときの $\rho$ ,  $L$ ,  $C$ の値は、表一4の通りである。よって、 $s=5$ のとき $C$ は最小値(1,575千円)をとるので、最適バース数は5バースということになる。

(例題2) (例題1)の条件で荷役規制時間を1日当たり12hから16hに上げた場合の損失輸送費

<解説>  $\sigma$ が12/24と16/24の場合の $L$ はそれぞれ図一16.2(d)と図一16.2(e)から読み取れる。それらの差 $\Delta L$ に船費 $C_1$ を乗じれば損失輸送費となる損失船費が求まる。

すなわち

$$\Delta L = 2.5 - 1.5 = 1.0 \text{ 隻/日}$$

なので、この場合の損失輸送費は、

$$1.0 \times 650 = 650 \text{ 千円/日}$$

となる。

## 6. あとがき

2.において合理的な公共ふ頭整備の手順を示し、3.においてはふ頭の特徴を4分類に分けそれらの解説をした。4.では供用中のばら物ふ頭を例にとりふ頭特性について分析を行った。さらに5.においてはサービス条件を加味した待ち合せモデルによって平均在港隻数の図

表を作成し、6.においてその使用例について述べた。

以上より公共ふ頭にとって有用な運営、再整備の合理的手法を提供できたものと考えられる。

今後の問題点は、つぎのような事が考えられる。

(1) 公共ふ頭の運営、再整備計画に当たっては、調査項目が複雑多岐にわたっているので効率的な調査の実施が望まれる。そのためにも既存のふ頭の稼働状況がどのように行われているかを把握することができる高度なモニタリングシステムの整備が望まれる。

(2) 1ターミナルにおける荷役機械の最適基数を割り出すことができる最適荷役機械決定法を実態調査と合わせ理論的に確立することが必要である。

(3) 今回の荷役時間規制を加味した待ち合せモデルはシミュレーションによって解いたものであるが、解析解や数値解の検討も必要である。

(4) 荷役時間規制の問題は、荷役時間規制率 $\sigma$ を荷役率 $\mu$ に乗ずることにより無規制時の図表を使ってある程度対処できると考えられるが、その際、そのやり方がどの範囲まで有効であるかを今回作成したシミュレーションプログラムによって検証する必要がある。

(5) 荷役時間規制時において、船費やバース整備費の比率の変化によってふ頭における総輸送費がどのような変化を示すかをみるための感度分析をおこなう必要がある。

(6) 4.の調査港湾において出てきた取扱量分布が2つの値に集中するL形分布を示す待ち合せモデルについてもシミュレーション等で検討する必要がある。

(1988年11月30日受付)

## 参考文献

- 1) 山谷弘幸, 木村一郎, 中島忠男, 中國嘉治, 秋園純一, 竹内孝之: 水平引込式アンローダの港湾荷役調査事例, 港湾技研資料 No.610, 1988.
- 2) 井上聡史, 山谷弘幸, 浜野悦夫: 港湾荷役機械の全国的実態と機種別特性, 港湾技研資料 No.506, 1984.
- 3) 奥山育英, 笹島博, 早藤能伸, 中井典倫子: ポアソン到着待ち合せモデルの数表, 港湾技術研究所報告, 第13巻1号, 1974.
- 4) 運輸省大臣官房情報部統計課, 港湾統計に用いるコード表, 1986.
- 5) 森村英典, 大前義次: 待ち行列の理論と実際, 日科技連ライブラリー⑦, 1962.
- 6) 工藤和男: 埠頭のシステム設計に関する基礎的研究 運輸省第三港湾建設局, 1982.

## 記号一覧表

- $\sigma$ : 荷役時間規制率で, 例えば1日12時間の荷役規制がある場合は  $12/24 (= 0.5)$  である。
- $\lambda$ : 船舶の港湾への単位時間当たりの到着隻数で“到着率”である。 $1/\lambda$ は平均到着時間隔である。
- $\mu$ : 無規制時 ( $\sigma = 0$ ) における単位時間当た

り平均処理隻数で“荷役率”である。 $1/\mu$ は1隻当たりの平均荷役時間(1隻当たり平均取扱量)/(1バース当たり実荷役能力)となる。

$s$ : バース数

$\rho$ : バース利用率で  $\lambda/\mu s$  である。ここで  $\mu$  は無規制時の値であるので  $\rho$  も無規制時のバース利用率を示す。

$C_b$ : 単位時間当たりのバース整備費単価

$C_l$ : 単位時間当たりの船費単価

$C$ : 単位時間当たりのふ頭における総輸送費

$L$ : 平均在港隻数(平衡状態では  $L = \lambda W$  が成り立つ)

$L_q$ : 平均バース待ち隻数(同  $L_q = \lambda W_q$ )

