

運輸省 港湾技術研究所 正員 奥山育英

運輸省 港湾技術研究所 正員 山口田 登

1. まえがき

港湾計画の立案にあたって、目標年次における取扱貨物量が推計されると次に問題となるのは施設の規模の決定である。ことに必要バース数を求める事は重要であり、これ迄通常用いられてきた方法は、推計された品目別の貨物量に基づき、各バースの整備水準を念頭において計画立案者が貨物を張り付けて行く方法であった。

ここに紹介する方法は、バースの整備水準という概念とは別の待ち合せ理論に費用をとり入れた判断基準を採用する事により、港湾における最適埠頭数を求めようとするものである。なお、本報告ではバース数の決定に関する方法論について概説すると共に、それが港湾計画の実務面において利用し易いように図表を作成したので、その利用方法についてもふれる事とする。

2. 最適埠頭数の決定方法

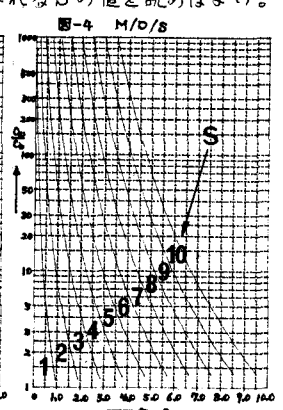
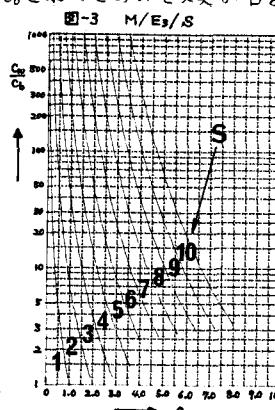
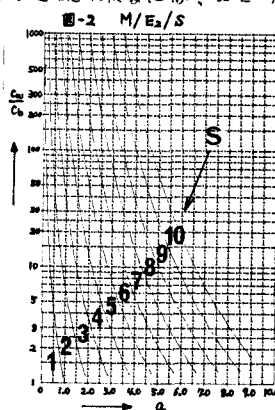
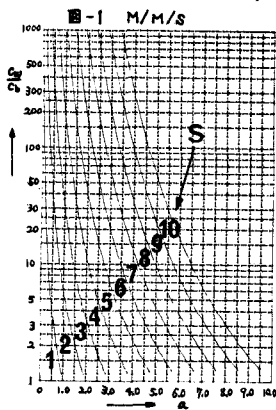
港湾における船舶の入港のパターンと接岸時間のパターンを見出す事により、入港船舶の到着及びバースでの荷役現象をいわゆる待ち合せ理論の応用として展開してゆく方法に関しては、既に多くの報告がなされている。これらの報告結果から、船舶の入港分布については入港時間間隔が指数分布、接岸時間についてはフェーズ2または3のアーレン分布あるいは対数正規分布等である事が確かめられており、こうした分布型を手掛りに一種の在庫モデルを設定して最適埠頭数を求めることが出来るのである。即ち、入港船舶の到着隻数に対して埠頭の数が少ない場合にはバース待ち時間が増大し滞船による損失コストが大きくなるが、逆に埠頭数を多くし過ぎれば建設コストが過大投資になってしまう。いま、バースの遊休による損失コストを1バース当り1日 C_0 、バース待ちによる滞船の損失コストを1日1隻当り C_w とすれば、バース数 S に対してこれら損失コストのトータル C は次のように表わせる。ただし、単位時間当りの平均入港隻数を λ 、1バース1隻当りの平均接岸時間を $1/\mu$ 、入港船舶の平均バース待ち時間を W_q とおいている。

$$C = C_0 \cdot \left(1 - \frac{\lambda}{S\mu}\right) \cdot S + C_w \cdot W_q \cdot \lambda \quad \text{----- (1)}$$

総損失コスト C を最小にする S を求めるために、 S に関しての微分 $\Delta C/\Delta S$ をとり、それを零とおいて整理すれば次のようになる。ただし、 $a = \lambda/\mu$ とし、 $R_S = W_q \cdot \mu$ とする。

$$C_w/C_0 = 1 / [(R_S - R_{S+1}) \cdot a] \quad \text{----- (2)}$$

(2)式における C_w/C_0 と a の関係は、 $M/M/S$ ・ $M/E_2/S$ ・ $M/E_3/S$ ・ $M/D/S$ の4ケースについてグラフ化した結果が図-1～図-4である。これらのグラフを読み取るには、 a と C_w/C_0 を求めておいて交点が含まれる S の値を読み取ればよい。



それでは、もし最適埠頭数からはずれた状態で港湾活動が行われている場合、総損失コスト C がどうなっている

るかを調べてみると、図5～図6でわかるように、最適準頭数より準頭数が少ないと顕著な費用の増大を招く場合があるから、計画立案に当たって注意する必要がある。

3. 港湾計画の実務面への適用に当たっての問題点

最適準頭数を求めるには図1～図4を利用すればよい事が分ったが、実務面への適用に際して問題となる点として、① C_w や C_b をどのように算定すべきか、② ある港湾で既存バースがある場合、あと何バース新設すべきか、等があげられる。前者の問題点のうち、 C_w については入港した船舶の条件により評価が異なり、新造船と老朽船、大型船と小型船、邦船と外国船等により評価は違ってくるため正確を期し難いが、表1のような値を目標にしてより現実的な値を設定する必要がある。 C_b については非常に厄介であるが、一応公共バースについて言えば、バース建設に係る投資額（建設費及び付帯費用としての維持、管理、運営費用をも含めたもの）が遊休した分だけ無駄になると考えて、総費用の単位当たり平均コストをもって設定すれば良いと考える。何故ならば、比較的求めやすいばかりでなく、バース建設

