

運輸省港湾技術研究所

港湾技術研究所 報告

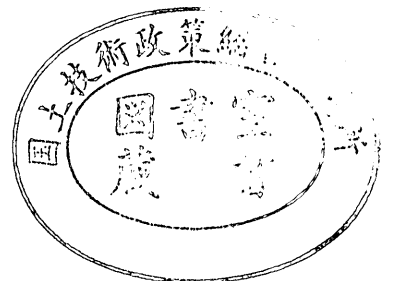
REPORT OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH
INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT

VOL. 11

NO. 4

DEC. 1972

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第11巻 第4号 (Vol. 11, No. 4), 1972年12月 (Dec. 1972)

目 次 (CONTENTS)

1. Vibratory Response of a Laterally Constrained Silty Clay Subjected to a Longitudinal Vibration.....Yasufumi UMEHARA..... 3
(縦振動を受ける側方拘束粘土の振動応答.....梅原靖文)
2. 岩礁上の円柱の設計波力に関する研究
.....合田良実・池田龍彦・笹田 正・岸良安治..... 45
(Study on Design Wave Forces on Circular Cylinders Erected upon Reefs
.....Yoshimi GODA, Tatsuhiko IKEDA, Tadashi SASADA and Yasuharu KISHIRA)
3. 砂分の多い粘性土の一軸圧縮強さ...中瀬明男・勝野 克・小林正樹..... 83
(Unconfined compression strength of soils of intermediate grading between sand and clay.....Akio NAKASE, Masaru KATSUNO and Masaki KOBAYASHI)
4. 石灰による深層混合処理工法 (第2報)
.....奥村樹郎・寺師昌明・光本 司・酒井正寛・吉田富雄.....103
(Deep-Lime-Mixing Method for Soil Stabilization (2nd Report)
.....Tatsuro OKUMURA, Masaaki TERASHI, Tsukasa MITSUMOTO,
Tadahiro SAKAI and Tomio YOSHIDA)
5. 空港舗装における路盤の等価値に関する研究.....須田 潤・佐藤勝久.....123
(Study on Layer Equivalencies of Bases in Airport Pavements
.....Hiroshi SUDA and Katsuhisa SATO)
6. 地表における強震記録より推定した基盤の地震動の特性
.....土田 肇・上部達生.....191
(Characteristics of Base-Rock Motions Calculated from Strong-Motion Accelerograms at Ground Surface.....Hajime TSUCHIDA and Tatsuo UWABE)
7. 沈埋トンネルと地盤の相互作用に関する実験的研究
.....青木義典・田淵民雄.....271
(A experimental study on the interaction between trench type tunnels and soils
.....Yoshinori AOKI and Tamio TABUCHI)
8. 沈埋トンネル耐震設計用スペクトルについて.....青木義典・丸山 浩.....291
(Spectra for Earthquake Resistive Design of Trench type Tunnel
.....Yoshinori AOKI and Hiroshi MARUYAMA)
9. 雑貨埠頭の上屋・倉庫のシステム設計 (第1報)工藤和男.....315
(System Design of Transitsheds and Warehouses(Part-1)Kazuo KUDO)
10. スパッドに作用する衝撃荷重について
.....平山 勇・菊谷 徹・小岩苔生.....337
(Shock Forces on a Spud of Working Craft
.....Isamu HIRAYAMA, Toru KIKUYA and Taisei KOIWA)

9. 雑貨埠頭の上屋・倉庫のシステム設計 (第1報)

工藤和男*

* 設計基準部 システム研究室長

9. System Design of Transitsheds and Warehouses (Part-1)

Kazuo KUDO*

Synopsis

Transitsheds and warehouses of general cargo berths have been analysed as a type of stochastic process. Governing factors in the model are as follows;

- i) arrival of cargoes to the transitsheds (or waehouses)
- ii) size of loading and unloading for each vessel
- iii) pattern of cargoes' stay in the transitsheds.

The first factor, arrival of cargoes, can be substituted by ships' arrival at the berth. Then, well known Poisson arrival is utilized.

To the third factor, applicability of negative exponential distribntion is confirmed by actual statistics. The model thus formulated is the same of Shot Noise Process in it's mathematical features.

This model gives us information of variance of storage demand as well as it's mean value. Present method of designning is explained as the special case of the model, designning of mean value, the limitation and deficiency of the present method are also made clear.

* Chief of Systems Laboratory, Design Standard Division

目 次

まえがき	319
1. 従来の上屋容量の決定法	319
1.1 港湾構造設計基準の方法	319
1.2 シミュレーションによる方法	320
2. 本船, および貨物輸送の特性	323
2.1 本船の到着	323
2.2 本船一隻ごとの貨物量の分布	324
2.3 貨物の上屋滞留分布	326
3. 上屋, 倉庫の確率過程モデル	327
3.1 定式化と解法	327
3.2 モデルの特性 その1 —平均滞留日数と在庫量—	331
3.3 モデルの特性 その2 —複数バース共通上屋の機能—	332
3.4 モデルの特性 その3 —プロッキングの影響—	334
4. 結 論	335
あとがき	335
参考文献	335
主要記号表	336
補 足	336

まえがき

雑貨埠頭の上屋あるいは倉庫のシステム設計を考えるうえで最も重要なことはこれらの施設の容量の決定であると考えられる。

現在、一般におこなわれているのは年間計画取扱量を想定し、年間回転率を仮定して容量を決定する方法であるが理論的な根拠に乏しく、この方式による限り改良、発展を試みる方向としてはわずかに実績調査によって年間回転率の推定の精度を向上すること程度しか期待できない。

この方式によらないものとしては、上屋、倉庫（以下上屋で代表させる。）への搬入、搬出分布を与え、貨物の滞留分布を実績値をもとに推定し、一種のシミュレーションをおこなって容量を決定する方法が提唱され^{*1)*2)}、一部では実施されている。

後者の方式は理論的には優れたものではあるが、上屋の一般的な特性を明らかにするためには数多くのケースについてシミュレーションを実施しなければならず、得られるであろう結果も解析的な手法による場合に比較すると明瞭さを欠くという難点がある。

本報告では上屋の一般的な特性を明らかにすることを主目的として確率過程論によってモデル化を試み、出来るだけ解析的に扱うことを試みた。もとより、上屋の機能には船舶によって一時に大量に輸送される貨物を、比較的小単位で輸送されるトラック輸送または貨車輸送に円滑に接続するための一時保管機能のみならず、通関、仕分け、荷姿の変更、マークの打ち換えなどのいくつかのものがあるが、ここでは主として第一義的な機能であるバッファーとしての一時保管機能に着目して考察を加えた。また、本報告で述べる方法は本質的には雑貨埠頭の上屋だけでなく、バッファーとしての一時保管を主たる機能とする諸施設、たとえば野積場、コンテナ埠頭のマーシャリング・ヤードやフレート・ステーション、穀物バースのサイロ、石油バースの貯蔵タンク、工場専用岸壁の原材料ヤードなどの容量の算定に応用できるものである。

搬出入分布や滞留時間分布を決定するのは貨物の種類、商習慣、上屋の管理方式など、多くの要素が考えられ、それらがからみ合って現実のパターンを形成してい

*1) 第三港湾建設局：摩訶埠頭計画および設計概要、昭和33年

*2) 奥山育英ほか：コンテナ埠頭の規模および荷役方式に関する考察、港湾技術研究所報告10巻3号、1971

ることはいうまでもない。したがって既成の港についてそれらの特性を変えてゆくことは容易なことではない。しかしながら、改良を目指す場合、どの要素どのように変えるべきかは本報告のような種類の分析を始めて始めて円滑に実施できる案として具体的なものとなってくると思われる。

今回の検討ではこのような点についての掘下げはまだまだ不十分ではあるが、いくつかの要素について経験的に主張されてきたもの、裏付けをおこなうことができたと考えている。

1. 従来の上屋容量の決定法

1.1 港湾構造物設計基準の方法

現在わが国の港湾でおこなわれている設計法の標準としては港湾構造物設計基準（運輸省港湾局編）によるのが最も一般的であろう。以下は同冊第8編「けい留施設」1.6 上屋、倉庫からの引用である。まづ、本文ではつぎのように述べている。

上屋および倉庫の寸法については、式(1.1)を満足するのがのぞましい。

$$W = \frac{N}{nR} = awlb \quad (1.1)$$

ここに

- W; 1むね(棟)の貨物収容能力 (t)
- N; 所要年間取扱い貨物量 (t)
- R; 上屋、倉庫の回転率 (回/年)
- w; 単位面積当り収容貨物量 (t/m²)
- b; 間口 (m)
- l; 奥行 (m)
- n; むね数
- a; 貨物収容率 $\alpha = 0.5 \sim 0.7$

また、同編1.7 野積場、貯木場、貯炭場の部分の本文はつぎのようになっている。

野積場、貯木場、貯炭場の面積については、式(1.2)を満足するのがのぞましい。

$$W = \frac{N}{R} = awA \quad (1.2)$$

ここに

- W; 貨物収容能力 (t)
- N; 所要年間取扱い貨物量 (t)
- R; 回転率 (回/年)
- A; 野積場、貯木場、貯炭場の所要面積 (m²)
- w; 単位面積当り収容貨物量 (t/m²)
- a; 利用率、通常 0.7 程度