$W$ : 平均在港時間

$W_q$ : 平均バース待ち時間

$A/B/C$ : 待ち合せ理論で使用されるケンドールの記法で,  $A$ は到着分布,  $B$ はサービス時間分布,  $C$ は窓口の数を示す。

$M$ : ケンドールの記法においては指数分布を示す。

$E_k$ : フェーズ  $k$  のアーラン分布を示す。

$D$ : レギュラー分布を示す。



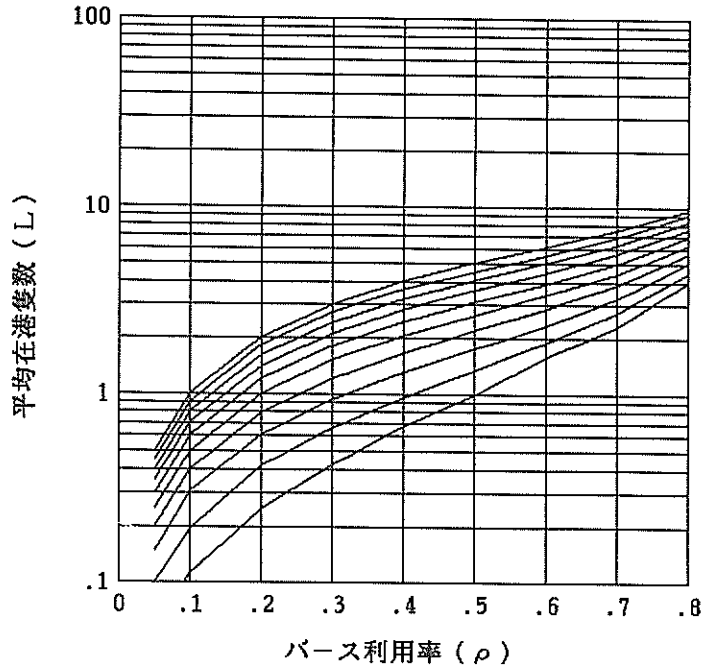


図-16.1 (a)  $M/M/s, \sigma = 0/24$

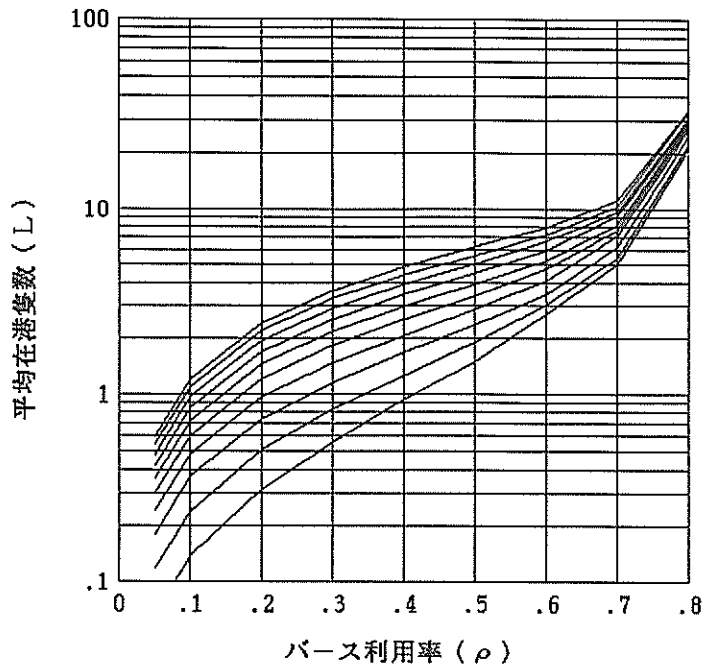


図-16.1 (b)  $M/M/s, \sigma = 4/24$

図-16 荷役時間規制率 (σ) 別平均在港隻数 (L) (下からバス数  $s = 1 \sim 10$ )

