

IV-124 コンテナ埠頭システムの最適計画に関する研究

九州大学 学生員 ○黄 文吉 九州大学 正員 梶木 武
九州大学 学生員 属 国権

1. 序論

港湾計画について、従来の研究はつぎのような問題点がある。①港湾システム評価指標でコスト関数の中に含めた各パラメータの影響が必ずしも十分明らかにされていない。②港湾システムについて、多くの研究は船舶平均待ち時間(Wq)を中心に検討している。しかし、 Wq をコスト関数に代入すると、最適な施設計画に対する影響はそれが全てでなく問題が残る。③多くの研究は、マクロ的な分析にとどまり、最適バース数の決定を中心とするものである。しかし、港湾システムについて考えれば、十分汎用性のある評価指標の開発と、それにもとづくミクロ的な特性分析が必要である。

本研究では、上述の背景にもとづき以下の内容を研究の目的とするものである。①簡単に、広汎な埠頭計画のための評価指標を作成する。②コストを考えた港湾システムの評価指標を作成するが、その際システムの各々の費用をできる限り網羅することを考える。③異なる待ち行列モデル及びその近似解とバース規模との関係について、システムの比較検討を行う。④ミクロ的な港湾システムの特性を検討し、港湾システム計画への活用法を検討する。

2. 港湾システムのコスト関数と評価指標

コスト関数に関し、本研究では港湾システムの各々の費用をできる限り網羅し、埠頭に関係する総費用を求めれば次のとおりである。すなわち、港で消費される総費用は、埠頭利用者(船会社など)が支払う費用($C1$)と、埠頭サービスにかかわるコスト($C2$)に大別される。 $C1$ は船舶(Cs)と貨物(Ccg)にかかわるコストであり、 $C2$ は港湾施設の建設費(Cpf, Cbf)や維持、管理運営費(Cpo, Cho)、荷役機械(Ccm, Cco)及びヤード(Cyd)などの費用で構成される。

以上の内容にもとづいて、総費用 TC を求めれば

$$TC = (Us + Ucg \cdot X) (\lambda / \mu + Lq) + (Upf + Upo + Ubf + Ubo) \cdot N \\ + Ucm \cdot N \cdot \bar{c} + Uco \cdot \bar{c} \cdot T \cdot \lambda + Uyd \cdot V \cdot H \cdot \lambda$$

本研究では、港湾システムのサービス水準の評価指標を無次元量(IND)で表示し、 TC に代えて用いものである。すなわち、単位量貨物当たりの港内における総費用と船舶時間当たり費用比を IND とすれば、これは TC を

$\lambda \cdot Us \cdot V$ で割ることによりえられ、次のとおりである。

$$IND = [(1 + Rcg)(1/\mu + Wq) + (Rpf + Rpo + Rbf + Rbo) \cdot N / \lambda \\ + Rcm \cdot N \cdot \bar{c} / \lambda + Rco \cdot \bar{c} \cdot T + Ryd \cdot V \cdot H] / V$$

ここに、 λ : 船舶の到着率 μ : サービス率

Wq : 1 船当たりの平均待ち時間 V : 平均荷役貨物量

$T = V / (\gamma \cdot \bar{c})$: 1 船当たりの平均荷役時間

γ : 荷役作業率 $\bar{c}$: 1 バース当たりの荷役機械台数

f : 荷役機械の干渉係数 H : 貨物の平均ストック時間

港湾システムの特性を分析した上で、各バース数に対するコスト関数曲線について、 ρ 値と IND 値の変動を検討し、コストの最小点となる ρ 値及び IND 値を求め、それにもとづいて、港湾システムを計画することが提案できる。