いずれの場合でも貨物収容能力（上屋の場合は複数の棟数を考えているので、上屋棟数が入ってきているが）は年間取扱貨物量を年間の回転率で割った値であるとし

ている。

この方法はいってみれば平均値法とも名付けるべきもので変動に対する許容量を全然考慮していない。倉庫、とくに営業用倉庫はこの考え方も良いであろうが、上屋の容量設定法としては極めて危険側（過少な容量を与えるという意味で）の考え方である。この点については後段（3—2）で詳細に論じる。もし、変動に対する考慮があるとすれば i) 上屋の回転率 R , ii) 単位面積当り収容貨物量 w , iii) 貨物収容率 α などの数値に余裕をもたせておくことであるが、つぎのような理由で否定的に考えざるをえない。まづ上屋の回転率 R であるが、設計基準の解説にはつぎのように記載されている。

- (1) 上屋の規模は、少なくとも前面バースにけい留する船舶一隻分の経岸出入貨物を収容するに十分な広さを有するよう決めることがのぞましい。
- (2) 回転率は港によって異なり、その港の実績に応じて決めなければならない。また、その港に実績のない場合は、経済状態および規模の類似した他の港の実績を参考にすればよい。また、参考にする資料の全くない場合は、次の値を用いてよい。
- 上屋 20~25回/年
倉庫 8~12回/年
- (3) 上屋、倉庫規模の決定方法としては、回転率を用いる方法とは別に、入港船の到着隻数分布、在港日数分布、積荷分布、あるいは揚荷分布、上屋搬入分布などから O. R. の手法を用いて決定する方法もある。

(2)の説明で明らかのように実績で決めようということであり、参考にする資料のない場合に用いる値としての 20~25回/年 も実績値から引き出されたもので、この部分に余裕を見込むということにはなっていない。

単位面積当り収容貨物量 w については想定する品種、荷姿によって変るであろうがこの値を意識して低くとる構造設計には危険側になるからなかなか出来にくい。

実際問題としても、ここに余裕がとられているとは考えにくい。最後に残った上屋の場合の貨物収容率、野積場の場合の利用率（ともに α で表されている）であるが後者が 0.7、前者が 0.5~0.7 とされており、上屋の最大値と野積場の値が一致している点からみても、柱なしの上屋で 0.5 をとるとするような設計をやらない限り、それ程の余裕は出てこないと推定できる。

以上みてきたように、設計基準の方法は「平均値法」ともいうべきものであって、「上屋および倉庫の寸法については……」という表現からもうかがわれるように、上屋と倉庫の機能を単純に回転率の違いだけと割切ったっている。倉庫、とくにその大部分をしめる一般の営業倉庫については保管機能による収入を上げることが第

一義的な目的であって保管量を多くして置くことが（ことわることによる顧客を失うことを別にすれば）至上命令である。倉庫と他の地点間の貨物輸送は、いわば他人ごとであって保管量を減らすことによって貨物の交錯輸送を減少させることなどはあまり問題とならない性質のものである。いっぽう、上屋の第一義的な機能はまえがきで述べたように船舶とトラックもしくは貨車という異種の輸送機関の間に円滑な貨物の流れを確保するためのバッファーとして一時保管機能であって、あくまでも港全体の効率を上げるための部品として機能すべきものである。したがって現在一部の大港湾にみられるような上屋に貨物が満載されて港内の交錯輸送を前提として運営されているような状態は明らかに異状なものとして理解されるべきものであろう。したがって上屋の容量決定においては一般の営業倉庫と異なり、変動の吸収をこそ主目的にしなければならないはずのものである。この点についての解析が本報告の主題であると理解していただいても考える。

1.2 シミュレーションによる方法

前記の港湾構造物設計基準の方法で引用したなかにも解説の(3)に「上屋、倉庫規模の決定方法としては、回転率を用いる方法とは別に、入港船の到着隻数分布、在港日数分布、積荷分布、上屋搬入分布などから O. R. の手法を用いて決定する方法もある」とあり、ここでいっている O. R. の手法というのはモンテカルロ・シミュレーションのことであるのは参考文献に長尾義三：港湾技術の発展に関する方法論的研究（昭和38年）と佐藤肇：雑貨輸出入埠頭計画論（昭和40年）があげてあることからはっきりしている。前者は神戸港の摩耶埠頭の計画のときにおこなわれた研究で他の面についても港湾計画に新しい観点を導入した歴史的な文献であるが、上屋の容量決定についても最初のアプローチを示したものとして評価されるべきものである。後者は六甲埠頭の計画（案）作成にあたって実施された研究であり、摩耶埠頭の方法をさらに改良したものとされている。摩耶埠頭の例では手作業で試みられたシミュレーションが六甲埠頭の例では電算機によるものになっている。それにとまって連続したケースを考えたシミュレーションが実施される型式を整えている。ここでは六甲埠頭の例を読み易く書き直してトレースすることを試してみる。

まづ断っておく必要があるのは、そこで対象とされている上屋が輸出専用上屋であるという点である。しかし後で述べるようにこの方法は取扱いが多少複雑になるだけで輸入専用上屋や、輸出、輸入両用の上屋（一般的に

