

関西大学工学部 正会員 木村 作郎
 関西大学工学部 正会員 則武 通彦

1. まえがき

不特定多数の荷主、荷受人、船社などが所有する船舶が多数来港する公共一般雑貨碼頭において取扱うべき貨物需要量は、国の経済計画、その港湾の立地条件、港習慣、背後地域の経済条件、土地利用計画などによりダイナミックに変化する。したがって、公共碼頭に建設、整備されるべき最適なバース数は、そのような港湾取扱貨物量の時系列的な変動に対して迅速に求められる必要がある。そのためには、あるバース数で処理することが最適な港湾取扱貨物量の範囲、すなわち最適バース容量をあらかじめ求めて図式化しておけば、バース計画を行う上で非常に有用であろう。本研究は、そのような目的に対して利用できる図表の作成とその利用方法について考察するものである。

2. 最適バース容量決定のための評価基準

いま、公共碼頭におけるバース数 S が最適であるためには、考察の対象とされる港湾オペレーションの期間 T （通常は1年=365日）における港湾総費用 C_S^T (円)が最小にならなければならない。この場合、

$$C_S^T = C_b T S + C_a T \bar{n}_s \quad (1)$$

であり、ここに、 C_b : バースの1日あたり費用(円/日)、 C_a : 船舶の1日あたり費用(円/日)、 $\bar{n}_s$: バース数が S のとき、期間 T の間の平均在港隻数である。上式(1)のパラメータの数を減らすために、両辺を $C_a T$ でわれば

$$r_{sa}^T = C_S^T / (C_a T) = r_{ba} \cdot S + \bar{n}_s \quad (2)$$

となる。ここに、 r_{sa}^T : バース数が S のとき、船舶1隻あたりの年費用に対する港湾の年間総費用の比率、 r_{ba} : バース・船舶費用比率(= C_b / C_a)である。一般に公共碼頭の最適バース数を決定する場合には、バースを利用する標準的な船舶の示様(船型、船速など)は与えられている。したがって、 C_a の値は与件値と考えられ、 $C_a T$ は一定となるから、式(1)の最小化は式(2)の最小化と同等である。しかも、式(2)のほうが式(1)よりも含まれるパラメータの数が少ないので、解析上都合がよい。以上のことから、本研究においては総費用比率 r_{sa}^T を最適バース容量決定のための評価基準として採用する。

3. 港湾における船舶の平均在港隻数の推定方法

上式(2)において、計画目標となる港湾取扱貨物量が r_{sa}^T と明示的に関係づけられていない。両者を関係づけるためには、 $\bar{n}_s$ を媒介変数として使用しなければならない。さて、従来の研究により、公共碼頭における船舶の動態はM/M/S(∞)あるいは、M/E_k/S(∞)のタイプの待ち行列理論により解析できることがわかっている。また、Lee-LongtonおよびCosmetatosは、M/E_k/S(∞)における船舶の平均待ち時間 $(\bar{W}_s)_k$ をM/M/S(∞)の平均待ち時間 $(\bar{W}_s)_1$ と関係づける近似公式を提案している。すなわち、

$$(\bar{W}_s)_k = (\bar{W}_s)_1 \cdot (1 + 1/k) / 2 \quad (\text{Lee-Longtonの近似公式}) \quad (3)$$

$$(\bar{W}_s)_k = (\bar{W}_s)_1 \cdot \left\{ \left[1 + (1/k) \right] / 2 + \left[1 - (1/k) \right] \cdot \left\{ 1 - (Q/S) \right\} (S-1) / (4+5S-2) \right\} / 32\alpha \quad (\text{Cosmetatosの近似公式}) \quad (4)$$

ここで、 α : トラフィック密度(= Q/RT)、 R : バース1日あたりの平均待ち時間の計算例(M/E₂/6(∞)モデル、 $\mu=1$)の平均荷役率(トン/日)、 Q : 期間 T の間の港湾取扱貨物量(トン)である。

表-1は、M/E₂/6(∞)モデルを例にとって、式(3)と式(4)を用いて得られた平均待ち時間の計算結果を理論値と比較したものである。カッコ内の数値は相対的誤差 ϵ (%)を示しており、

$\rho = \frac{Q}{S}$	理論値	Cosmetatos (ϵ ,%)	Lee-Longton (ϵ ,%)
0.6	0.0646	0.0642 (-0.6)	0.0614 (-5.0)
0.7	0.1449	0.1440 (-0.6)	0.1400 (-3.4)
0.8	0.3305	0.3290 (-0.4)	0.3236 (-2.0)
0.9	0.9341	0.9320 (-0.2)	0.9251 (-1.0)

いずれのケースにおいても、Cosmetatosの近似式によって得られる平均待ち時間のほうがLee-Longtonのそれよりも理論値に近いことがわかる。よって、本研究ではCosmetatosの公式を用いて考察を進める。いま、式(4)を用いると、 $M/E_k/S(\infty)$ モデルに対して、

$$(\bar{n}_s)_k = (\bar{n}_{w,s})_k + \bar{n}_{b,s}$$

$$= \frac{\alpha^{s+1}}{(s-1)!(s-\alpha)^2} \left\{ \sum_{n=0}^{s-1} \frac{\alpha^n}{n!} + \frac{\alpha^s}{(s-1)!(s-\alpha)} \right\}^{-1} \left\{ \frac{1+(1/k)}{2} + (1-\frac{1}{k})(1-\frac{\alpha}{s})(s-1) \frac{\sqrt{4+5S-2}}{32\alpha} \right\} + \alpha \quad (5)$$