3. 港湾システムの特性

3. 1 M/Ek/N型とM/M/N型の違いが ρ 値と IND 値に及ぼす影響

より厳密には $M/Ek/N$ 型を用いるべきコンテナ埠頭システムであるが、従来の研究のようにそれを $M/M/N$ 型で代替できるものか否かについて、検討するものである。すなわち、 $M/M/N$ 型の場合を基準とすると、 $K=5$ の場合 N 値に対する、 ρ 値の差-15.30%($N=1$)~-3.03%($N=30$)であり、また、 IND 値の差は+10.04%($N=1$)~+0.61%($N=30$)であり、 N が小さいとき両モデルの差が大きくなる。

3. 2 Wq の各近似解に対する ρ 値と IND 値の差異

Wq はコスト関数における重要なパラメータの1つであり、 $M/Ek/N$ 型待ち行列システムでは、Lee-Longtonの近似解とCosmetatosの近似解がある。これら両者を比較すれば、 $N=6, K=3$ の場合の ρ 値の差は+0.42%であり、 IND 値の差は-0.25%で、それほど大きいものではない。従って、 $M/Ek/N$ 型待ち行列について、 Wq はCosmetatos式とLee-Longton式とで差異があるものの、これをコスト関数に代入すると、 ρ を考えるにしても、 IND を考えるにしても差は小さいといえ、わざわざCosmetatos式のような複雑な式を用いる必要はなく、Lee-longton氏の近似解を用いることで十分であるといえる。

4. 港湾システム特性の総合的検討

4. 1 各パラメータの変動による ρ, IND の変化

以上の内容に加え、港湾システムにおけるさまざま

なパラメータが基準点の ρ とINDに及ぼす影響を個々に求め、その結果をまとめれば表-1のとおりである。

表-1 港湾システム特性の基準点に比較差異一覧

パラメータ	N	ρ 値					IND 値				
		3	5	9	21	30	3	5	9	21	30
K (3)	1	-7.65	-5.57	-4.52	-2.92	-2.42	+2.85	+1.57	+1.13	+0.61	+0.46
	2	-2.30	-1.63	-1.21	-0.84	-0.70	+0.79	+0.44	+0.32	+0.17	+0.13
	∞	+6.24	+4.69	+3.93	+2.65	+2.24	-2.34	-1.46	-1.10	-0.63	-0.51
Rcg (1.0)	0.25	+9.75	+7.06	+5.61	+3.63	+3.20	-25.02	-25.40	-25.64	-26.03	-26.17
	0.5	+5.96	+4.34	+3.56	+2.35	+1.98	-16.56	-16.85	-17.03	-17.32	-17.41
	1.5	-4.57	-3.36	-2.78	-1.84	-1.53	+16.23	+16.65	+16.85	+17.21	+17.33
Rp (0.17)	0	-8.25	-6.10	-5.05	-3.35	-2.80	-6.58	-7.72	-7.31	-6.64	-6.44
	0.34	+6.64	+4.82	+3.96	+2.62	+2.15	+9.03	+8.29	+7.92	+7.31	+7.12
	0.85	+17.55	+12.64	+10.37	+6.79	+5.68	+30.02	+28.01	+26.95	+25.16	+24.61
Rcm (0.05)	0.025	-2.41	-1.76	-1.48	-0.97	-0.81	-2.78	-2.52	-2.40	-2.19	-2.13
	0.1	+4.15	+3.02	+2.46	+1.65	+1.38	+5.37	+4.93	+4.69	+4.32	+4.21
	0.2	+10.61	+6.67	+6.31	+4.15	+3.48	+15.59	+14.41	+13.79	+12.80	+12.47
Rco (0.08)	0.04	注: (1) 各パラメータ()内は基準値。 (2) 影響程度の単位は %					-1.74	-1.87	-1.94	-2.01	-2.04
	0.16						+3.47	+3.76	+3.86	+4.04	+4.07
Ryd (6x10 ⁻³)	0	ス 値					-6.74	-6.81	-7.02	-7.32	-7.41
γ (24)	36	+33.34					-23.71	-23.61	-23.57	-23.51	-23.49
	46	+60.00					-35.57	-35.41	-35.35	-35.26	-35.23
f (0.75)	0.5	+8.00					-7.03	-6.99	-6.99	-6.96	-6.96
	0.6	+7.60					+7.79	+7.77	+7.74	+7.73	+7.72
DT (6)	3	+14.30					-11.28	-11.18	-11.14	-11.08	-11.06
	9	+11.11					+11.27	+11.18	+11.13	+11.08	+11.06