はこの型式)にも適用可能であるから、輸出専用上屋を対象とすることがそのまま一般性を失なうものではない点に留意しておく必要がある。

図-1にブロック・チャート、図-2に計算の手順をグラフ化して示した。図-1では当日の搬出入量を求めて前日までの在庫量に加へるとい手順になっているが、図-2

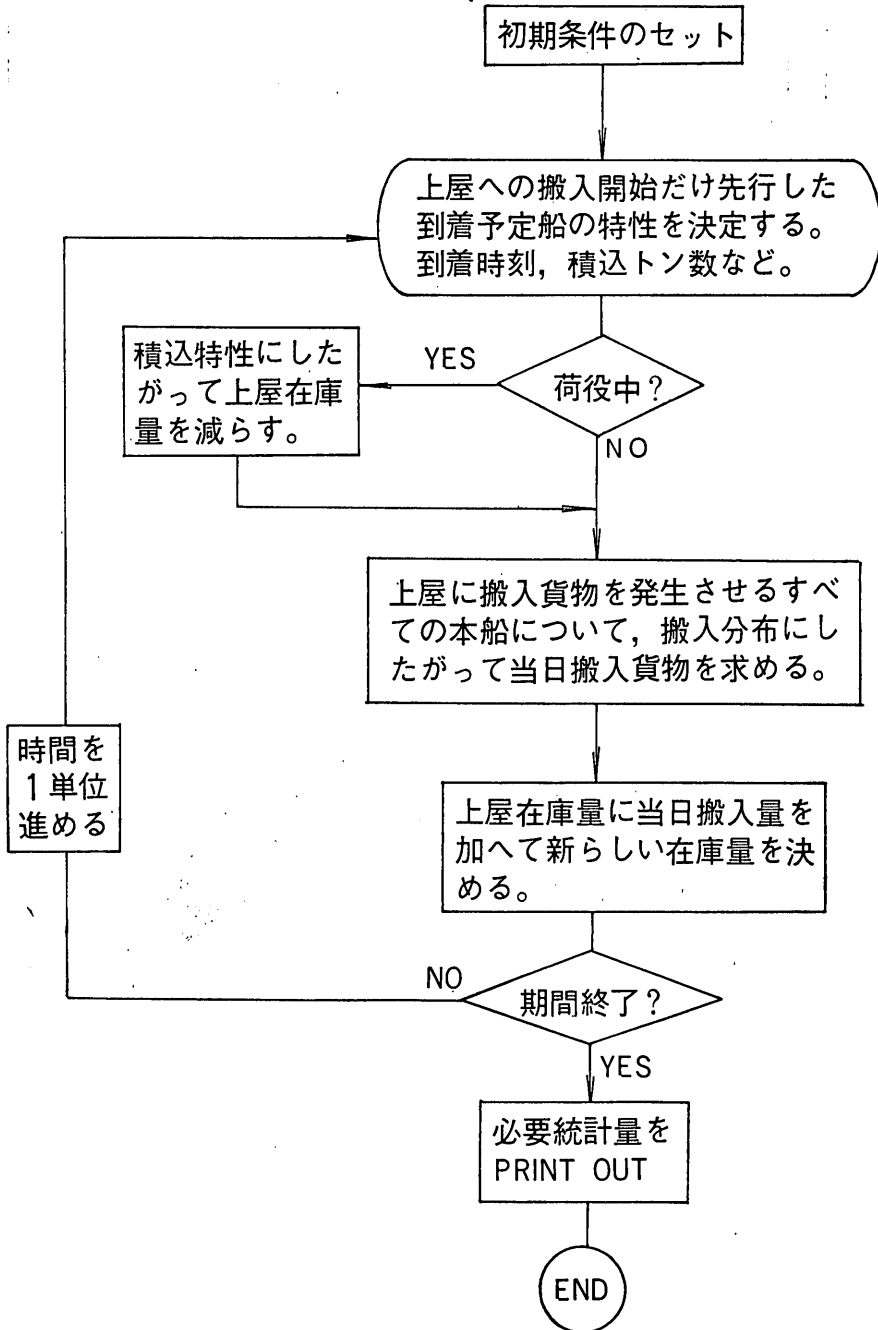


図-1 ブロック・チャート

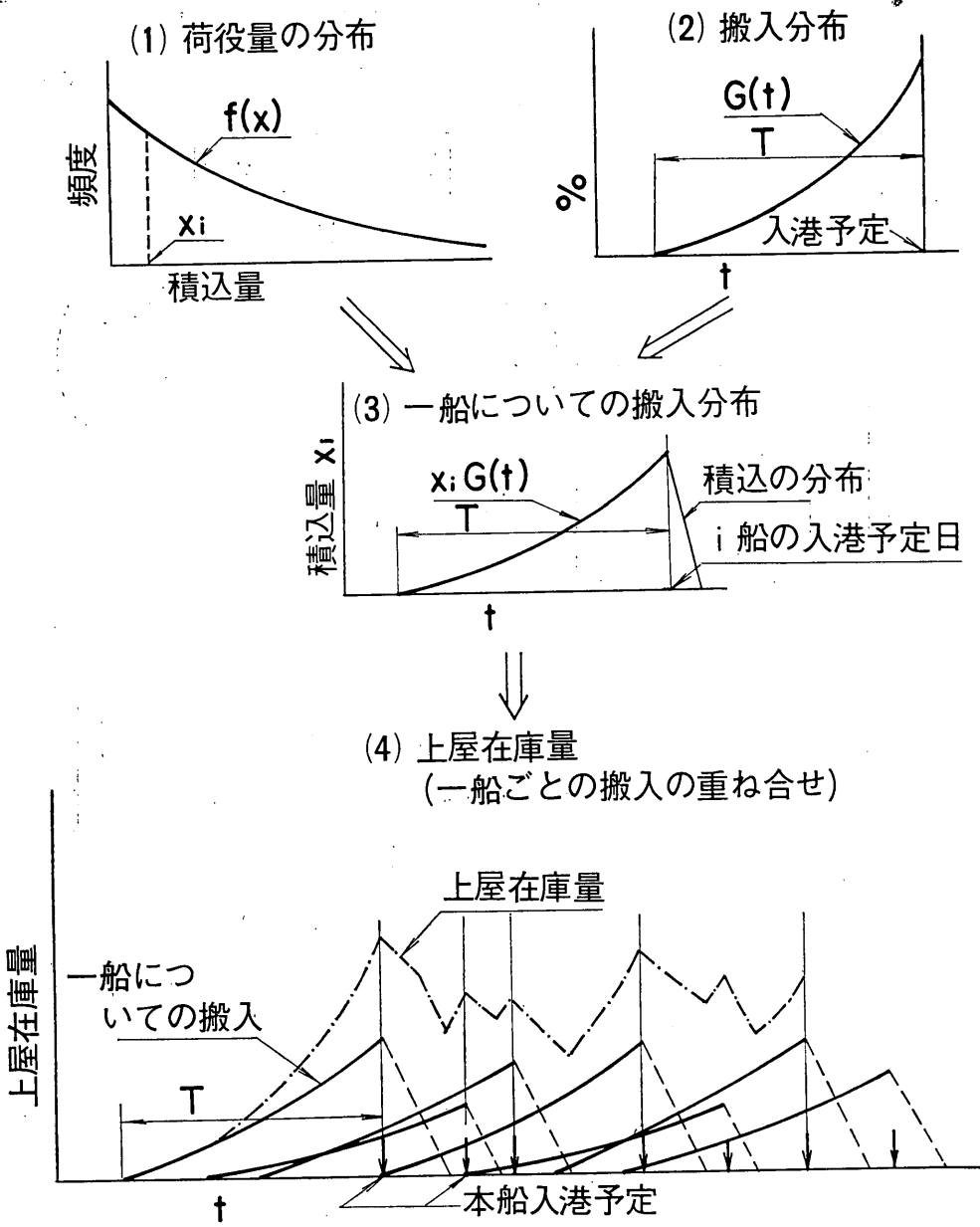


図-2 計算手順の概念図

では単純化して搬入の累積分布を使っているので図-1のブロック・チャートに合はせるのであれば $x_i \cdot G(t)$ の曲線を任意の時刻 t_j について操作するとき $x_i \{G(t_j) - G(t_{j-1})\}$ とでもしておけばよい。

図から明らかのようにこの方式で考慮される本質的な要素はつぎのようなものである。

- i) 本船の到着分布 (対象として考える岸壁への)
- ii) 一船当りの荷役量 (この場合積込量)
- iii) 上屋への搬入分布
- iv) 荷役のスピード

まづ輸出貨物の上屋への搬入特性を調査して、計画対象の埠頭を利用する航路について本船の接岸予定日を基

準に総ての本船について共通のものとしての貨物の搬入分布 $g(t)$ を決定する。ついで計画対象の航路の特性などから一隻当りの荷役量（ここでは積込量）の分布 $f(x)$ を求める。この両者が求めれば $f(x)$ にしたがう分布を持ち積込む貨物量が x_i である本船 i の本船接岸予定日を基準にした上屋搬入量 $x_i \cdot g(t)$ が判る。当然 $G(t)$ を $g(t)$ の累積分布とすれば本船 i の貨物量 x_i のうち t_j までに上屋に搬入されている量は $x_i \cdot G(t_{j-1})$ となる。

図-2の(1)荷役量の分布、(2)搬入分布、(3)一船についての搬入分布は以上の手順をグラフで示したものである。

あとは本船の入港予定を単位時間あたりの入港隻数、あるいは到着時間々隔のいずれかを設定して $x_i \cdot G(t)$ を配置し任意時刻での上屋在庫量を集計してやればよい。この部分は図-2の(4)上屋在庫量に示すとおりである。

2. 本船および貨物輸送の特性

2.1 本船の到着

本船の港への到着の仕方については可成りの量の調査研究がおこなわれており、わが国の例についても長尾^{*4)} 工藤^{*3)} らの調査がある。海外での調査については H. Agerschon と J. Korsgaard の論文^{*5)}に多くの事例が紹介されている。これらの結果によれば一般の雑貨船の入港を主体とする港においてはポアソン到着で近似できるという例が多い。ただし、それらのいずれもが港への到着を扱っており、接岸時刻の分布そのものを直接の対象とはしていない。

解析の精度からいっても入港についてのポアソン到着を接岸時刻分布に引きうつして差障ない判断できるが、ここでは神戸港の新港埠頭について昭和39年と40年に実際の接岸時刻を調査したものについて分析を試みる。原データは港湾技研資料 No. 144 とおなじく神戸市港湾局新港埠頭管理事務所繋船係の調査によるものである。

年間に同埠頭に接岸した船舶について、台風時およびその直後、正月休みの期間を異常な場合として除き接岸隻数の頻度分布を作ってみると図-3、図-4のヒストグラムをえる。この分布についてのポアソン分布による適合を χ^2 検定によって調べてみると表-1、表-2のような

*3) 工藤, 高野, 奥山: 埠頭の貨物取扱い能力についての研究, 港研報告 Vol. 4, No. 8, 1965

*4) 長尾義三: 港湾技術の発展に関する方法論的研究 第三港湾建設局, 1959

*5) Agerschon H. and Korsgaard J.: Systems Analysis for Port Planning, the Dock and Harbour Authority, March, 1969

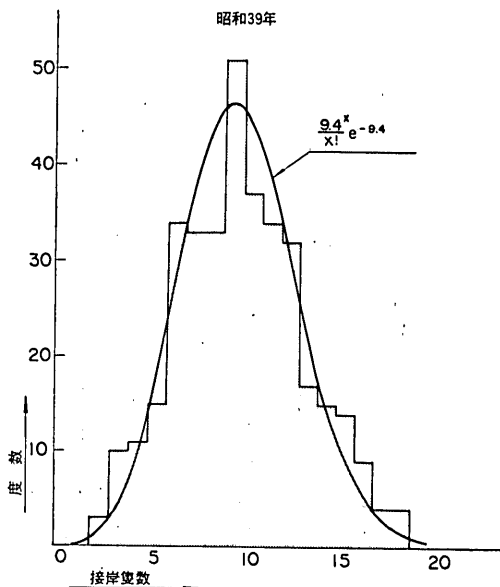


図-3 新港埠頭接岸隻数分布

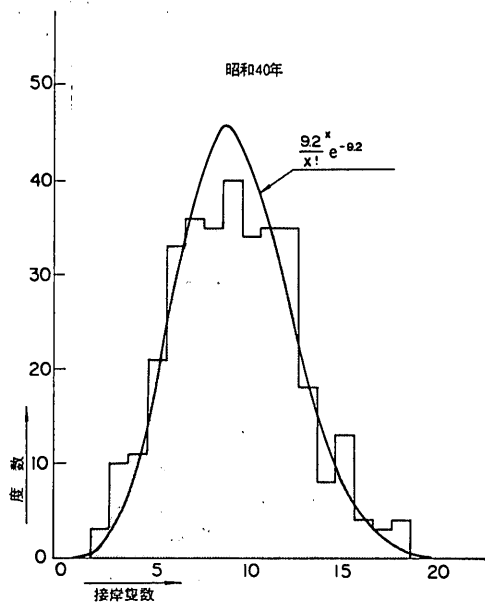


図-4 新港埠頭接岸隻数分布

結果となり、ポアソン分布による近似が可能であることが明らかとなった。

昭和39年については一日平均接岸隻数 λ は 9.4 クラス数 $k=18$, 推定した母数 1 だから $26.028 < \chi^2(17, 0.05) = 27.6$ である。

表-1 新港埠接岸分布 (昭和39年) $\lambda=9.4$

(1) 隻数	1 & under	2	3	4	5	6	7	8	9
(2) 度数	0	3	10	11	15	34	33	33	51
(1)×(2)	0	6	30	44	75	204	231	264	459
ポアソン分布	0.0009	0.0037	0.0115	0.0269	0.0506	0.0193	0.1064	0.1251	0.1306
度数	0.306	1.301	4.077	9.508	18.011	28.217	37.892	44.523	46.502
χ^2	0.306	2.218	8.605	0.212	0.503	1.185	0.632	2.982	0.435
10	11	12	15	14	15	16	17	18 & over	Σ
37	34	32	17	15	14	9	4	4	356
370	374	384	221	210	210	144	68	72	3,366
0.1228	0.1049	0.0822	0.0594	0.0399	0.0250	0.0147	0.0081	0.0081	1.0
43.712	37.354	29.260	21.157	14.206	8.902	5.230	2.892	2.878	356
1.031	0.301	0.257	0.817	0.044	2.919	2.718	0.425	0.438	26.028

