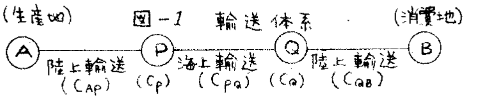
Ⅳ―147　港湾能力算定に関する考察

京都大学工学部　正員　工博　長尾義三
京都大学工学部　正員　工修　○真鍋重遠
京都大学工学部　学生員　　　金井万造

〔Ⅰ〕港湾能力の定義

一般に港湾能力とは、ある期間に取扱う貨物の量をもって表わされている。港湾計画に際しては、しばしば適正な港湾能力の算定が問題となる。本研究では、単位期間において港湾の単位施設あたりの通過貨物量1トンの経費が最小になるような取扱い貨物量をもって、適正能力とする。この理由はつぎの通りである。一般に図-1に示した生産地Aから消費地Bまでの2点間の輸送費について考えると、A・B間の総輸送費C_Tは、つぎのように表わされる。



注( )は輸送関係費またはターミナルにおける経費

$$C_T = C_{AP} + C_P + C_{PQ} + C_Q + C_{QB} \quad \cdots\cdots (1)$$

いま、C_rをルートの輸送費、C_tをターミナルにおける費用とすると、(1)式はつぎのようにも表わすことができる。　$C_T = C_r + C_t$　……(2)

(2)式においてC_rが変動しないと考えれば、C_Tを最小にするためには、ターミナルの費用C_tを最小にすればよい。すなわち、港湾における経費を最小にする施設の能力が適正な能力であるといえる。

またC_t^*を貨物の流動、船舶の動態により変化する変動費(船費施設の償却費等)、C_t^{**}を貨物の流動船舶の動態により変化しない固定費(検数料等)と表わされるので、C_tを最小にするためにはC_t^*を最小にすればよい。

〔Ⅱ〕モデルの作成

貨物1トンあたりの経費に影響を与える要素としては、輸送体系である貨物の流動経費と、輸送機関である船舶の経費が考えられる。これらは、1)船舶の積荷量、2)船舶の待ち時間、3)貨物の待ち時時間等に影響される。この場合、船舶の経費が大きい比重を占めているので、本研究においては特に船舶の待ち時間による貨物1トンあたりの損失費用に着目して待ち合わせ理論を応用し、つぎのような港湾の適正能力を算定するモデルを策定した。

いま輸出ふ頭を考えることとし、1)λ_1：バース数mのふ頭への1日あたりの平均到着隻数[隻/日]、2)μ_1：1日あたりのふ頭の平均けい岸隻数[隻/日]、3)λ_2：バース数mのふ頭における船舶への1日あたり平均到着貨物量[トン/日]、4)μ_2：1船舶に関する平均荷役速度[トン/日]、5)t_w：船舶1隻あたりの平均待ち時間[日/隻]、6)B_1：入港船の1日あたりの費用[円/日]、7)A_1：バース数mのふ頭の施設費の1日あたりの費用[円/日]、8)A_2：バース数mのふ頭の荷役関係の1日あたりの費用A'[円/日]＋荷役作業者に支払われる1日あたりの費用A''[円/日]、9)R：貨物1トンあたりの平均原価[円/トン]、10)γ：貨物の原価にかかる金利、11)v：ポートチャージの中で貨物の荷役トン量により変化する費用[円/隻]とすると、通過貨物1トンあたりの船舶関係の費用C_1は、　$C_1 = B_1(\lambda_1 t_w + \rho_1)/\lambda_2$　……(3)　となる。ここに　$\rho_1 = \lambda_1/m\mu_1$ (<1) である。つぎに通過貨物1トンあたりの岸壁関係の費用C_2は、　$C_2 = A_1/\lambda_2$　……(4)　同様に荷役関係の費用C_3は、$C_3 = A_2'/\lambda_2 + A_2''/\mu_2$ ……(5)　と表わすことができる。また貨物が滞留することによる損失費用C_4は $C_4 = R\cdot\gamma/\mu_1$ ……(6)　ポートチャージによる費用C_5は　$C_5 = v/\xi$ ……(7)となる。また船舶1隻あたりの平均積卸し

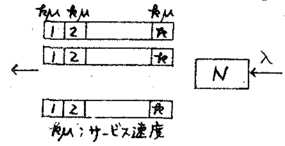
量をξとすると、$\xi=\lambda_2/\lambda_1$ …(8) で表わされ、荷役時間はξ/μ_2となる。船舶1隻あたりのけい岸時間は、荷役時間とその前後の準備時間や待ち時間(t_0[日/隻])で構成されるから$1/\mu_1=\xi/\mu_2+t_0$ …(9) である。

