公共ふ頭の最適容量に関する研究

関西大学工学部　正会員　則武　通彦
関西大学工学部　正会員　○木村　作郎

1．まえがき

公共一般雑貨ふ頭において取扱うべき貨物量は、国の経済環境、その港湾の立地条件、商習慣，背後地域の土地利用などにより変化する。したがって，時系列的に変化する港湾取扱貨物量に見合った数のバースが，公共ふ頭に整備される必要がある。そのためには，あるバース数で取扱うことが最適な貨物量の範囲，すなわち，公共ふ頭の最適容量をあらかじめ求めて図表化しておけば，港湾計画上，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ならびにその使用方法について考察するものである。

2．公共ふ頭の最適容量決定のための評価基準

いま、公共ふ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，

$$C_S^T = c_b T S + c_\Delta T \bar{n}_S \qquad (1)$$

であり[1]，ここに，c_b：バースの1日あたり費用（円/日），c_Δ：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$c_\Delta T$でわれば，

$$r_{T\Delta} = \frac{C_S^T}{c_\Delta T} = r_{b\Delta} \cdot S + \bar{n}_S \qquad (2)$$

となる。ここに，$r_{T\Delta}$：船舶1隻あたりの年費用に対する港湾総費用の比率，$r_{b\Delta}$：バース・船舶費用比率（$=c_b/c_\Delta$）である。一般に，公共ふ頭の最適計画を行う場合には，対象とする船舶の示様（船型，船速など）は与えられている。したがって，c_Δの値は与件と考えられるから，式(1)の最小化は式(2)の最小化と同値である。この理由により、本研究では$r_{T\Delta}$を評価基準として採用する。

3．港湾取扱貨物量と$r_{T\Delta}$の間の関係

上式(2)においては、計画目標となる港湾取扱貨物量と$r_{T\Delta}$の間の関係が明示されていない。両者を関係づけるためには，平均在港隻数$\bar{n}_S$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，公共ふ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。よって，Lee-Longtonの近似公式を用いると，M/E$_k$/S(∞)モデルに対して，

$$\bar{n}_S = \frac{a^{S+1}}{2(S-1)!(S-a)^2}\left\{\sum_{n=0}^{S-1}\frac{a^n}{n!} + \frac{a^S}{(S-1)!(S-a)}\right\}^{-1}\left(1+\frac{1}{k}\right) + a \qquad (3)$$

が得られる。ここに，a：トラフィック密度（$=Q/RT$），R：バース1日あたりの平均荷役率（トン/日），Q：期間Tの間の港湾取扱貨物量（トン）である。式(3)において，$k=1$とおけばM/M/S(∞)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(3)を式(2)に代入すると，

$$r_{T\Delta} = r_{b\Delta}\cdot S + \frac{a^{S+1}}{2(S-1)!(S-a)^2}\left\{\sum_{n=0}^{S-1}\frac{a^n}{n!}+\frac{a^S}{(S-1)!(S-a)}\right\}^{-1}\left(1+\frac{1}{k}\right)+a \qquad (4)$$

となる。式(4)において，$r_{b\Delta}$，Sおよびkを固定すれば，$r_{T\Delta}$はaのみの関数となる。したがって，港湾取扱貨物量と$r_{T\Delta}$の間の関係が求まったことになる。

4．公共ふ頭の最適容量の決定

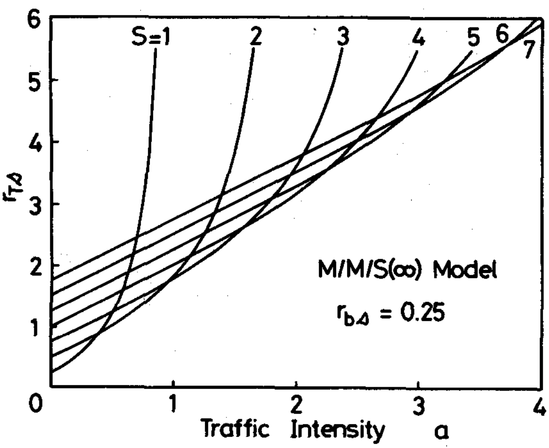
式(4)において，たとえば$r_{b\Delta}=0.25$，$k=1$とし，さらにSをパラメータとすれば，$r_{T\Delta}$とaの間の関係は図－1に示される。図－1より明らかなように，各バース数Sに対して，$a=S$なる直線が漸近線となっている。これは，$a=S$のときバース待ちする船舶隻数が無限大となり，それにつれて港湾総費用も無限大になることに対応している。図－1において，バース数Sが最適となる最大容量（この場合，便宜上取扱貨物量のかわりにaで示される）を決定するには，式(2)より

$$r_{b\Delta}\cdot(S+1)+\bar{n}_{S+1}-(r_{b\Delta}\cdot S+\bar{n}_S)$$
$$=r_{b\Delta}+(\bar{n}_{S+1}-\bar{n}_S)=0 \qquad (5)$$

を満足するaの値を探せばよい。実際の計算にあたっては，

$$f(a)=r_{b\Delta}+\bar{n}_{S+1}-\bar{n}_S=0 \qquad (6)$$

とおいて，regula falsi method によりコンピューターを用いて根aを求めればよい。



図－1　最適容量曲線

以上のことから，一般にバース数Sの場合の最適容量は，バース数S-1とSに関する2曲線の交点に対応したaの値を下限値とし，一方，バース数SとS+1に関する2曲線の交点に対応したaの値を上限値とするaの範囲で示される。

5．最適容量曲線の使用方法

図-1と同様な最適容量曲線は，パラメータの種々のレベル値に対して容易に作成できる。よって，そのような図表が整備されておれば，ふ頭計画に際して次の手順で利用できる。

与件；Q，R，T，C_b，C_Δ，k

ステップ1 ── 与件に対応した$r_{b\Delta}$（$=C_b/C_\Delta$），kの値をもつ図表を見出し，さらに，$a=Q/RT$より，aの値を求める。

ステップ2 ── 図表を使うことにより，ステップ1で得られたaの値に対応した最適バース数Sおよび$r_{T\Delta}$の値を読みとることができる。

ステップ3 ── 与件のC_Δ，Tの値を用いれば，式(2)よりC_S^Tの値を求めることができる。

なお，計算例と考察については講演時に発表する。

1)則武：公共ふ頭における最適バース数の決定に関する研究，土論集，第278号，1978年10月.