表-2 新港埠頭接岸分布 (昭和40年) $\lambda=9.2$

(1) 隻数	1 & under	2	3	4	5	6	7	8	9
(2) 度数	0	3	10	11	21	33	36	35	40
(1)×(2)	0	6	30	44	105	198	252	280	360
ポアソン分布	0.00103	0.0035	0.0131	0.0302	0.0555	0.0851	0.1118	0.1286	0.1315
度数	0.354	1.195	4.998	10.345	19.034	29.186	38.359	44.113	45.093
χ^2	0.354	2.726	6.731	0.041	0.203	0.498	0.145	1.883	0.575
10	11	12	13	14	15	16	17	18 & over	Σ
34	35	35	18	8	13	4	3	4	343
340	385	420	232	112	195	64	51	72	3,158
0.121	0.1012	0.0776	0.0549	0.0361	0.0221	0.0127	0.0069	0.0066	1.0
41.486	34.698	26.601	18.826	12.371	7.588	4.363	2.361	2.257	343
1.351	0.003	2.652	0.036	1.544	3.861	0.0302	0.173	1.346	24.152

同様に40年についても $24.152 < \chi^2(17, 0.05) = 27.6$ となる。

表-1と表-2で興味がある点は λ の値の安定性が良いことで2%強の変動を示すにすぎない。

2.2 本船一隻ごとの貨物扱量の分布

一般論として定性的にはつぎのようなことがいえるはずである。

i) 原材料や穀物の輸入など満船の状態を原則とする(二港揚げなどの特殊な場合を除き)ものは船型の分布がほぼそのまま取扱貨物量の分布となる。

ii) これに反して、在来型の定期船に代表されるように複数港で荷役し、航海全体での船積の利用を基準に置くものは、航路ごとにはほぼ一定の船型となるが、一船当りの取扱貨物量は可成り広いレンジにわたって分布する。

さらに細分すれば、i)のグループには在来タイプの不

定期船バースや石油の積出しバースのように船型の分布が一定のレンジのなかでバラツクものと鉄鉱石や原油の輸入バース、あるいはコンテナ・バース、フェリー・バースのように1種類もしくはたかだか3、4種の船型に限定されるものがある。

これらを船型の分布と一港における揚積量のバラツキという2点から模式的に整理してみると図-5のようになる。

本報告ではこのうちとくに在来タイプの定期船について検討を加えるので過去におこなわれた調査結果の一例を以下に引用しておく。^{*)}

これらの結果からみて、本報告が対象とするような雑貨埠頭については一船ごとの揚積量の分布として指数分布を仮定してもよいと考えられる。また註1)にあげた第

^{*)} 工藤和男ほか：埠頭の貨物取扱能力についての研究，港研報告 Vol. 4, No. 8 pp. 20-24, 1965

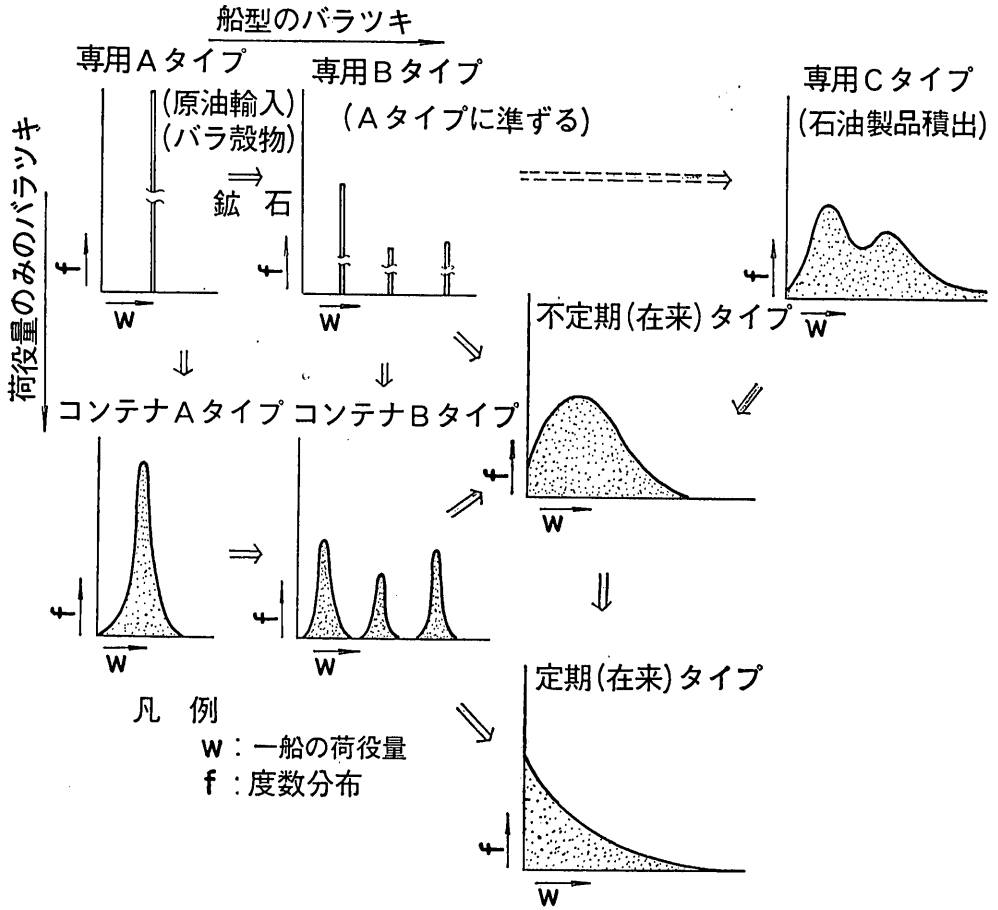


図-5 一船ごとの荷役量の模式的な分類

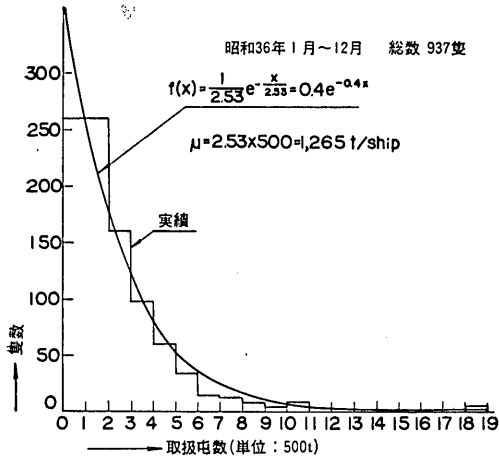


図-6 一船ごとの揚積量の分布(神戸港北米西岸航路)

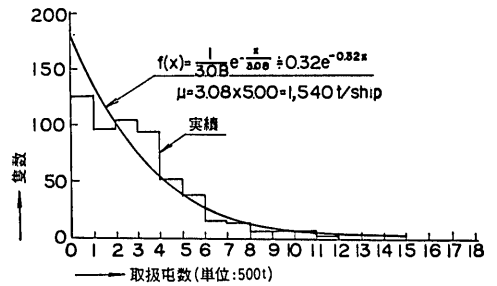


図-7 一船ごとの揚積量の分布(神戸港北欧航路)

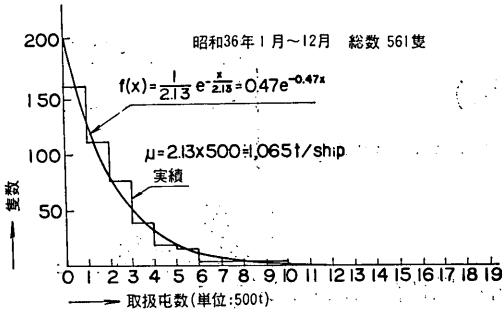


図-8 一船ごとの揚積量の分布 (神戸港豪州航路)

三港湾建設局の調査もほぼ同様な結果をえている。

2.3 貨物の上屋滞留分布

上屋の容量を決定する要素のうち最も重要なものが、

ることになる。

シミュレーションによる方法をとるにしてもパース当りの貨物扱量が或る範囲に想定されれば平均滞留時間もしくは滞留時間の分布が支配的に効いてくるであろうことは充分予想できる。

表-3は我国の代表的な雑貨埠頭である横浜港山下埠頭の上屋についての貨物の滞留分布である。*7) グラフ化したものは図-9に示した。

年平均の回転率も約26回転と設計基準の解説にある。20~25回/年よりやや高いという程度でまづ標準的な上屋と考えてよい。

表-4はコペンハーゲン自由港での輸入貨物についての上屋滞留調査である。*8) この調査は上屋の滞留について全く規制をおこなわない場合について実施されたもの

表-3 山下埠頭上屋の貨物滞留分布 (昭和45年)

時間 月別	1~2日		3~15日		16~30日		31日以上		計	
	トン数	%	トン数	%	トン数	%	トン数	%	トン数	%
1	10,841	14	41,489	55	12,446	16	11,223	15	75,777	100
2	14,411	13	67,173	63	17,614	16	8,775	8	107,973	100
3	18,430	15	74,768	59	21,767	17	11,381	9	126,346	100
4	19,754	17	64,062	54	21,315	18	13,193	11	118,327	100
5	19,870	16	63,891	52	23,954	20	15,033	12	122,748	100
6	19,093	16	69,995	57	20,860	17	12,331	10	122,279	100
7	20,886	17	68,628	55	22,455	18	13,084	10	125,053	100
8	16,606	14	65,528	57	20,788	18	13,725	11	116,647	100
9	20,336	17	67,671	56	19,915	17	12,236	10	120,158	100
10	20,113	16	67,825	56	20,511	17	13,131	11	121,580	100
11	15,449	15	63,222	59	15,411	15	11,732	11	105,814	100
12	19,822	15	74,746	59	19,974	16	12,966	10	127,508	100
計	215,614	15.5	788,998	56.8	237,010	17.0	148,810	10.7	1,390,213	100
前年	186,525	13.8	797,948	59.2	222,591	16.5	141,579	10.5	1,348,643	100