図-5 M/M/S

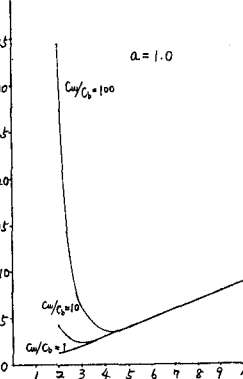


図-6 M/D/S

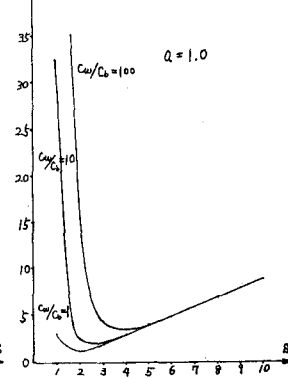


表1. 船舶による損料
邦船が数船の24時間当り損料

定期船	24時間当り損料	不定期船	24時間当り損料
10000GT～12000GT	700円	12000GT～14000GT	700円
8000GT～10000GT	600円	10000GT～12000GT	650円
6000GT～8000GT	500円	8000GT～10000GT	600円
4000GT～6000GT	450円	6000GT～8000GT	500円
2000GT～4000GT	350円	4000GT～6000GT	450円
		2000GT～4000GT	400円

出 日本船主協会試算による。

に係る平均コストを1バース当り C'_b 、バース待ちによる滞船の損失コストを単位時間1隻当り C_w 、考察すべき期間（例えば耐用年数）を T とおいて前述の(1)、(2)式に対応する式を考えれば、次に示す(3)、(4)式のようになり、(2)式と(4)式の右辺は全く同一のものであり、左辺における C_b と C'_b との間に $C_b = C'_b/T$ なる関係が成立するとすれば結果は図1～図4となってしまうから、 C_b と C'_b の定義の差を考慮して $C_b = C'_b/T$ の持つ意味をみれば、結局 C_b を上記のように設定する事に他ならない事に気付くのである。しかしながら、港湾施設の整備が鉄道や道路のような

$$C = S \cdot C'_b + T \cdot C_w \cdot W_q \cdot \lambda \quad \text{----- (3)}$$

$$\frac{C_w}{C'_b} \cdot T = 1 / [(R_s - R_{s+1}) \cdot \alpha] \quad \text{----- (4)}$$

公共土木施設建設と同じように、将来における需要予測に見合った先行投資が公共資本の投入によって行われる際に、港湾における需要の流動性のピーク時における荷役能力を要求してその建設が進められるのであれば、 C_b は相当過大な値として設定されるであろう事を計画立案者は認識しておく必要がある。後者の問題点については次のような手順を踏む事により、基本的な考え方についてほとんど差なく図1～図4を利用出来るのである。新設バースの遊休による損失コストを1バース当り1日 C_{bi} とし、既存バースの遊休による損失コストを1バース当り1日 C_{bi} とすれば、既存バース数 S_n 及び最適バースの全体数 S に対して $S \cdot C_b$ を求め、 $S_n/S = \alpha$ 、 $C_{bi}/C_{bo} = \beta$ と置けば、 C_b は次のようになるから、この C_b を用いて図1～図4を利用すればよいことになる。

$$S \cdot C_b = (S - S_n) \cdot C_{bo} + S_n \cdot C_{bi} = S \cdot [(1 - \frac{S_n}{S}) + \frac{S_n}{S} \cdot \frac{C_{bi}}{C_{bo}}] \cdot C_{bo} \quad \therefore C_b = (1 - \alpha + \alpha \beta) \cdot C_{bo}$$

ただし、 α は当初未知であるから、まず S に任意の値を入れて図表より S を読み取り、再度 S を設定して α を求めて図表を読み取る手順を数度繰り返す必要がある。

4. あとがき

待ち合せ理論を利用した最適準頭数を求めるに際して、図1～図4を使用すれば非常に容易に結果を得る事が出来る。ただ、港湾計画立案者はここで得た準頭数の持つ意味として、 C_w や C_b の設定に当たっての考え方及び C_w/C_b の値による総損失コストの変化割合を熟知した上で、実際の準頭建設計画に反映させる事が重要であろう。

【参考文献】 1) 長尾義三「港湾技術の発展に因する方法論的研究」第三港湾建設局 1959 2) 工藤和男、高野聖三、奥山育英「準頭の取扱能力についての研究」港湾技術研究所報告第4巻8号 1965 3) 森村典典、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 4) 本間鶴千代「待ち行列の理論」理工学社 1966 5) 栗田悦子「港湾経済」港湾研究シリーズ③ 1972 6) 奥山育英ほか「ボアソン到着待ち合せモデルの数値」港湾技術研究所報告第13巻1号 1974