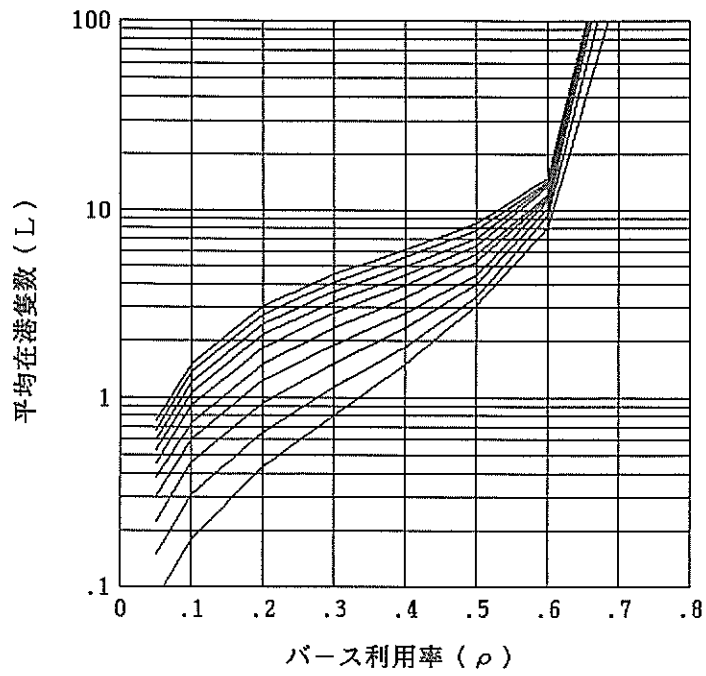


図-16.1 (c)  $M/M/s$ ,  $\sigma = 8/24$

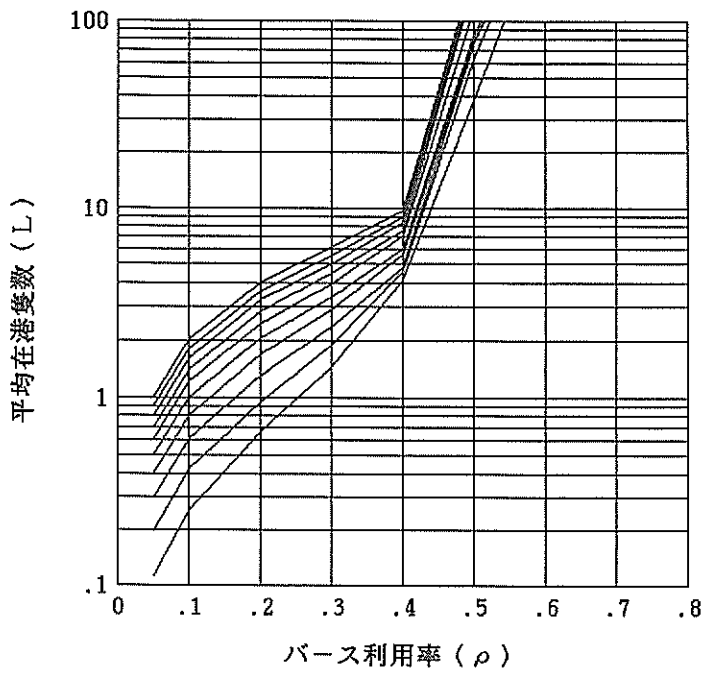


図-16.1 (d)  $M/M/s$ ,  $\sigma = 12/24$

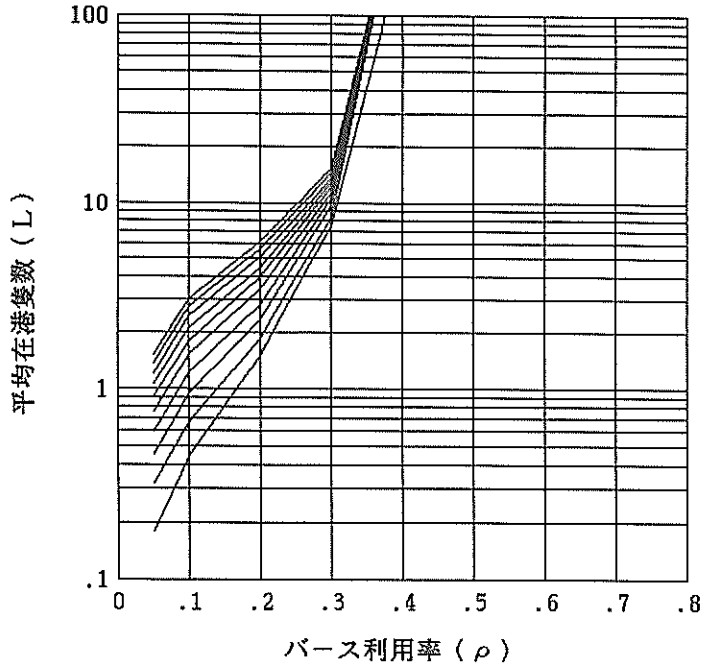


図-16.1 (e)  $M/M/s$ ,  $\sigma = 16/24$

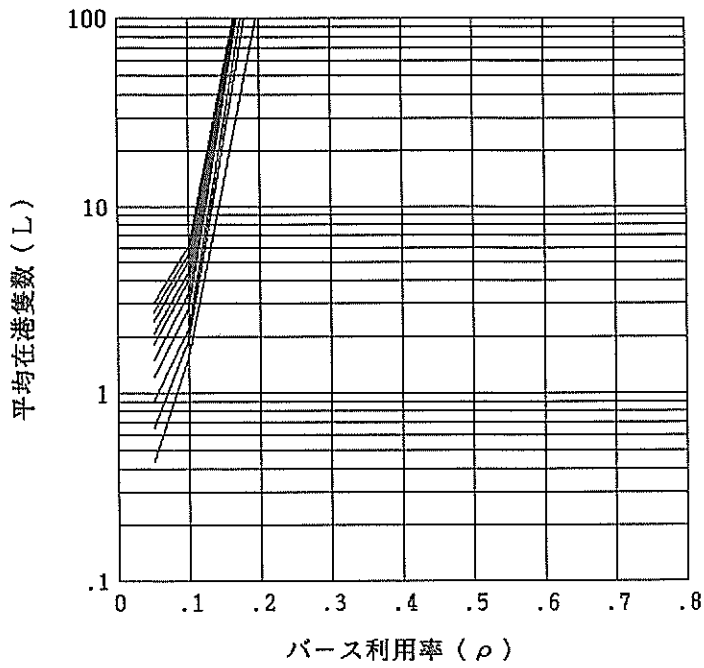


図-16.1 (f)  $M/M/s$ ,  $\sigma = 20/24$

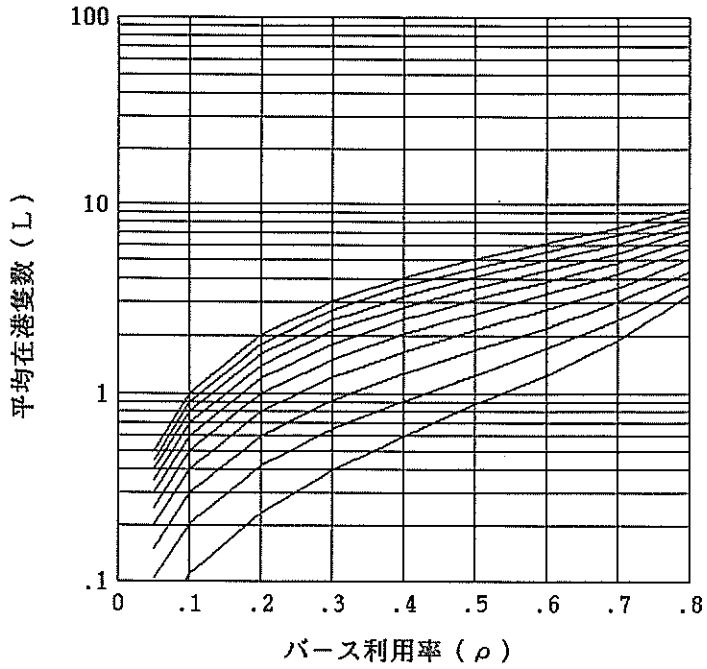