4. 2 基準点の ρ とINDについて

港湾計画の上で、最適容量の分析と最適バース数を決定するには、 ρ 値は重要な指標である。その ρ に関して、 $K=3$ の場合を例にバース数との関係を求めれば ρ_N 、 ρ_1 との関係が次のようにえられる(図-1)。

$$\rho_N / \rho_1 = 2.27 / (1 - e^{-0.3N^{0.7}})$$

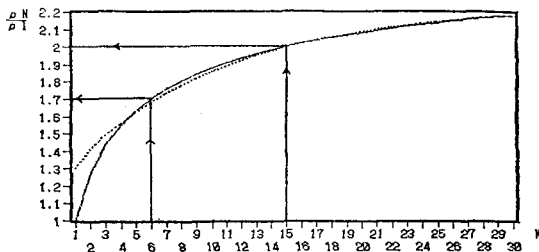


図-1 ρ_N / ρ_1 値($K=3$)とNの関係

港湾システム改善効果の評価の上で重要なINDについて、同様の検討を行えば、INDとNとの関係が図-2のようにえられ、これより IND_N と IND_1 との関係が次のように求まる。

$$IND_N / IND_1 = 0.675 + (1 * e^{-1.2N^{0.5}})$$

4. 3 港湾システム最適計画の活用へ

表-1で、諸パラメータの変動が基準点の ρ とINDに及ぼす影響を感度分析した。その結果を影響の強さに

IND_N / IND_1

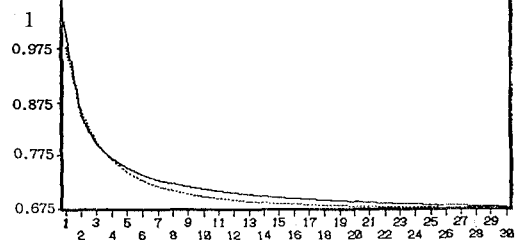


図-2 IND_N / IND_1 値($c=2$)とNの関係

より3レベルに分けて整理すれば、表-2のとおりである。

表-2 港湾システム特性とその活用一覧

影響の度合い 検討の対象	大			中	小
埠頭容量; λ	$\gamma, DT, Rcg, Rp, Rb, K$	Rcm, f	----		
バース数; ρ	Rcg, Rp, Rb, K	Rcm	----		
改善効果; IND	$\gamma, Rcg, DT, Rp, Rb, f$	Rcm, Ryd	K, Rco		

従って、港湾システム計画に ρ 、INDを活用する際には、表-2で影響の強さが大と中に分類されたパラメータを中心に考えれば十分であるといえる。

5. 結 論

本研究は待ち行列理論とコスト関数を用いて、港湾システムの各々の費用をできる限り網羅したモデルを作成するとともに、これを無次元化した評価指標を提案し、港湾システム計画への活用について考察したものである。得られた主な結論は、以下の通りである。

1. 待ち行列理論について、M/M/N型とM/Ek/N型とを比較した結果、現実のものであるM/Ek/N型の分析をM/M/N型で代用するには問題がある。特に、バース数Nが6以下である場合には、両者でかなりの差異がある。
2. M/Ek/N型において、Lee-Longtonの近似解と、Cosmetatosの近似解に対する ρ 及びINDの値にはわずかな差があるに過ぎない。したがって、Cosmetatosの近似式のように複雑な式を用いる必要はないといえる。
3. 諸パラメータの変動が基準点の ρ とINDに及ぼす影響を感度分析した。その結果、影響の大、中、小により3レベルに分けて整理すれば、各検討対象に応じて表-2の結果がえられ、それぞれで影響の強さが大と中に含まれる内容を中心に考慮すればよいといえる。