本節で扱う「貨物の上屋滞留分布である。1.1で扱った従来の上屋容量の決定法にしたがって考えてみよう。まづ港湾構造物設計基準の方法では年間所要貨物取扱量—これは埠頭のタイプが定まれば常識的な値は決まってきた—が与えられれば平均回転率だけの関数となってくる。すなわち平均滞留時間だけで上屋の容量が求められる。

表-4 コペンハーゲン港での上屋貨物滞留の一例

滞留期間 (A)	% (B)	(A)の平均 (C)	(B) × (C) : (% × 日)
0日~4日	30	2日	60%・日
5日~8日	20	6	120
9日~半月	20	11.5	230
半月~1ヶ月	16	22.5	360
1ヶ月~1ヶ月半	6	37.5	225
1ヶ月半~2ヶ月	2	52.5	105
2ヶ月以上	6	210	1260
小計	100	23.6	

*7) 資料の出典は下記

横浜市港湾局山下埠頭事務所：山下埠頭概況 (昭和45年), 昭和46年

*8) H. Fugl-Meyer: The Modern Port, Danish Technical Press, 1957, pp. 75

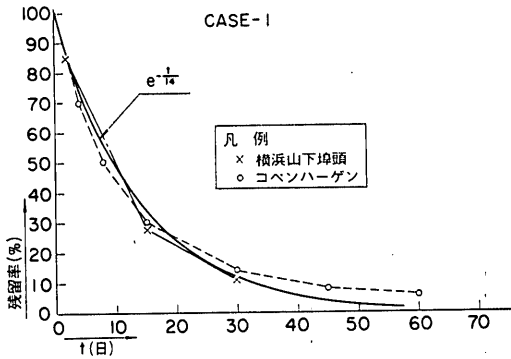


図-9 貨物の上屋滞留分布

であり、グラフ化したものを図-9に示したが平均滞留日数は23.6日と非常に長いのが特徴的である。

図-9から判るように30日付近までは両者(山下埠頭については以降のデータは一括表示されていて内訳は判らない。)は可成り似た変化を示す。図中に示した指数曲線は山下埠頭の平均回転率から逆算した平均滞留日数14日を用いて書いたものである。30日付近まで表-3と表-4の値が $e^{-\frac{t}{14}}$ に近いにもかかわらず後者の平均滞留日数が23.6と70%近くも大きくなるのは60日を超えるような貨物について平均滞留日数が210日と極端に長くなることその原因である。

表-5は神戸港の輸出雑貨について最終保管場所(上屋とは限らない)における滞留の実態を調査したもの^{*9)}である。平均滞留日数はほぼ6日程度と表-3や表-4の値に較べると半分以下に短くなっている。これをグラフ化したものが図-10である。図-10には神戸港の六甲埠頭の計画のさいに実施された調査の結果^{*10)}を示したがこの場合の平均滞留日数は約4.5日である。図中の曲線は平均滞留日数を平均値にもつ指数分布である。図-9、図-10から推定できることは雑貨埠頭における雑貨の滞留分布は平均値は違っても一応指数分布で近似できそうだということである。

本報告の主題から少しはづれるかも知れないが、図-9と図-10の違いについて検討を試みる。図-10にある×印の点は文献10)からの引用であるが、輸出用雑貨について本船到着の何日前から搬入されたかという調査結果であり、文献9)―表-5にデータを載せた―が本船に積込まれた雑貨についてその直前の保管場所(埠頭の)

*9) 工藤, 中村ほか: 神戸港輸出雑貨の港内流動, 港湾技研資料 No. 95, 1969

*10) 佐藤肇: 雑貨輸出入埠頭計画論, 第三港湾建設局, 昭和40年

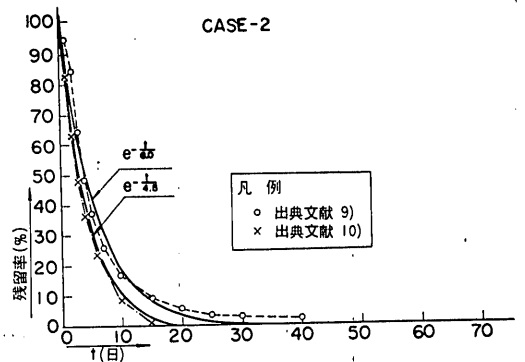


図-10 神戸港輸出雑貨の最終保管場所での滞留

度滞留したかを調査したものと似かよった性格のものである。

筆者がバンコック, ペナン, シンガポールなどで説明をうけた感じでは一般的には図-10に示した滞留分布に近いようなものとなっているようである。これは料金制度, 長期保管貨物に対する第二線上屋の設置, ターミナル・オペレーターによる一元的管理など港の管理運営のやり方の相違が大きく効いてきていると判断される。

我国の上屋について平均滞留分布が長くなり, 利用されている貨物保管のスペースの比率が高すぎる(これは上屋の機能からいえば不自然すぎる)など根本的な問題がある。これは第2部で詳しく論じる予定であるので, ここではその主たる原因として i) 上屋, 倉庫の絶対量の不足, ii) 岸壁の不足これと密接に関連している現行の無差別追込式バース指定 iii) 上屋の管理運営のやり方の3つを挙げておくに止める。

3. 上屋, 倉庫の確率過程モデル

3.1 定式化と解法

上屋, 倉庫の特性を明らかにする目的で極めて単純化したモデルを考える。このモデルの特徴のひとつは在庫量の平均値だけでなく, 変動の様子をみる尺度として在庫量の分散を扱う点であり, i) 平均滞留時間の長さが分散にどのように効くか, ii) 複数バースの上屋を共通に運営することによる分散の減少(このことは倉庫の特性としても重要である)などの特性を明らかにすることができる。

時間の単位を日としていどに考えると本船の実際の荷役は1日ないし3日程度となるが貨物が接岸と同時に荷役されて了うとして単純化する。また説明を簡略にするようにまづ荷役を揚荷と積荷に分けて扱い, 説明の図中ではすべて輸入貨物として扱っている。輸出貨物の場合は時

表-5 輸出雑貨の最終保管場所での滞留(神戸港)

滞留日数	頻度	頻度累計(%)	屯数	屯数累計(%)	滞留日数	頻度	頻度累計(%)	屯数	屯数累計
1	88	3.3	770.7	5.4	31	2	97.8	3.3	97.6
2	239	14.0	1503.6	15.8	32	3	97.9	7.9	97.7
3	477	34.4	2790.1	35.2	33	5	98.1	24.9	97.9
4	389	51.1	2322.4	51.3	34	1	98.2	4.0	97.9
5	249	61.3	1633.0	62.7	35	3	98.3	11.8	98.0
6	192	69.9	1095.1	70.3	36	1	98.3	8.7	98.0
7	106	74.5	561.9	74.0	37	3	98.5	5.2	98.1
8	97	78.6	456.6	77.4	38	1	98.5	7.8	98.1
9	82	82.1	358.0	79.9	39	1	98.5	0.4	98.1
10	63	84.8	442.5	83.0	40	1	98.6	0.9	98.1
11	50	87.0	356.1	85.4	41	2	98.7	38.4	98.4
12	56	89.4	258.0	87.2	42	2	98.8	23.3	98.6
13	27	90.5	149.7	88.3	43	5	99.0	33.0	98.8
14	23	91.5	167.7	89.4	44	1	99.0	4.1	98.8
15	16	92.2	174.6	90.6	46	2	99.1	7.2	98.9
16	17	92.9	67.7	91.1	49	1	99.1	30.6	99.1
17	20	93.8	154.8	92.2	51	1	99.2	1.9	99.1
18	17	94.5	135.4	93.1	52	2	99.3	6.3	99.1
19	8	94.9	66.1	93.6	58	2	99.4	18.5	99.3
20	9	95.2	123.6	94.4	61	1	99.4	25.5	99.5
21	11	95.7	31.6	94.7	66	1	99.4	0.3	99.5
22	10	96.1	75.7	95.2	67	3	99.6	36.2	99.7
23	10	96.6	74.2	95.7	69	1	99.6	0.9	99.7
24	6	96.8	63.5	96.1	71	1	99.7	12.4	99.8
25	5	97.0	109.3	96.9	75	1	99.7	19.5	99.9
26	2	97.1	14.1	97.0	78	1	99.7	0.1	99.9
27	2	97.2	20.3	97.1	96	1	99.8	0.5	99.9
28									
29	4	97.4	32.6	97.4	111	1	99.8	5.8	100.0
30	7	97.7	34.7	97.6	147	1	99.9	1.3	100.0
					186	1	99.9	1.5	100.0
					261	1	100.0	0.3	100.0
					479	1	100.0	0.5	100.0

間軸の向きを逆にして考えれば大体の予想はできるはずである。

まづ貨物の上屋滞留分布について図-11のようなモデルを考える。

本船到着の時刻(同時に上屋への貨物の搬入時刻)を基準にして貨物の上屋滞留分布を $\phi(t)$ と表す。したがって、もし荷役量が u_i であればその貨物の時刻 t_j における上屋内の残留量は $u_i \cdot \phi(t_j)$ となる。 u_i はすべて同一の確率分布をもつと仮定するがこの仮定は2.2で述