図-16.2 (a)  $M/E_2/s$ ,  $\sigma = 0/24$

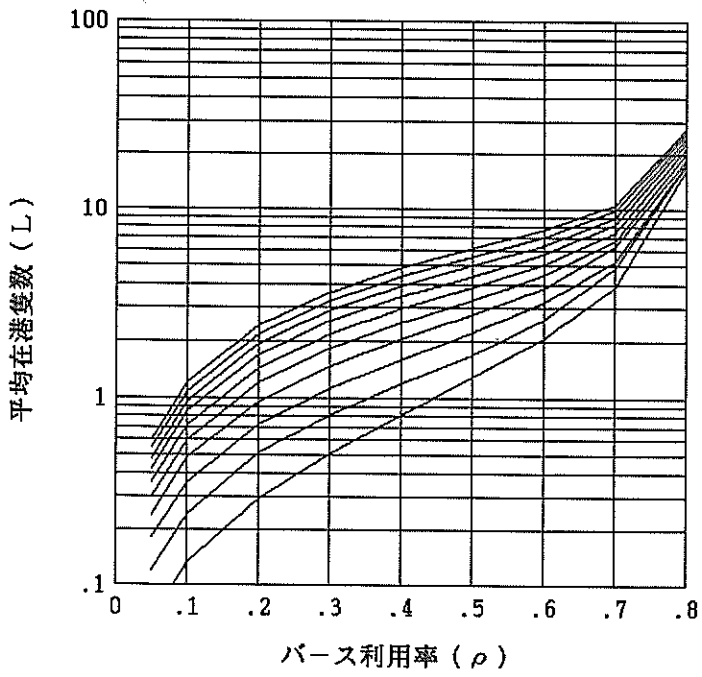


図-16.2 (b)  $M/E_2/s$ ,  $\sigma = 4/24$

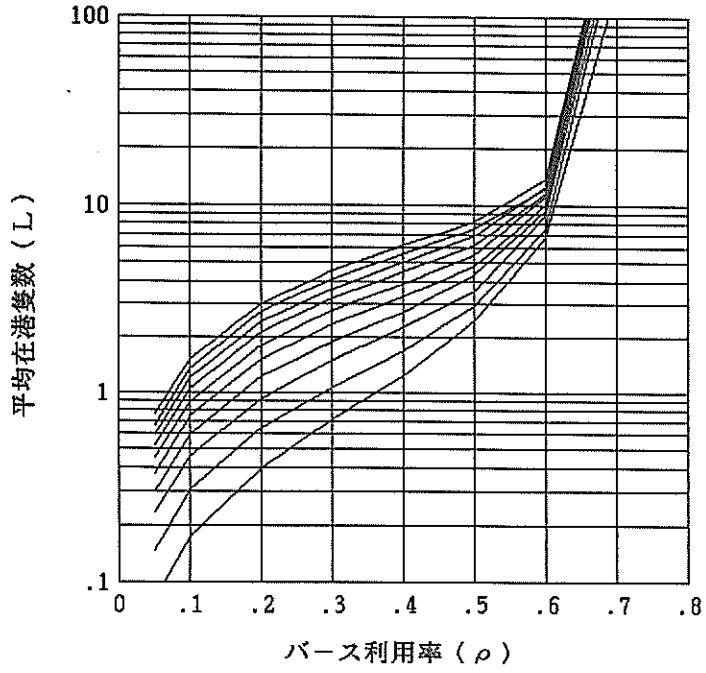


図-16.2 (c)  $M/E_2/s, \sigma = 8/24$

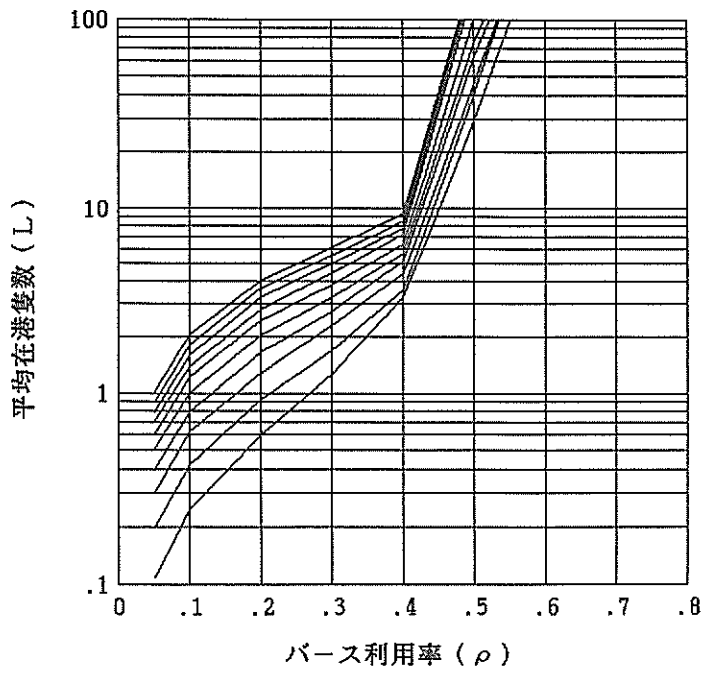


図-16.2 (d)  $M/E_2/s, \sigma = 12/24$

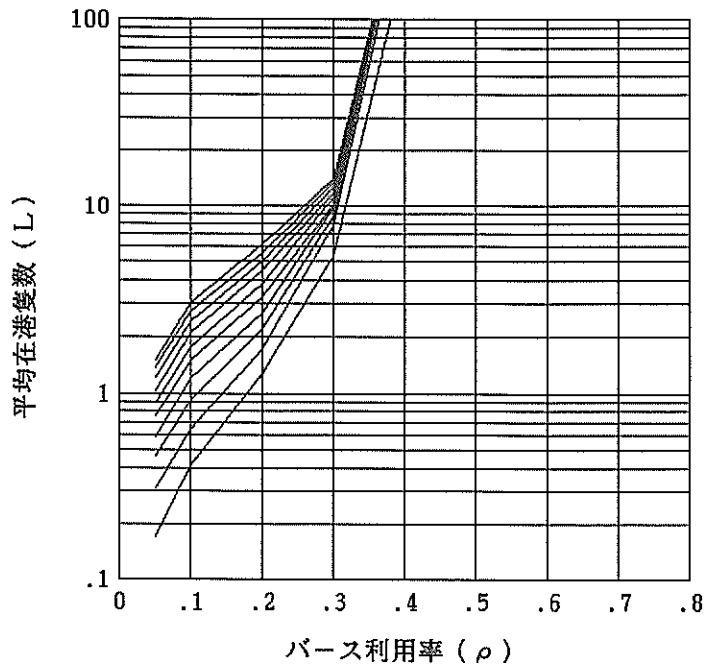


図-16.2 (e)  $M/E_2/s$ ,  $\sigma = 16/24$

