II－106　しゅんせつ工事計画に関する2，3の研究

京都大学工学部　学生員　河上省吾

1．まえがき　最近，活発な港湾施設の整備拡充と臨海工業用地の造成に伴って、しゅんせつ工事の重要性が高まってきた。本研究では、しゅんせつ船，ひき船，土運船からなる船団を組んでしゅんせつ工事を行なう際に問題となる最適船団構成の決定方法について考察する。ここでは，総しゅんせつ費が最小となる船団が最適船団であると考えて考察を進める。まず，能力が異なるしゅんせつ船およびひき船からなる船団について待合せ理論を用いて検討し、つぎにシミュレイションによる方法について述べる。

2．待合せ理論による方法（各施設の能力が異なる場合）　しゅんせつ船団の作業をモデル化すると図1のようになることを，昨年の第17回年次学術講演会で述べた。ここで，各しゅんせつ船の積込み時間および各ひき船のえい航時間はともに指数分布をなし、その平均値はそれぞれ $1/\mu_{1i}$，$1/\mu_{2j}$（iは各しゅんせつ船を，jは各ひき船を表わす）であるとする。また，積込みおよびえい航作業は先着順に行ない、ひき船は1回に1隻の土運船をえい航するものとする。そして，この船団には，M隻のしゅんせつ船とA隻のひき船とN隻の土運船があるものとする。しゅんせつ船およびひき船にそれぞれ番号を付け，指標 a_i，b_j によって作業中のしゅんせつ船およびひき船を表わし，船団の状態を $(a_1\cdots a_i\cdots a_r;b_1\cdots b_j\cdots b_g|n_1,n_2)$ のように表わす。n_1，n_2 はそれぞれ積込みステージおよびえい航ステージにある土運船隻数を示し，つねに $n_1+n_2=N$ である。このように指標を用いて定義された状態を指標付き状態という。いま、時刻 t における船団の指標付き状態確率を $P_t(a_1,\cdots,a_r;b_1,\cdots b_g|n_1,n_2)$ で表わし，定常状態確率を $P(a_1,\cdots,a_r;b_1,\cdots,b_g|n_1,n_2)$ で表わす。この指標付き状態確率から船団の状態が (n_1,n_2) である確率 $P_s(n_1,n_2)$ を次のようにして求めることができる。$P_s(n_1,n_2)=\sum_k P(a_1,\cdots,a_r;b_1,\cdots,b_g|n_1,n_2)$ ここに，k は船団の状態が (n_1,n_2) となる指標付き状態の総数を表わす。これらの記号を用いて状態方程式を作り，それを解いて定常状態確率 $P_s(n_1,n_2)$ を求めると次のようになる。

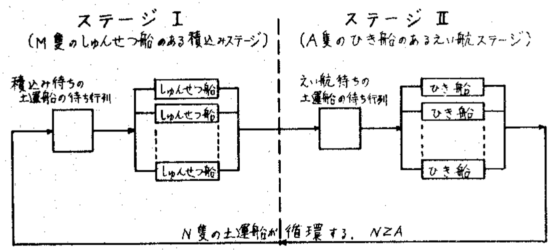

図 1

$N-A\geq M$ の場合，　1) $n_1\leq M\leq N-A$ のとき，$P_s(n_1,N-n_1)=\frac{(M-n_1)!\,P(0,N)}{M!\,m_{11}\cdots m_{1M}}\sum_{\binom{M}{M-n_1}} m_{1(n_1+1)}\cdots m_{1M}$，　2) $M<n_1\leq N-A$ のとき，$P_s(n_1,N-n_1)=\frac{P(0,N)}{M!\,m_{11}\cdots m_{1M}}$，　3) $M\leq N-A<n_1$ のとき，$P_s(n_1,N-n_1)=\frac{(n_1+A-N)!\,P(0,N)}{M!\,m_{11}\cdots m_{1M}(m_s)^{n_1-M}}\sum_{\binom{A}{n_1+A-N}} m_{21}\cdots m_{2(n_1+A-N)}$，

ここに，$m_{1i}=\mu_{1i}\Big/\sum_{j=1}^{A}\mu_{2j}$，$m_{2j}=\mu_{2j}\Big/\sum_{j=1}^{A}\mu_{2j}$，$m_s=\sum_{i=1}^{M}m_{1i}$ であり，また，$m_{\ell 1}\cdots m_{\ell r}$ は $\{m_{\ell 1},\cdots,m_{\ell c}\}$，$(c=M,A)$ から r 個の $m_{\ell i}$ をとり出して積を作ったものである。