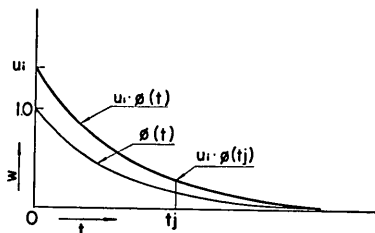


図-11 モデルの模式的表現(1)

べたように自然なものである。 $\Phi(t)$ の性質については 2.3 で論じたがこの段階では分布型を仮定せずに議論を進めてみる。

つぎに単一の場合でなく本船がつつぎと荷役をおこなう場合について検討する。本船の到着は 2.1 のように一応ポアソン分布にしたがう到着を考える。この仮定は後述するように必ずしも満足すべきではない点を含むが、解析的な扱い易さからまづこの仮定から出発する。図-12 はその模式的な表現である。

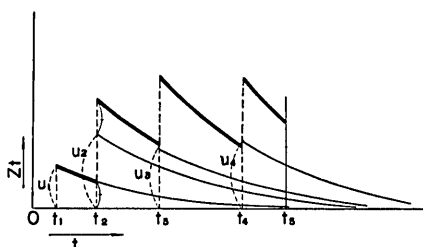


図-12 モデルの模式的表現(2)

任意の時刻 t における上屋在庫量 Z_i は図-12 から明らかなように次式で表される。

$$Z_i = \sum_{k < t} u_k \cdot \Phi(t - t_k) \dots\dots\dots (1)$$

いま、 $(0, t)$ という区間を

$$0 = x_0 < x_1 < x_2 < \dots < x_n = t$$

のように n 個の充分小さい区間に分割して

$$S_n = \sum_{i=1}^n \Phi(t - x_i) (X_{x_i} - X_{x_{i-1}}) \dots\dots\dots (2)$$

$$S_n' = \sum_{i=1}^n \Phi(t - x_{i-1}) (X_{x_i} - X_{x_{i-1}}) \dots\dots\dots (3)$$

を作る。ここに X_{x_i} は $(0, x_i)$ の間に起きた u_k の和で区間 (x_{i-1}, x_i) の中にどの t_k も入っていないければ(どの u_k も起きなければ) $X_{x_i} - X_{x_{i-1}} = 0$ 、もし 1 点だけ u_k が入っていれば $X_{x_i} - X_{x_{i-1}} = u_k$ である。

$\Phi(t)$ は仮定によってとうぜん非増加関数となるから (x_{i-1}, x_i) にただかたひとつだけ t_k がはいるとすると、

$$\Phi(t - x_{i-1}) \leq \Phi(t - t_k) \leq \Phi(t - x_i)$$

となって(4)式が成立する。

$$S_n' \leq Z_i \leq S_n \dots\dots\dots (4)$$

ここでおのおのについて平均値をとると

$$E(S_n) = \sum_{i=1}^n \Phi(t - x_i) E(X_{x_i} - X_{x_{i-1}}) \dots\dots\dots (5)$$

$$E(S_n') = \sum_{i=1}^n \Phi(t - x_{i-1}) E(X_{x_i} - X_{x_{i-1}}) \dots\dots\dots (6)$$

一方、 u_k の生起がポアソン分布にしたがうという仮定から $E(X_{x_i} - X_{x_{i-1}})$ は $E(u_k) = A$ として

$$E(X_{x_i} - X_{x_{i-1}}) = e^{-\frac{(x_i - x_{i-1})}{h}} \left(\frac{x_i - x_{i-1}}{h} \right) \cdot A = \frac{A}{h} (x_i - x_{i-1}) \dots\dots\dots (7)$$

となり $n \rightarrow \infty$ のときに $\Phi(t - x)$ が x について連続であれば式、(5)式、(6)とも次式に収束する。

$$\frac{A}{h} \int_0^t \Phi(t - x) dx \dots\dots\dots (8)$$

$t - x = v$ と変数変換して書き直せば

$$E(Z_i) = \frac{A}{h} \int_0^t \Phi(v) dv \dots\dots\dots (9)$$

となる。ここで上屋からの貨物の搬出が平均滞留日数 m の指数分布にしたがうという 2.3 の結果を用いて計算してみる。時刻 t における搬出量 $X(t)$ は搬入時点を 0 として、

$$X(t) = \frac{1}{m} e^{-\frac{t}{m}} \dots\dots\dots (10)$$

となりこの場合の $\Phi(v)$ を $\phi_1(v)$ と書けば

$$\begin{aligned} \phi_1(v) &= 1 - \int_0^v \frac{1}{m} e^{-\frac{t}{m}} dt = 1 - \left[-e^{-\frac{t}{m}} \right]_0^v \\ &= e^{-\frac{v}{m}} \dots\dots\dots (11) \end{aligned}$$

したがって

$$\begin{aligned} E(Z_i) &= \frac{A}{h} \int_0^t \phi(v) dv = \frac{A}{h} \int_0^t e^{-\frac{v}{m}} dv \\ &= \frac{A}{h} (-m) \left[e^{-\frac{v}{m}} \right]_0^t = \frac{Am}{h} (1 - e^{-\frac{t}{m}}) \dots\dots\dots (12) \end{aligned}$$

(12)式は t/m が充分大きければ $A \cdot m/h$ に近づいてゆく。

これは(9)式から当然予想されるところであり、平均滞留時間を T とすると

$$\int_0^\infty \phi(v) dv = T$$

であるから t が充分大きいときには(9)式は $\phi(v)$ の型に

無関係に $(A \cdot T)/h$ に近づくことになる。したがって(9)式を文章化して表現すればつづのようになろう。「上屋の平均在庫量は搬入の平均ロットサイズに平均在庫日数(滞留日数)を乗じて、貨物の平均到着間隔で割った値となる。」

この表現は港湾構造物設計基準の方法と全く同じである。上屋の年間回転率を R 、年間所要貨物扱量を N とすればつづの式が成立する。

$$\frac{A \cdot T}{h} = \frac{A}{h} \left(\frac{365}{R} \right) = \frac{N}{R} \dots\dots\dots(13)$$

設計基準の方法を平均在庫量による設計法と呼んだのはこのような理由による。このように分析してみると設計基準の方法の矛盾点は非常にはっきりしてくる。すなわち、本来バッファとして変動を吸収する機能を持たすべき施設の設計を変動を全然考慮せずに平均値で処理してうという根本的な欠陥が含まれていることである。したがって在庫量の変動を検討することが大切になる。ここではその分散を取上げ、その基準として $E(Z_i^2)$ を求めてみる。 $E(Z_i)$ を求めたのと同様な考えで(4)式から

$$S_n^2 \leq Z_i^2 \leq S_m^2 \dots\dots\dots(14)$$

平均値を考えると

$$\begin{aligned} E(S_n^2) &= E\left[\sum_{i=1}^n \Phi(t-x_i)(X_{x_i} - X_{x_{i-1}}) \right]^2 \\ &= E\left[\sum_{i=1}^n \Phi^2(t-x_i)(X_{x_i} - X_{x_{i-1}})^2 \right. \\ &\quad \left. + \sum_{i \neq k} \Phi(t-x_i)\Phi(t-x_k)(X_{x_i} - X_{x_{i-1}})(X_{x_k} - X_{x_{k-1}}) \right] \dots\dots\dots(15) \end{aligned}$$

(15)式中の $\Phi^2(t-x_i)$ 、 $\Phi(t-x_i)\Phi(t-x_k)$ はランダム性がない関数であるから

$$\begin{aligned} E(S_n^2) &= \sum_{i=1}^n \Phi^2(t-x_i)E(X_{x_i} - X_{x_{i-1}})^2 \\ &\quad + \sum_{i \neq k} \Phi(t-x_i)\Phi(t-x_k) \\ &\quad E[(X_{x_i} - X_{x_{i-1}})(X_{x_k} - X_{x_{k-1}})] \dots\dots\dots(16) \end{aligned}$$

一般に

$$\begin{aligned} E(X_{x_i} - X_{x_{i-1}})^2 &= V(X_{x_i} - X_{x_{i-1}}) \\ &\quad + [E(X_{x_i} - X_{x_{i-1}})]^2 \end{aligned}$$

(7)式を導いたときと同様に考えると、 (x_{i-1}, x_i) 間で u_k はたかだか0か1しか起きないから

$$\begin{aligned} V(X_{x_i} - X_{x_{i-1}}) &= e^{-\frac{(x_i - x_{i-1})}{h}} \cdot \left(\frac{x_i - x_{i-1}}{h} \right) \cdot E \\ &\quad [u_k - E(X_{x_i} - X_{x_{i-1}})]^2 + e^{-\frac{x_i - x_{i-1}}{h}} \\ &\quad \cdot [0 - E(X_{x_i} - X_{x_{i-1}})]^2 \dots\dots\dots(17) \end{aligned}$$

(7)式によって $E(X_{x_i} - X_{x_{i-1}}) = \frac{A}{h}(x_i - x_{i-1})$ だから、これを(17)式に代入し、 $E(u_k^2) = B$ とおいて区間 (x_i, x_{i-1}) が充分少であることを用いて整理すれば(18)式をえる。

$$V(X_{x_i} - X_{x_{i-1}}) = \frac{B}{h}(x_i - x_{i-1}) \dots\dots\dots(18)$$

したがって、

$$\begin{aligned} E(X_{x_i} - X_{x_{i-1}})^2 &= \frac{B}{h}(x_i - x_{i-1}) + \left(\frac{A}{h} \right)^2 \\ &\quad (x_i - x_{i-1})^2 \dots\dots\dots(19) \end{aligned}$$