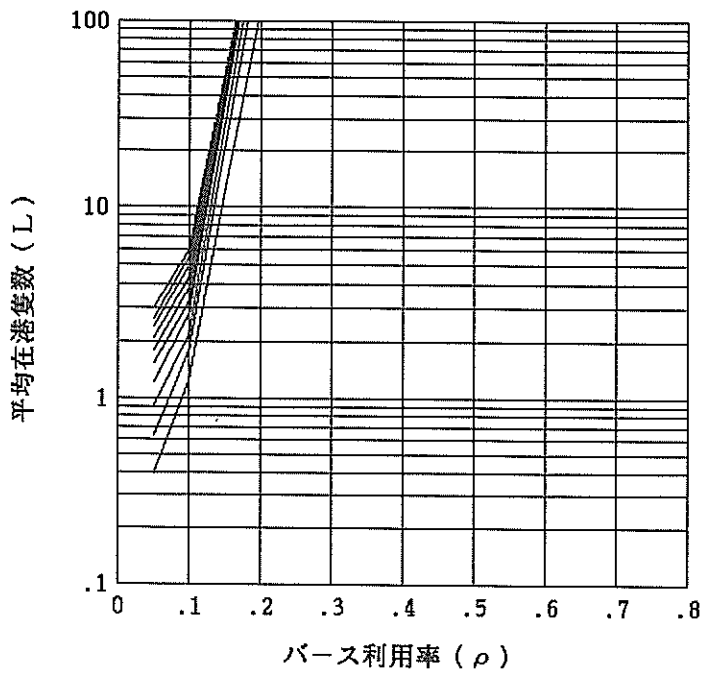


図-16.2 (f)  $M/E_2/s$ ,  $\sigma = 20/24$

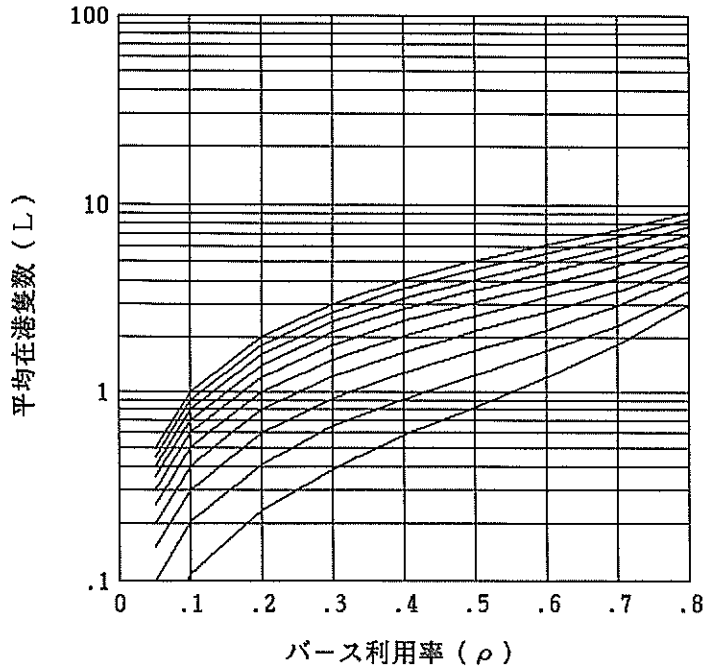


図-16.3 (a)  $M/E_s/s$ ,  $\sigma = 0/24$

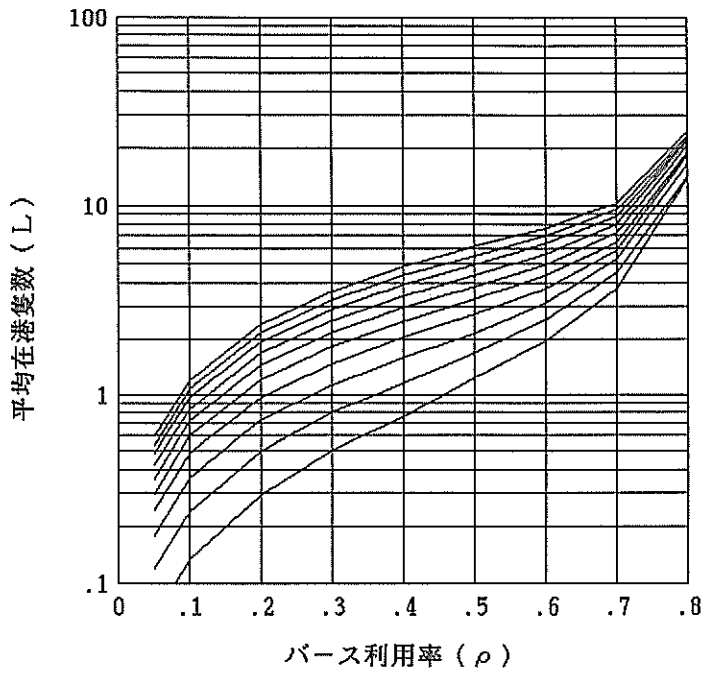


図-16.3 (b)  $M/E_s/s$ ,  $\sigma = 4/24$

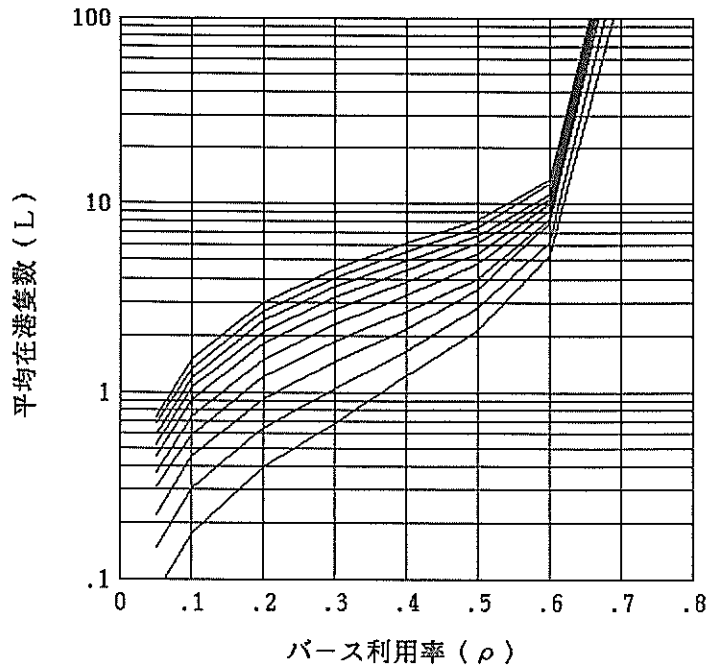


図-16.3 (c)  $M/E_3/s, \sigma = 8/24$

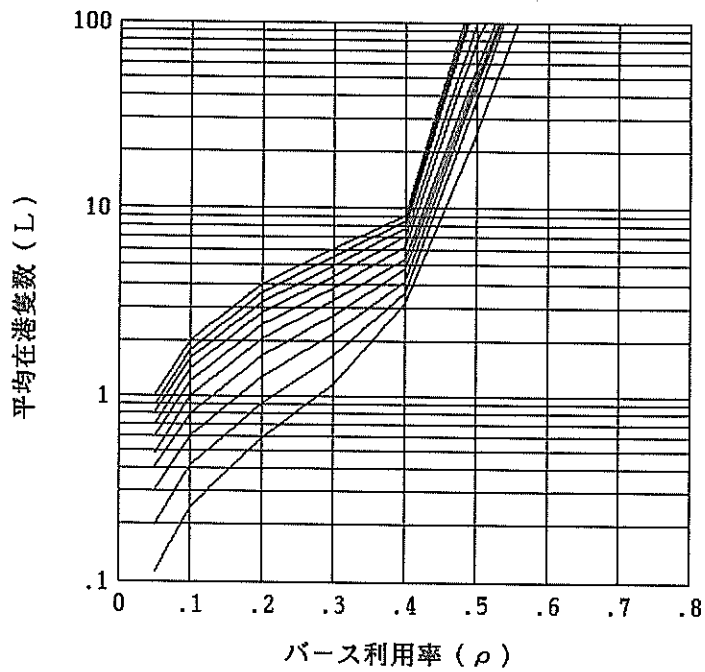