これらの状態確率より平均遊休しゅんせつ船隻数 M_i を求めると，各施設の能力に差がある船団による総しゅんせつ費 $D(M,A,N)$ は次式で計算することができる。

$D(M,A,N)=(C_mM+C_aA+C_\ell N)\frac{R}{(M-M_i)Q}$，　ここに，$C_m$，$C_a$，$C_\ell$ はそれぞれ1隻のしゅんせつ船，ひき船，土運船の単位時間当たりの費用を表わし，Q はしゅんせつ船の平均しゅんせつ能力

を，またRは総しゅんせつ土量を表わす。ただし，この式で総しゅんせつ費を計算するためには，各しゅんせつ船の遊休状態がほぼ等しく現われることが前提条件となる。いま，指標付き状態確率を用いると各施設の遊休状態となる確率が求められ，しゅんせつ船の能力の差が小さいときは，各しゅんせつ船の遊休状態がほぼ等しく現われることがわかる。総しゅんせつ費をいろいろの船団について計算し，その値が最小となるものを最適船団として採用すればよい。

また，各しゅんせつ船の能力に差があるとき，平均遊休しゅんせつ船隻数M_iの，各しゅんせつ船の能力を個々のしゅんせつ船の能力の平均値でおきかえた場合の平均遊休しゅんせつ船隻数$\overline{M}_i$に対する誤差率R，($M_i=\overline{M}_i(1-R)$)をしゅんせつ船の能力の差がいろいろの場合について計算すると図2のようになる。図2から，しゅんせつ船の能力の差があまり大きくない場合は，その能力が個々のしゅんせつ船の能力の平均値に等しいとみなしても大きな誤りはないことがわかる。さらに，しゅんせつ船の能力の平均値の大きさによって誤差率Rが変わることもわかる。

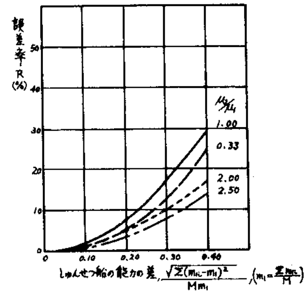

図 2

3、シミュレイションによる方法

各施設の作業時間が指数分布でないならば，待合せ理論で船団の解析を行なうことはほとんど不可能であるが，船団の作業を電子計算機内で再現（シミュレイト）することはいかなる場合にも可能である。作業時間分布の確率密度$f(t)$がわかっておれば，一様乱数rを用いて，$r=\int_0^t f(t)\,dt$ なる関係式より分布が$f(t)$に従う作業時間を決めることができる。ここでは，積込み時間およびえい航時間の分布として図3，図4で示されるものを用いた。シミュレイションモデルとしては，図1に示したものを採用し（ただし，積込み待ち行列は各しゅんせつ船ごとに生ずると考えた），5分刻みに作業を再現した。京大にある計算機KDC−1を用いると1日分8時間の作業のシミュレイションに3〜5分を要した。シミュレイションに際しては，各施設の遊休時間が加算されるようにしておく。しゅんせつ船の総遊休時間Iがわかると，次式によりこの船団で工事を行なうときの総しゅんせつ費D(M, A, N)を計算することができる。

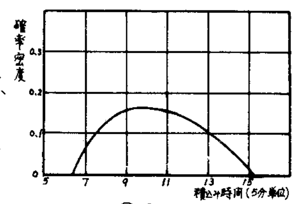

図 3

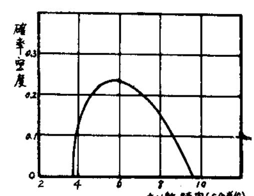

図 4

$$D(M,A,N)=(C_mM+C_aA+C_\ell N)\frac{R}{(M-I/T)Q}$$，T：シミュレイション時間

この総しゅんせつ費より最適船団の構成を決めることができる。ここに，$C_m=6832$ yen/hr，$C_a=2708$ yen/hr，$C_\ell=984$ yen/hr のときの総しゅんせつ費をいろいろの船団についてシミュレイションの結果から計算し，グラフに表わすと図5のようになる。図5から，このときの最適船団の構成は，しゅんせつ船が2隻，ひき船が1隻，土運船が5隻であることがわかる。

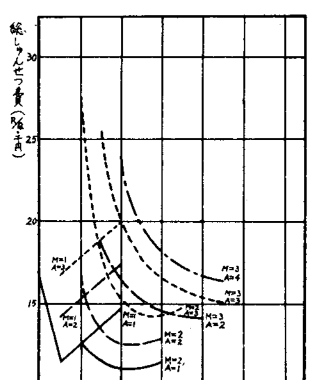

図 5