またポアソン分布にしたがう生起ということから $(X_{x_i} - X_{x_{i-1}})$ と $(X_{x_k} - X_{x_{k-1}})$ は独立となり

$$\begin{aligned} E\{ (X_{x_i} - X_{x_{i-1}})(X_{x_k} - X_{x_{k-1}}) \} \\ &= E(X_{x_i} - X_{x_{i-1}})E(X_{x_k} - X_{x_{k-1}}) \\ &= \left(\frac{A}{h} \right)^2 (x_i - x_{i-1})(x_k - x_{k-1}) \dots\dots\dots(20) \end{aligned}$$

(19)式、(20)式を(16)式に代入して整理すれば(21)式をえる。

$$\begin{aligned} E(S_n^2) &= \frac{B}{h} \sum_{i=1}^n \Phi^2(t-x_i)(x_i - x_{i-1}) \\ &\quad + \left(\frac{A}{h} \right)^2 \sum_{i=1}^n \Phi^2(t-x_i)(x_i - x_{i-1})^2 \\ &\quad + \left(\frac{A}{h} \right)^2 \sum_{i \neq k} \Phi(t-x_i)(x_i - x_{i-1})\Phi(t-x_k)(x_k - x_{k-1}) \\ &= \frac{B}{h} \sum_{i=1}^n \Phi^2(t-x_i)(x_i - x_{i-1}) + \left(\frac{A}{h} \right)^2 \\ &\quad \left[\sum_{i=1}^n \Phi(t-x_i)(x_i - x_{i-1}) \right]^2 \dots\dots\dots(20) \end{aligned}$$

ここで $n \rightarrow \infty$ とし $t-x_i = v$ と変数変換すると

$$E(S_n^2) \rightarrow \frac{B}{h} \int_0^t \Phi^2(v)dv + \left(\frac{A}{h} \right)^2 \left(\int_0^t \Phi(v)dv \right)^2 \dots\dots\dots(21)$$

$E(S_n^2)$ も同様にして(21)式の右辺に一致するから、結局 $E(Z_i^2)$ も(21)式の右辺と等しくなる。したがって Z_i の分散 $V(Z_i)$ は(22)式で表されることになる。

$$V(Z_i) = E(Z_i^2) - [E(Z_i)]^2 = \frac{B}{h} \int_0^t \Phi^2(v)dv \dots\dots\dots(22)$$

$V(Z_i)$ の値については $E(Z_i)$ と異なり u_k の分布, $\phi(v)$ の分布が効いてくる。これをつぎの節で検討する。

3.2 モデルの特性-I (平均滞留日数と平均在庫量)

前節で述べたように上屋の平均在庫量については $\phi(v)$ の型に関係なく次式が成立することが判った。

$$E(Z_i) = \frac{A}{h} \int_0^t \phi(v) dv = \frac{A \cdot m}{h} \dots\dots\dots(23)$$

しかし、在庫量の分散については(23)式が成立することは判っても u_k と $\phi(v)$ の分布が決らないと確定しない。そこで $E(Z_i)$ が等しくなる場合、あるいは A の値が等しくなるような場合について $\phi(v)$ の効き方を単純な分布型について検討してみる。

まづ(平均)滞留分布が指数分布にしたがうときの $V(Z_i)$ を求めてみる。平均滞留日数を m として(1)式によって

$$\phi(v) = e^{-\frac{v}{m}}$$

だから

$$V(Z_i) = \frac{B}{h} \int_0^t \phi^2(v) dv = \frac{B}{h} \int_0^t e^{-\frac{2v}{m}} dv = \frac{B \cdot m}{2h} \left(1 - e^{-\frac{2t}{m}}\right) \dots\dots(24)$$

$t \rightarrow \infty$ のとき

$$V(Z_i) \rightarrow \frac{B \cdot m}{2h}$$

u_k の分布が指数分布にしたがうとすると $B=A^2$ となる。何となれば

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}$$

ならば

$$E(X) = \frac{1}{\lambda}, \quad V(X) = \left(\frac{1}{\lambda}\right)^2$$

である。したがってこの場合(2章の説明のように、雑貨埠頭についてはそのまま適用できる)には結局

$$E(Z_i) = \frac{A \cdot m}{h} \dots\dots\dots(25)$$

$$V(Z_i) = \frac{A^2 \cdot m}{2h} \dots\dots\dots(26)$$

となる。

ここでまづ平均滞留日数 m の変化によってどのような特性が表れるかを検討してみる。容量の設定は一般に平均値 m と標準偏差 σ を尺度にして $m+2\sigma$ とか $m+3\sigma$ とか型でおこなわれる。 $E(Z_i)$ と $a\sqrt{V(Z_i)}$, $a=1, 2, 3$ をやや現実的な条件の下で試算してみるとつぎのような

値をえる。

計算の仮定

- i) 年間一棟当り 144,000 トン
 - ii) 年間稼働日数 360 日
 - iii) 年間荷役隻数 90 隻
 - iv) 本船の到着はポアソン分布
 - v) 一船当りの貨物量(上屋利用)の分布は指数分布
- この条件の下では

$$A = \frac{144,000 \text{ トン}}{90 \text{ 隻}} = 1,600 \text{ トン/隻}$$

$$h = \frac{360 \text{ 日}}{90 \text{ 隻}} = 4 \text{ 日/隻}$$

$$\frac{A}{h} = 400 \text{ トン/日}$$

であるから

$$E(Z_i) = \frac{A}{h} \cdot m = 400 \cdot m \text{ トン} \dots\dots\dots(25')$$

$$\sqrt{V(Z_i)} = \frac{A}{h} \sqrt{\frac{h \cdot m}{2}} = 566 \cdot \sqrt{m} \text{ トン} \dots\dots(26')$$

(25') 式, (26') 式から m の変化による特性の変化を見易くグラフ化したものが図-13 である。

$E(Z_i)$ が m に比例するのに対し $a\sqrt{V(Z_i)}$ は \sqrt{m} に比例するから岸壁と上屋の一对一の組についてだけ考えると平均滞留日数が長くなると平均値に対する変動の巾は狭くなっていく。たとえば $a=2$ とすると $m=8$ で両者が等しくなり、図-9 の $m=14$, 図-10 の $m=6$ などについては両者の比はそれぞれ 0.66, 1.14 となる。これがもし年間12回転程度の倉庫的なものであったとすると 0.50 程度に下ってくる。

$E(Z_i) + 2\sqrt{V(Z_i)}$ で容量を設計するとすれば $m=6$ のとき 5,200 トン, $m=14$ のとき 9,900 トンとなり m に比例させて増加させた場合に較べて約23%低い値となる。

容量に対する在庫量の平均値は図-13 からも明らかであるが、さらに判り易く表示する図-14 とのようになる。

平均滞留日数が一週間程度の上屋では $E(Z_i) + 2\sqrt{V(Z_i)}$ で設計すると在庫量は平均で50%を下廻る。これが倉庫的なものになるにつれて増加し1ヶ月程度の平均滞留日数となると、同じ条件でも70%近くまで増加する。複数棟の上屋を共通して使用する(横持ちを許す方式)と利用率は大巾に増加する。この点については次節で触れることにする。

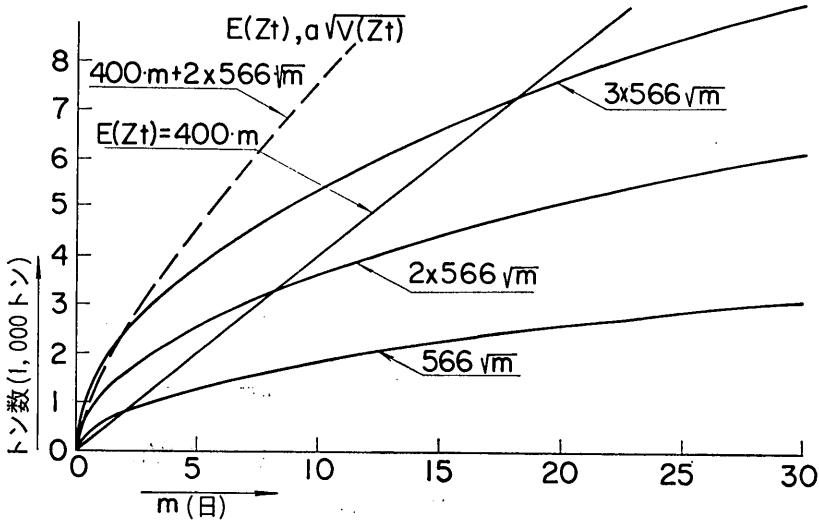


図-13 平均滞留時間と特性

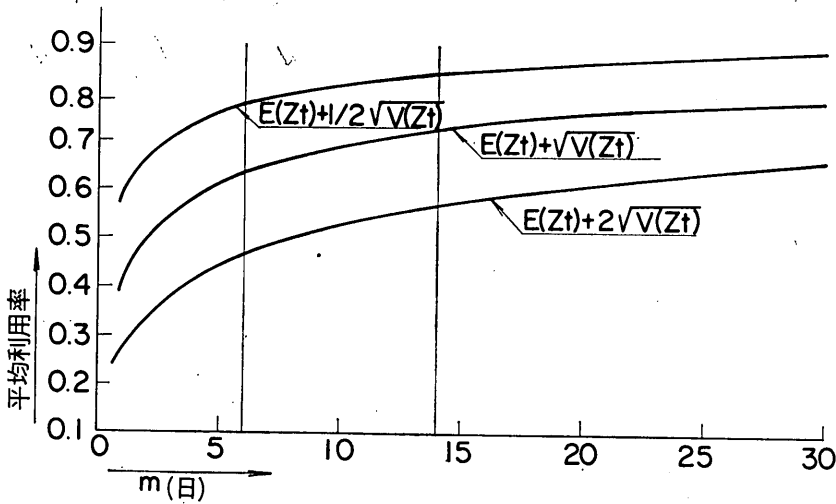


図-14 平均滞留時間と平均利用率

3.3 モデルの特性-II (複数バース共通上屋)

