

京都大学工学部

正 員 長尾義三

シ

学生員 ○則武通彦

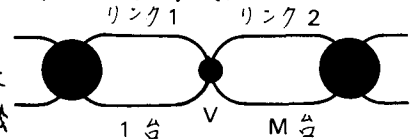
戸田建設

正 員 長谷博幸

1. はじめに

生産地から消費地までの貨物の輸送プロセス、あるいは土取工事やしゅんせつ工事などの掘削、運搬工事のプロセスは、多数のリンクおよびノードの結合した多重リンク輸送系として把握できる。そして、この系を特徴づける要因としては、①起点から終点の間に存在するリンク数、②各リンクの輸送機関のサイクルタイムの平均値と分散、③各リンクの輸送機関の数、④各リンクでの貨物ユニットの相対的な大きさ、⑤リンクの配列(直列、並列)、⑥ノードの大きさなどがあげられる。したがって、このような多重リンク輸送系の最適設計を行なうにあたってはまず対象とするシステムを明確に規定し、リンク相互間の動態関係を定量的にとらえ、しかる後に適切なシステム評価を行なう必要がある。しかし、一般に多重リンク輸送系の中にはかなり大きな貯留能力をもつノードがいくつか存在するので、その点で系を分割し適宜媒介変数を設けてトータルシステムの評価値を得る必要がある。本考察では基本系として、両端のノード容量が大きく中間ノードに若干の貯留能力をもったスリンク輸送系の最適設計を試みた。

図1 2リンク輸送系



2. 2リンク輸送系の動態解析

まず、図1に示されるような2リンク輸送系について待ち合せ理論による解析を行なう。この場合、系には①一方のリンクには1台の輸送機関、他方のリンクには複数台(M台)の輸送機関が存在する、②貨物ユニットは各リンクで等しい、③中間ノードには貯留能力(Vユニット)があるとする。また、解析のケースは表1に示すようにとった。たとえば、モデルⅡの場合については次のように解ける。

表1 解析のケース

リンク モデル	リンク1	リンク2	解析法
モデルⅠ	指数	指数	待ち合せ理論
モデルⅡ	ア-ラン	指数	待ち合せ理論
モデルⅢ	ア-ラン	ア-ラン	シミュレーション
ア-ラン次数	17	13	

$$P_i = \lambda_0 P_0 / r \mu; P_{n+1} = (1 + \lambda_n / r \mu) P_n, (0 < n < r);$$

$$P_{n+1} = (1 + \lambda_n / r \mu) P_n - \lambda_{n-r} P_{n-r} / r \mu, (r \leq n < (V+M+1)r);$$

$$\sum_{n=0}^{(V+M+1)r} P_n = 1, \text{ここに}$$

$$\lambda_n = \begin{cases} M \lambda; & 0 \leq n \leq (V+1)r \\ (M-k) \lambda; & (V+k)r < n \leq (V+k+1)r \end{cases}$$

μ : リンク1の到着率, λ : リンク2の到着率, r : リンク1のア-ラン次数, n : 状態変数, $\rho = \lambda / \mu$

表2は、 $V=1$ の場合の計算結果の一例である。ただし、表2. リンク1の遊休率 ($V=1$)

この場合、各リンクの輸送機関のサイクルタイムのア-ラン次数はコンテナふ頭(キャリア形式)の実測値をもとにして、表1に示す値を採用した。これより

1) V が一定の場合、各リンクの輸送機関のサイクルタイムに規則性が加わるにつれて輸送機関の遊休率は低下する。また、 V がいずれの場合においても $\rho M < 0.6$ および $\rho M > 1.8$ の範囲にあっては、 P_0 に及ぼす各モデルⅠ, Ⅱ, Ⅲの間の差異は4%未満であり非常に小さい。

2) いずれのモデルにおいても、 V が大きくなるにした

ρ	M	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.1	Ⅰ			0.70	0.61	0.51	0.43	0.35	0.27	0.21	0.15
	Ⅱ	0.90	0.80	0.70	0.60	0.51	0.41	0.32	0.24	0.17	0.11
	Ⅲ			0.69	0.60	0.50	0.40	0.31	0.21	0.12	0.07
0.2	Ⅰ		0.61	0.44	0.29	0.18	0.10	0.05	0.03	0.01	
	Ⅱ	0.80	0.60	0.42	0.26	0.13	0.06	0.02	0.01	0	0
	Ⅲ		0.60	0.39	0.21	0.06	0.01	0	0	0	
0.3	Ⅰ	0.71	0.45	0.25	0.12	0.05	0.02	0.01			
	Ⅱ	0.70	0.42	0.20	0.07	0.02	0	0	0	0	0
	Ⅲ	0.70	0.38	0.12	0.01	0	0	0			
0.4	Ⅰ	0.62	0.32	0.14	0.05	0.02					
	Ⅱ	0.61	0.27	0.08	0.01	0	0	0	0	0	0
	Ⅲ	0.60	0.20	0.01	0	0					
0.5	Ⅰ	0.53	0.22	0.08	0.02	0.01					
	Ⅱ	0.52	0.16	0.03	0	0	0	0	0	0	0
	Ⅲ	0.50	0.05	0	0	0					