となる。ここに、 $(\bar{n}_s)_k$: $M/E_k/S(\infty)$ モデルの場合の船舶の平均在港隻数、 $(\bar{n}_{w,s})_k$: $M/E_k/S(\infty)$ モデルの場合の船舶の平均バース待ち隻数、 $\bar{n}_{b,s}$: バース数が S のとき、期間 T の間にバースでサービスされる船舶の平均隻数である。式(5)において、 $k=1$ とおけば $M/M/S(\infty)$ モデルの場合の理論解に一致していることは、容易に検証できる。式(5)を式(2)に代入すると、

$$r_{s\alpha}^T = r_{b\alpha} S + \frac{\alpha^{s+1}}{(s-1)!(s-\alpha)^2} \left\{ \sum_{n=0}^{s-1} \frac{\alpha^n}{n!} + \frac{\alpha^s}{(s-1)!(s-\alpha)} \right\}^{-1}$$

$$\times \left\{ \frac{1+(1/k)}{2} + (1-\frac{1}{k})(1-\frac{\alpha}{s})(s-1) \frac{\sqrt{4+5S-2}}{32\alpha} \right\} + \alpha \quad (6)$$

となる。上式において、 $r_{b\alpha}$ 、 S および k を設定すれば、 $r_{s\alpha}^T$ は α のみの関数になる。したがって、港湾取扱貨物量と $r_{s\alpha}^T$ の関係が求まったことになる。

4. 最適バース容量の決定方法

式(6)において、たとえば $r_{b\alpha}=0.25$ 、 $k=2$ とし、 S をパラメータとすれば $r_{s\alpha}^T$ と α の関係は図-1に示される。各バース数 S に対して直線 $\alpha \cdot S$ が漸近線になっている。図-1において、バース数 S が最適となる α の上限値を求めるには、式(2)よりレギュラファルシ法によりコンピューターを用いて

$$r_{b\alpha}(S+1) + \bar{n}_{s+1} - (r_{b\alpha}S + \bar{n}_s)$$

$$= r_{b\alpha} + \bar{n}_{s+1} - \bar{n}_s = 0 \quad (7)$$

を満足する根 α を求めればよい。そして、一般に各バース数 S に対する最適バース容量は、式(7)を S に関してパラメトリックに解くことにより得られる。

図-2は $M/E_2/S(\infty)$ モデルに関して、 $r_{b\alpha}$ の値が0.10~0.40の場合の最適バース容量曲線を示したものであり、破線によって各バース数の最適区間が示されている。 $r_{b\alpha}$ の値が大きくなるにしたがって、最適バース容量の範囲も広くなることがわかる。

表-2は、与件値($T=365$ 日、 $Q=1.0 \times 10^6$ トン、 $R=1.2 \times 10^3$ トン/日、 $C_b=600$ \$/日、 $C_s=2400$ \$/日)に対する最適バース容量曲線の適用例であり、カッコ内はLee-Longtonの公式による値を示している。

計算結果の考察については講演時に発表する。

計算結果の考察については講演時に発表する。

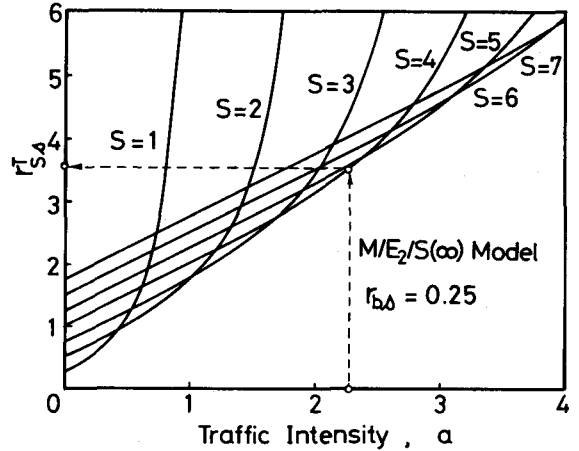


図-1. 最適バース容量曲線 ($M/E_2/S(\infty)$ モデル)

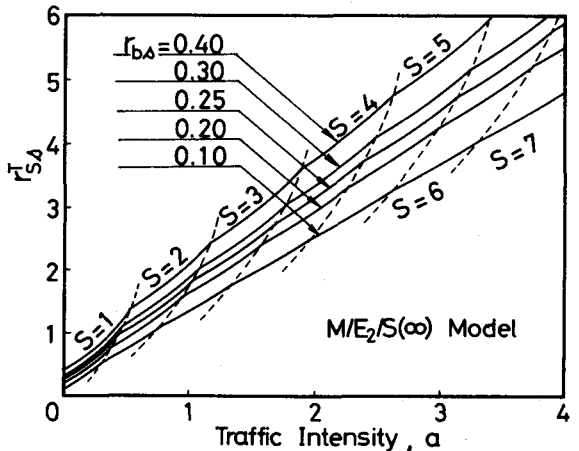


図-2. 最適バース容量曲線 ($M/E_2/S(\infty)$ モデル)

表-2. 適用例に対する結果

(1) Model	(2) S	(3) $r_{s\alpha}^T$	(4) $C_s^T (\times 10^3)$	(5) $(\bar{n}_s)_k$	(6) $(\bar{n}_{w,s})_k$
M/M/S(∞)	5	3.61	3.16	2.36	0.08
M/E ₂ /S(∞)	4 (4)	3.54 (3.53)	3.10 (3.09)	2.54 (2.53)	0.26 (0.25)
M/E ₃ /S(∞)	4 (4)	3.52 (3.51)	3.08 (3.07)	2.52 (2.51)	0.24 (0.23)