図-16.3 (d)  $M/E_3/s, \sigma = 12/24$



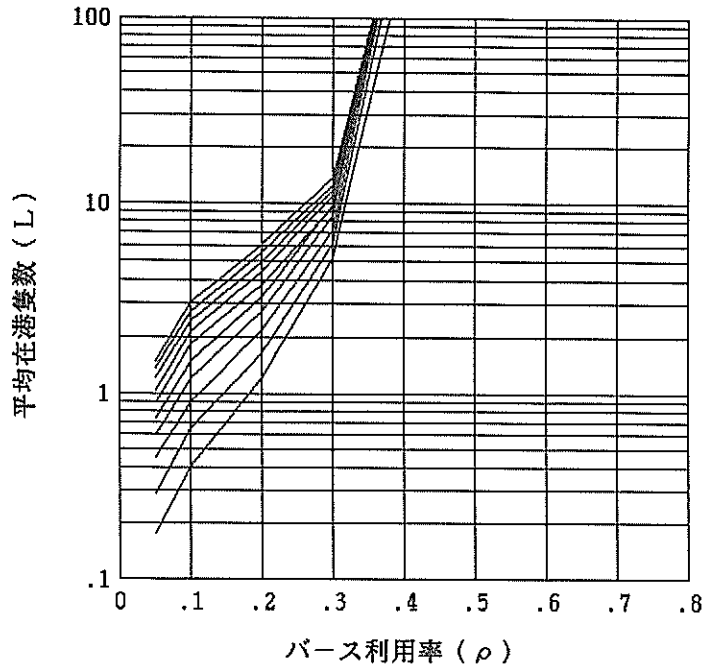


図-16.3 (e)  $M/E_3/s, \sigma = 16/24$

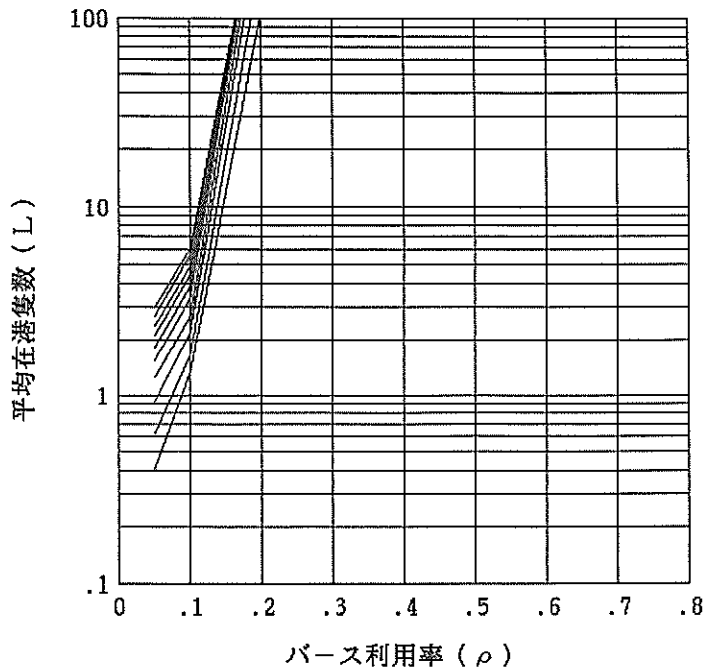


図-16.3 (f)  $M/E_3/s, \sigma = 20/24$

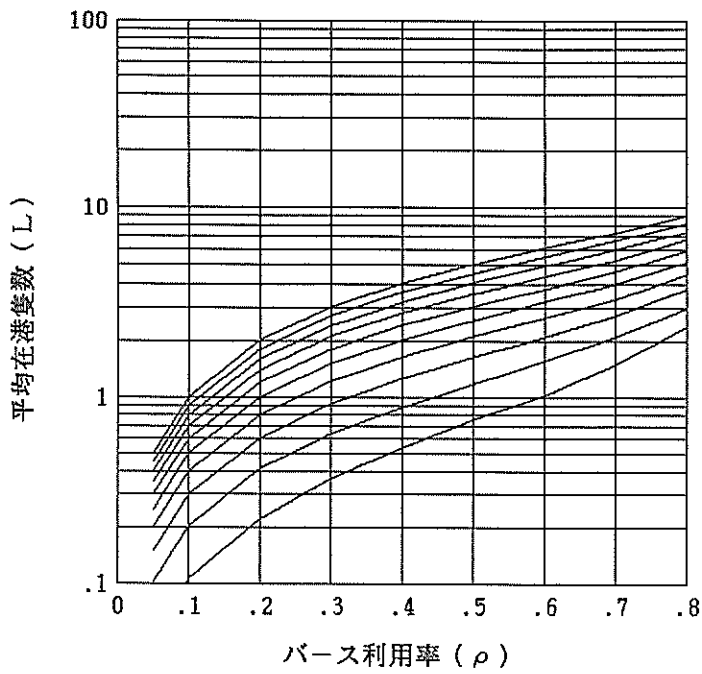


図-16.4 (a)  $M/D/s$ ,  $\sigma = 0/24$

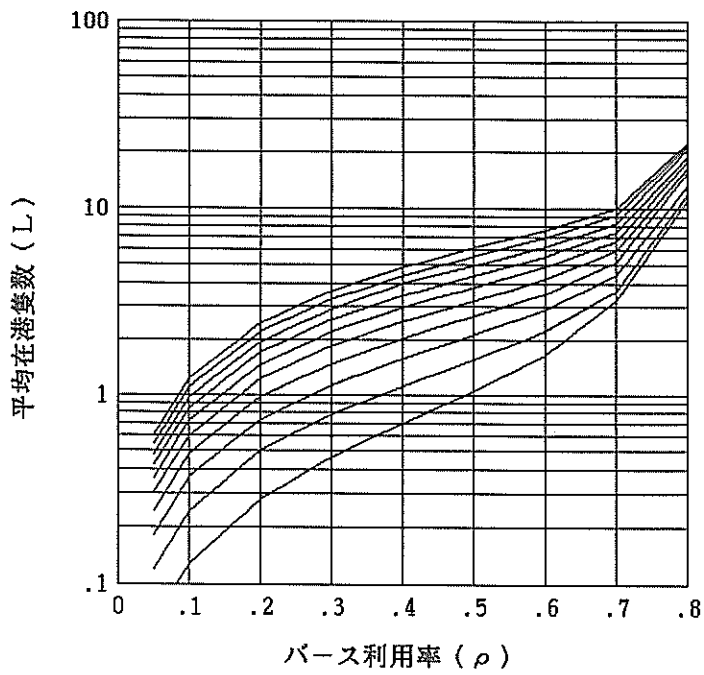


図-16.4 (b)  $M/D/s$ ,  $\sigma = 4/24$