がって P_0 は小さくなる。

3. リンク輸送系の最適設計

2.の動態解析結果をもとに、キャリア方式を採用するコンテナふ頭について最適な荷役機械の組み合わせを決定する。ただし計算にあたっては、①コンテナ船はけい岸して荷役中、②船型は20'コンテナ換算で500個積、1000個積、2000個積の3つのレベル、③所要のヤード面積は船型に比例するとする。いま、荷役中のコンテナ単位あたりの費用、 C_T (円/個)は次式で示される。

$$C_T = (n_3 C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_T) / m(1 - P_0)$$

ここに、 m : クレーン荷役能力(個/時間)、 P_0 : クレーン遊休率、 n_3 : キャリア台数(台)、 C_3 : キャリア関係費用(円/時間・台)、 C_4 : クレーン関係費用(円/時間・基)、 C_5 : コンテナ船関係費用(円/時間)、 C_6 : 岸壁関係費用(円/時間)、 C_T : ヤード関係費用(円/時間)

である。さらに、ヤード奥行を H (m)、バース長を L (m)、キャリアの平均速度を v_b (m/sec)、クレーンの平均サイクルタイムを t_c (sec)とすれば、前記インデックス P は次式により求められる。

$$P = (\frac{2}{3}L + H) / (v_b \cdot t_c)$$

表3は計算にあたって使用した以上の数値例である。また、表4～表7は表6計算結果(モデルⅡ, 2,000個積, 2段)の主要な結果を示したものである。これより、たとえば次のように結論される。(表4～表7には、 C_T の値を示している。)

1)現状でのキャリアの最適台数は、船型500、1000、2000個積の場合それぞれ2、2、3台となり、船型の大型化につれてコストは上昇する。

2)モデルⅠ、Ⅱ、Ⅲに対応してキャリアの最適台数はそれぞれ4、3、3台となり、モデルⅡでも最適設計が可能となる。また、6台以上投入すればクレーンの遊休がなくなるため、モデル間の差異はない。(表5)

3)モデルⅡによると、一時貯留容量に関係なくいずれの場合においてもキャリアの最適台数は3台となる。また、ヤード上のコンテナ段積数は1段、2段いずれの場合も、キャリアの最適台数は3台となる。(表6、表7)

4. むすび

本考察では、多重リンク輸送系の最適化を目標としてその中に存在する2リンク輸送系の最適設計について述べた。しかし、サブシステムの最適化は必ずしもトータルシステムの最適化とはならない。現在トータルシステムとしての最適化について検討中であるが、その結果が得られれば講演時に報告したいと考えている。

参考文献

- 1) J.T.Morgan: Two-Link Material Handling Systems, JORSA, Vol.14, No.1, 1966.
- 2) 長尾義三・則武通彦: 多重リンク系の輸送動態に関する一考察, 土木学会論文報告集, 第212号, 1973年4月.

表3 コスト関数の係数値

船型 (個積)	C_5 (円/hour)	C_6 (円/hour)	1段積み		2段積み	
			C_4 (円/hour)	P	C_4 (円/hour)	P
500	32,600	4,120	3,770	0.754	2,190	0.883
1000	71,000	4,660	7,540	0.558	4,390	0.692
2000	148,000	5,660	15,100	0.394	8,780	0.510
$m=38$ (個/hour)			$C_4=6,390$ (円/hour)		$C_5=2,220$ (円/hour・台)	

表4 計算結果(モデルⅡ, $V=2$, 2段)

船型 \ n_3	1	2	3	4
500	1,400	1,300	1,360	1,420
1000	2,610	2,380	2,430	2,490
2000	8,680	4,600	4,590	4,650

表5 計算結果($V=2$, 2,000個積, 2段)

モデル \ n_3	1	2	3	4	5	6
モデルⅠ	9,050	5,490	4,800	4,690	4,710	4,760
モデルⅡ	8,870	5,120	4,640	4,650	4,700	4,760
モデルⅢ	8,680	4,600	4,590	4,650	4,700	4,760

表6 計算結果(モデルⅡ, 2,000個積, 2段)

V \ n_3	1	2	3	4
0	8,770	5,180	4,590	4,650
1	8,750	4,730	4,590	4,650
2	8,680	4,600	4,590	4,650

表7 計算結果(モデルⅡ, $V=2$, 2,000個積)

段積数 \ n_3	1	2	3	4
1段	11,740	5,980	4,760	4,810
2段	8,680	4,600	4,590	4,650