ゆえにC_t^*は

$$C_t^*=C_1+C_2+C_3+C_4+C_5$$
$$=B_1(\lambda_1 t_{\bar{w}}+\rho_1)/\lambda_2+A_1/\lambda_2+A_2'/\lambda_2+A_2''/\mu_2+R\cdot\gamma/\mu_1+v/\xi$$
$$=B_1(t_{\bar{w}}+\xi/\mu_2+t_0)/\xi+A_1/\lambda_2+A_2'/\lambda_2+A_2''/\mu_2+R\cdot\gamma(\xi/\mu_2+t_0)+v/\xi \quad \cdots(10)$$

ここで$t_{\bar{w}}$がわかれば、問題は(10)式においてC_t^*を最小にするλ_2の値を求めることとなる。そこで昭和40年度の神戸港における代表的外航定期船について、到着隻数分布、けい岸時間分布を調べてみると、それぞれ、ポアソン分布、アーラン分布になることがわかった。

図-2 アーランサービスの窓口の状態



ゆえに本研究では、この場合の一般式をつぎのようにたてた。

N：待ち行列の長さ，S_i ($i=1,2\cdots,k$)：第i番目のphaseをふさいでいる人数、n：全体として窓口のふさがっている個数、k：phase数 とすると、

$$(\lambda+nk\mu)\cdot p(N,n;S_1,S_2,\cdots,S_k)$$
$$=\delta_{oN}(1-\delta_{oS_k})\lambda\cdot p(N,n-1;S_1,S_2,\cdots,S_k-1)+\delta_{mn}(1-\delta_{oS_k})(S_1+1)k\mu\cdot p(N+1,n;S_1+1,S_2,\cdots,S_k-1)$$
$$+\delta_{oN}(1-\delta_{mn})(S_1+1)k\mu\cdot p(N,n+1;S_1+1,S_2,\cdots,S_k)+(1-\delta_{oN})\lambda\cdot p(N-1,n;S_1,S_2,\cdots,S_k)$$
$$+\sum_{i=2}^{k}(S_i+1)k\mu\cdot p(N,n;S_1,S_2,\cdots S_{i-1}-1,S_i+1,\cdots,S_k)\quad\cdots(11)$$

ただし、$S_i-1\geqq 0$, $S_i+1\leqq m$, $\delta_{\alpha\beta}=\begin{cases}1 & (\alpha=\beta\text{のとき})\\ 0 & (\alpha\neq\beta\text{のとき})\end{cases}$である。

神戸港の場合は、$k=2$のアーラン分布であった。本研究では、バース数$m=3$, Nに制限のある場合として、これを連立方程式として解いた。もちろん$\sum_{N,n=0}^{\infty}p(N,n;S_1\cdots S_k)=1$ …(12)であり、また行列の長さの平均値$L_q=\sum_{N=1}^{N}NP_N$ …(13), $L_q=\lambda t_{\bar{w}}$ …(14) より $t_{\bar{w}}$を求めた。

〔III〕計算例 (10)式において、$B_1=80$万円/日, $A_1=25$万円/日, $R=10$万円/トン, γ：年利10%, $v=15$万円/隻, $t_0=0.5$日/隻, A_2は荷役速度に応じた荷役機械とギャング数を配置することによりA_2', A_2''をきめ、さらに$\xi=1000$トン/隻, 3000トン/隻, 5000トン/隻, $\mu_2=1000$トン/日, 2000トン/日, 3000トン/日 としたとき、そのレベルに対応した港湾の適正能力を算出するための図表を図-3のように作成した。これによりξとμ_2の変化に対応してC_t^*が最小となるような適正貨物量を求めることができる。すなわち、積荷量ξが一定のとき、荷役速度μ_2を大きくしてやれば、取扱貨物量が増大すると同時にトン当り損失費用は少なくなる。またμ_2が一定のときには、積荷量ξを大きくすれば同様のことがいえる。現在1バースあたりの年間能力は約10～15万トンといわれているが、この図から判断してトン当り損失費用が非常に多くなっていることは注目に値する。したがって、荷役機械を設置すること等によって荷役速度を大きくし、また一船当りの積荷量を多くすることに努力を払えば、ふ頭の年間能力は飛躍的に大きくなると同時に損失費用を減少させることができるのは明らかである。このようなことが今回の複数バースふ頭能力算定モデルの計算より明らかとなった。