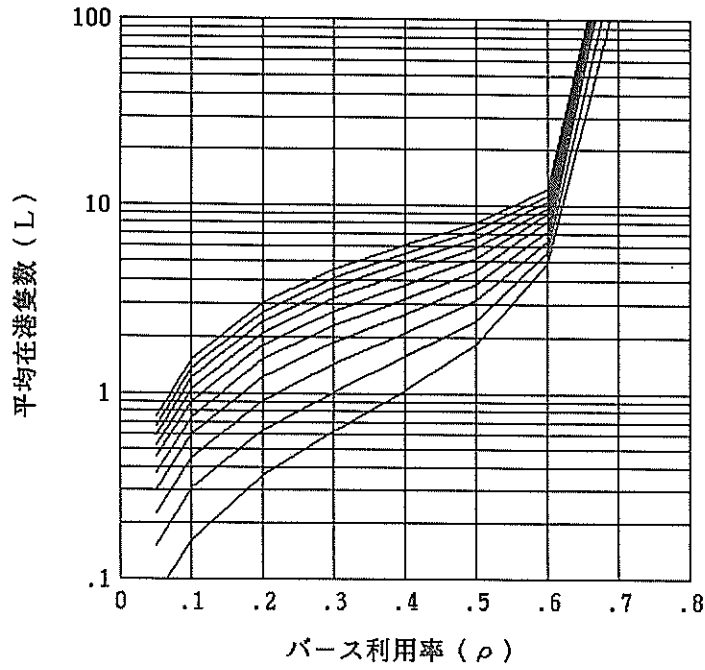


図-16.4 (c)  $M/D/s$ ,  $\sigma = 8/24$

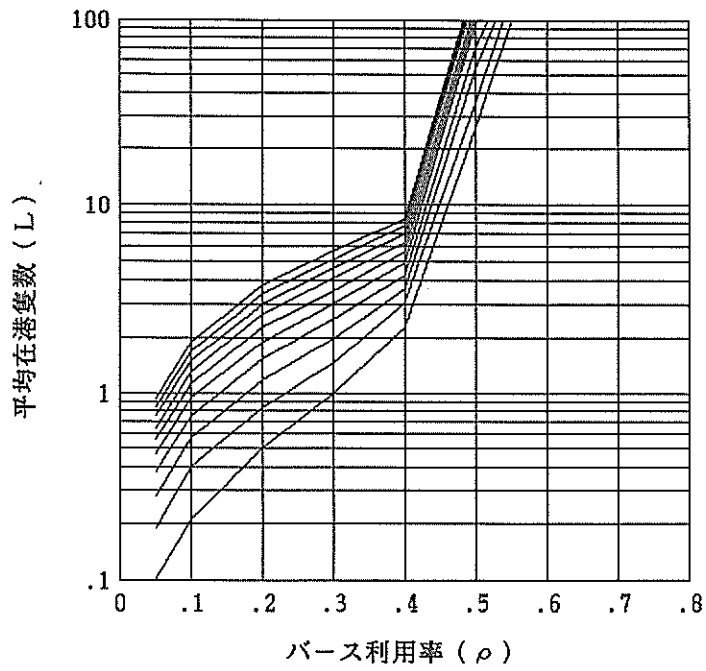


図-16.4 (d)  $M/D/s$ ,  $\sigma = 12/24$

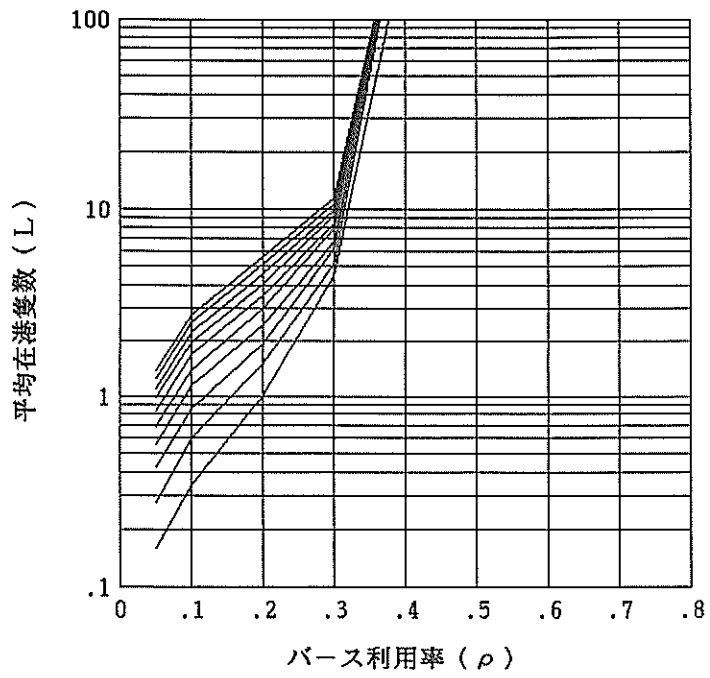


図-16.4 (e)  $M/D/s$ ,  $\sigma = 16/24$

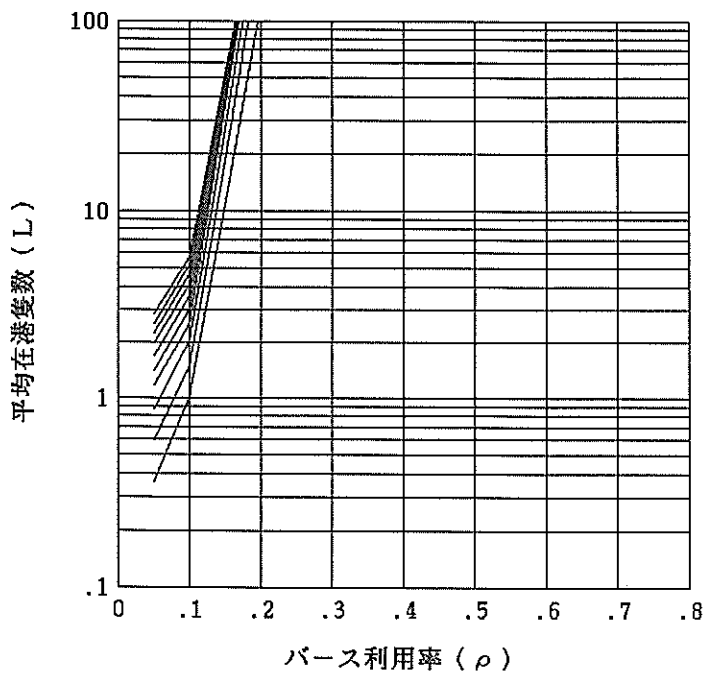


図-16.4 (f)  $M/D/s$ ,  $\sigma = 20/24$

付表 港湾統計に用いるコード表 (品種コード)

| 大分類         | コード      | 中分類             | 小分類               | 共通用        | 共通用 |  |
|-------------|----------|-----------------|-------------------|------------|-----|--|
|             |          |                 |                   | コード        |     |  |
| ① 農水産品      | 01       | 麦               | 麦                 | 011        | 91  |  |
|             | 02       | 米, 雑穀, 豆        | 米                 | 021        |     |  |
|             |          |                 | 雑穀, 豆             | 022        |     |  |
|             | 03       | 野菜, 果物          | いも                | 031        |     |  |
|             |          |                 | 野菜                | 032        |     |  |
|             |          |                 | 果物                | 033        |     |  |
|             | 04       | 綿               | 花                 | 041        |     |  |
|             | 05       | その他農産品          | 工業作物              | 051        |     |  |
| 農産加工品       |          |                 | 052               |            |     |  |
| 他に分類されない農産品 |          |                 | 053               |            |     |  |
| 06          | 羊毛       | 羊毛              | 061               |            |     |  |
| 07          | その他畜産品   | 鳥獣類             | 071               |            |     |  |
|             |          | 鳥獣肉             | 072               |            |     |  |
|             |          | 未加工乳            | 073               |            |     |  |
|             |          | 鳥卵              | 074               |            |     |  |
|             |          | 動物性粗繊維, 豚皮, 豚毛皮 | 075               |            |     |  |
| 08          | 水産品      | 魚(生鮮, 冷凍のもの)    | 081               |            |     |  |
|             |          | 魚介類             | 082               |            |     |  |
|             |          | その他水産品          | 083               |            |     |  |
| ② 林産品       | 09       | 原木              | 木材                | 091<br>092 | 92  |  |
|             | 10       | 樹脂類             | 樹脂類               | 101        |     |  |
|             | 11       | その他木材           | その他木材             | 111        |     |  |
|             |          |                 | 薪類                | 121        |     |  |
| 12          | 炭        | 炭               | 122               |            |     |  |
| ③ 鉱産品       | 13       | 石炭              | 石炭                | 131        | 93  |  |
|             |          |                 | 石炭                | 132        |     |  |
|             | 14       | 鉄鉱石             | 鉄鉱石               | 141        |     |  |
|             |          |                 | 硫化鉄               | 142        |     |  |
|             | 15       | その他金属鉱石         | その他金属鉱石           | 151        |     |  |
|             |          |                 | 非鉄                | 152        |     |  |
|             | 16       | 砂利, 砂, 石材等      | 砂利                | 161        |     |  |
|             |          |                 | 砂, 石材             | 163        |     |  |
|             | 17       | 原油              | 原油                | 171        |     |  |
|             | 18       | りん鉱石            | りん鉱石              | 181        |     |  |
|             | 19       | 石灰石             | 石灰石               | 191        |     |  |
| 20          | 原塩       | 原塩              | 201               |            |     |  |
| 21          | その他非金属鉱物 | その他非金属鉱物        | 211               |            |     |  |
| ④ 金属機械工業品   | 22       | 鉄鋼              | 鉄鋼                | 221        | 94  |  |
|             |          |                 | 鋼材                | 222<br>223 |     |  |
|             | 23       | 非鉄金属            | 合金, 合金鋼           | 231        |     |  |
|             |          |                 | 電線ケーブル            | 232        |     |  |
|             |          |                 | その他非鉄金属           | 233<br>234 |     |  |
|             | 24       | 金属製品            | 建設用金属製品           | 241        |     |  |
|             |          |                 | 建築用金属製品           | 242        |     |  |
|             |          |                 | 材料製品              | 243        |     |  |
|             |          |                 | 刃物, 工具, その他金属製品   | 244<br>245 |     |  |
|             | 25       | 輸送機械            | 鉄道車両              | 251        |     |  |
| 自動車         |          |                 | 252               |            |     |  |
| 自転車及びその他の車両 |          |                 | 253<br>254<br>255 |            |     |  |
| 26          | その他機械    | 産業機械            | 261               |            |     |  |
|             |          | 電気機械            | 262               |            |     |  |
|             |          | 他に分類されない機械      | 263               |            |     |  |
| ⑤ 化学工業品     | 27       | 陶磁器             | 陶磁器               | 271        | 95  |  |
|             | 28       | セメント            | セメント              | 281        |     |  |

| 大分類         | コード      | 中分類             | 小分類            | 共通用        | 共通用 |
|-------------|----------|-----------------|----------------|------------|-----|
|             |          |                 |                | コード        |     |
| ⑥ 化学工業品     | 29       | ガラス類            | ガラス            | 291        | 96  |
|             |          |                 | ガラス製品          | 292        |     |
|             | 30       | その他化学工業品        | セメント           | 301        |     |
|             |          |                 | ガラス            | 302        |     |
|             |          |                 | 他に分類されない化学工業品  | 303<br>304 |     |
|             |          |                 | 重油             | 311        |     |
|             | 32       | 石油製品            | 揮発油            | 321        |     |
|             |          |                 | その他の石油         | 322        |     |
| その他の石油製品    |          |                 | 323            |            |     |
| 33          | コークス     | コークス            | 331            |            |     |
| 34          | その他石炭製品  | その他石炭製品         | 341            |            |     |
| 35          | 化学薬品     | 硫酸              | 351            |            |     |
|             |          | ソーダ             | 352            |            |     |
|             |          | その他化学薬品         | 353            |            |     |
| 36          | 化学肥料     | 窒素肥料            | 361            |            |     |
|             |          | りん酸肥料           | 362            |            |     |
|             |          | 加里肥料            | 363            |            |     |
|             |          | その他化学肥料         | 364            |            |     |
| 37          | 染料, 塗料   | 染料              | 371            |            |     |
|             |          | 合成樹脂            | 372            |            |     |
|             |          | その他化学工業品        | 373<br>374     |            |     |
| ⑦ 軽工業品      | 38       | 紙, パルプ          | パルプ            | 381        | 96  |
|             |          |                 | 紙              | 382        |     |
|             | 39       | 糸及び紡績半製品        | 糸及び紡績半製品       | 391        |     |
|             |          |                 | 織物             | 401        |     |
| 40          | その他繊維工業品 | 織物              | 401            |            |     |
| 41          | 砂糖       | 砂糖              | 411            |            |     |
| 42          | その他食料工業品 | 製菓              | 421            |            |     |
|             |          | 他に分類されない食料工業品   | 422<br>423     |            |     |
| ⑧ 雑工業品      | 43       | がん具             | がん具            | 431        | 97  |
|             |          |                 | 日用品            | 441        |     |
|             | 44       | 日用品             | 書籍, 印刷物        | 442        |     |
|             |          |                 | 衣類, 身の用品, はきもの | 443        |     |
|             |          |                 | 文具, 運動娯楽用品     | 444        |     |
|             |          |                 | 楽器             | 445        |     |
|             |          |                 | 家具, 装飾品        | 446        |     |
|             |          |                 | 衛生, 寝具用品       | 447        |     |
|             |          |                 | 台所及び食卓用品       | 448        |     |
|             |          |                 | 装飾用品           | 449        |     |
| 他に分類されない日用品 | 448      |                 |                |            |     |
| 45          | ゴム製品     | ゴム製品            | 451            |            |     |
| 46          | 木製品      | 木製品(他に分類されないもの) | 461            |            |     |
| 47          | その他製造工業品 | 皮革製品            | 471            |            |     |
|             |          | 他に分類されない製造工業品   | 472            |            |     |
| ⑨ 特殊品       | 48       | 金属くず            | 鉄くず            | 481        | 98  |
|             |          |                 | 非鉄金属くず         | 482        |     |
|             | 49       | くずもの            | 核燃料スクラップ       | 483        |     |
|             |          |                 | くずもの           | 491        |     |
|             | 50       | 動物性・植物性製造肥料     | 動物性・植物性製造肥料    | 501        |     |
| 51          | 陶薬物      | 陶土              | 511            |            |     |
|             |          | その他の陶薬物         | 512<br>513     |            |     |
| 52          | 輸送用容器    | 金属製輸送用容器        | 521            |            |     |
|             |          | その他の輸送用容器       | 522            |            |     |
| 53          | 取合せ品     | 引越荷物            | 531            |            |     |
|             |          | 自動車運賃貨物         | 532<br>533     |            |     |
| ⑩ 分類不能のもの   | 54       | 分類不能のもの         | 分類不能のもの        | 541        | 99  |
|             |          |                 | 分類不能のもの        | 541        |     |

港湾技研資料 No. 646

1989.3

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所  
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 阿部写真印刷株式会社

Published by the Port and Harbour Research Institute  
Nagase, Yokosuka, Japan.