前節と同じ条件を仮定して出発するが、一対一(岸壁と上屋について)に組合せて運営するという点を N バースについてそれぞれの上屋を共通的に使用し、可成りの距離の横持ちも許すものとした場合について考察する。

まず最も単純な例を考えると横持ちを全く自由に許すならば N バースについてひとつの共通上屋を使用するというモデルに帰着する。このときの在庫量の期待値と標準偏差は、到着分布がポアソン分布に従うという仮定から N バース全体の平均到着間隔は、それぞれの平均到着間隔を h とすると h/N となることを用いて、つぎの

ように表される。

$$E(Z_t) = \frac{N \cdot A \cdot m}{h} \dots\dots\dots(27)$$

$$\sqrt{V(Z_t)} = \frac{N \cdot A}{h} \sqrt{\frac{h \cdot m}{2N}} \dots\dots\dots(28)$$

ここから明らかなのは、(27)式、(28)式との対比で平均在庫量は共通的に扱っても N に比例して増加するだけでメリットは生じないが標準偏差は $\sqrt{1/N}$ に比例して減少するから前節で述べたような設計法をとれば設計容量が節約できる結果が予想できる。この変化は図-13、図-14をつぎのように読みかえることで容易に理解できよう。

図式、図式をそれぞれ N で割って1バース当りで考えてみると図式は図式と全く同じものとなり、 N バース共通利用のときの各1バースについては図-13の $E(Z_i)$ の直線で代表できる。

図式を N で割ったものは図式に $\sqrt{1/N}$ を掛けたものとなるから、たとえば4バース共通のケースでは $2 \times 566\sqrt{m}$ のカーブのかわりに $\sqrt{1/4}=1/2$ を掛けた $566\sqrt{m}$ をみてやればよいことになる。このことは同一の危険率(保管需要が上屋容量を上廻る)で設計するときに、 N バース共通な運営を許せば横持ち費用の増加と引替えに $\sqrt{1/N} \cdot \sqrt{V(Z_i)}$ だけ各上屋について設計容量を引下げその結果として図-14で示すような特性にしたがう上屋利用率の増加を期待することができることを示している。蛇足かもしれないが図-14において $E(Z_i) + 2\sqrt{V(Z_i)}$ として1バース1上屋として設計したものと同一条件下で4バース共通利用として設計する場合は、 $E(Z_i) + \sqrt{V(Z_i)}$ 、16バース共通利用として設計する場合は $E(Z_i) + 1/2\sqrt{V(Z_i)}$ となる。

以上のように複数バース共通上屋の方式をとればとくに平均滞留時間が短い場合については、必要な上屋面積を低く押えて設計することが可能となる。その反面横持ち費用の増加とバースと上屋の一体的な運営の放棄という欠点さがけられないものとなる。

この両極端の中間を狙った上屋の設計法についての検討を以下に試してみる。簡単にいってみれば、それぞれのバースと一対になって運営される上屋の容量を幾分低く設定しておき、容量を上廻る保管需要については、バースと全く切離して、或る範囲内の全バースから発生するものすべてを一ヶ所の共通な上屋で処理しようとするものである。

図-15はこのようなモデルを考えたときの各バースごとの上屋と共通上屋に対する保管需要の発生の様子を模式的に表現したものである。横座標は $E(Z_i)=0$ となるように変換してあるがカーブは Z_i 、縦座標は (Z_i) の確率密度である。明らかに S_1 と表した部分はバース別の上屋で処理され、 S_2 の部分が各バースの上屋から溢れた共通上屋に運ばれてくる貨物量を表している。この部分の Z_i の平均値を $E(Z_i')$ とすると、ノーマライズされたものとして

$$E(Z_i') = \int_{-\infty}^c 0 \cdot f(x) dx + \int_c^{+\infty} (x-c) f(x) dx \quad \dots\dots(29)$$

ここに c はバースと1対1に対応させて運営する上屋の

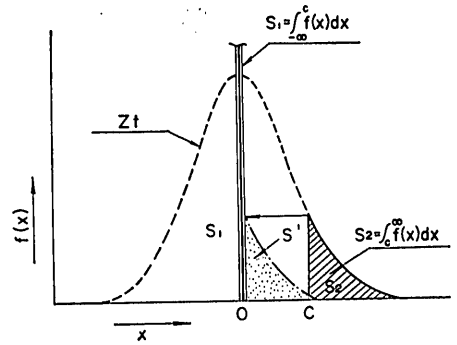


図-15 共通上屋への需要発生モデル

一棟当りの容量である。同様にしてその分散を $V(Z_i')$ とすると

$$V(Z_i') = \int_{-\infty}^c E(Z_i')^2 f(x) dx + \int_c^{+\infty} (x-E(Z_i'))^2 f(x) dx \quad \dots\dots(30)$$

$f(x)$ の型が判り c が設定されれば $E(Z_i')$ と $V(Z_i')$ は計算できる。巻末の補足に $x \geq c$ が正規近似できるとした場合の計算例を示しておいた。

このような保管需要を発生する N 棟の上屋を対象に共用の上屋を設計することを考えると N が或る程度以上になれば中心極限定理によって N 棟から発生する保管需要の各時点における和を W_i とすると図式が成立する。

$$\frac{W_i - N \cdot E(Z_i')}{\sqrt{N} \cdot \sqrt{V(Z_i')}} \rightarrow N(0, 1) \quad \dots\dots(31)$$

上屋全体として $E(Z_i) + 2\sqrt{V(Z_i)}$ に相当するようにするためには次式のような容量を持たせておけばよい。

$$N \cdot E(Z_i') + 2\sqrt{N} \cdot \sqrt{V(Z_i')} \quad \dots\dots(32)$$

図式から明らかなように、この型式の共用上屋は埠頭群の上屋全体としてのバッファの機能を持たせるものであるから上屋システムの収容力の限界を上げる機能を持たせるのに適したものである。たとえば、それぞれの上屋で $E(Z_i) + 3\sqrt{V(Z_i)}$ 程度の機能を持たせるためには $E(Z_i) + 2\sqrt{V(Z_i)}$ で設計するとき比べて設計容量の増加は $N \cdot \sqrt{V(Z_i)}$ であるが共用上屋を組合せて考えれば増加分は $\sqrt{N} \cdot \sqrt{V(Z_i')}$ であるから N が大きい港の場合は可成りの効果を生むことになる。

前節で扱った計算例について $N=16$ と $N=25$ で計算してみると表-6のような結果をえる。

*11) 補足-I 参照

表-6 共用上屋システムの効果試算例

(単位 1,000トン)

棟数	(I)1対1 のシステム		(II)共用シ ステム		(I)-(II)	(I)-(II) /(I)
	2・σ	3・σ	2・σ	3・σ		
N=16	2・σ	156.8	148.7	154.8	8.1	5.2%
	3・σ	190.4	154.8	35.6	18.7	
N=15	2・σ	245.0	228.6	16.4	6.5	
	3・σ	297.5	236.2	61.3	20.6	

この結果は港全体で 3σ 程度の保管についてのシステムの安全性を確保しようとする場合は平均滞留日数が14日というような比較的長いケースでも共用上屋方式が採り上げられて良いものであることを示していると判断できる。平均滞留日数が短いものについては、この方式のメリットは 3σ よりも低い安全性を狙う場合でも可成りのものになるであろうことは図-13 から容易に予想できるところである。

3.4 モデルの特性-III (ブロッキングの影響)

実際の上屋の運営では、ひとつのロットとして扱はれる貨物の単位があり、搬出がある程度まで進まないとき空いたスペースも利用可能な状態にはならない。すなわち一種のブロッキングが生じると考えてよい。単純化して模式化したものを図-16 に示す。

前節まで論じてきた $\Phi(t)$ の代りにつぎのような $\Phi(t)$ を考えることに相当する。

$$\Phi(t) = \begin{cases} 1 & : 0 < t \leq a \\ e^{-\frac{t}{m}} & : a < t \end{cases} \dots\dots\dots(33)$$

このときは $a < t$ である範囲では

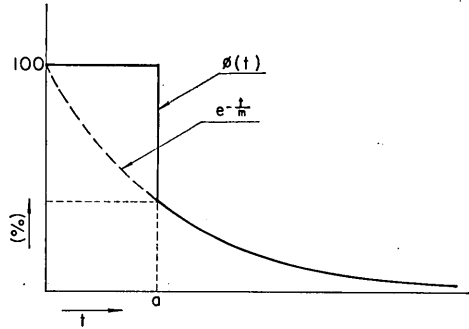


図-16 ブロッキングのある $\Phi(t)$ のモデル

$$\int_0^t \Phi(t) dt = \int_0^a 1 \cdot dt + \int_a^t e^{-\frac{t}{m}} dt$$

$$= a + me^{-\frac{a}{m}} - me^{-\frac{t}{m}} \dots\dots\dots(34)$$

となり、 $t \rightarrow \infty$ とすると

$$\int_0^t \Phi(t) dt \rightarrow (a + me^{-\frac{a}{m}}) \dots\dots\dots(35)$$

したがって

$$Ex.(Z_i) = \frac{A}{h} \int_0^t \Phi(t) dt = \frac{A}{h} (a + me^{-\frac{a}{m}}) \dots\dots\dots(36)$$

36式を 3.1 節の(12)式と比較すると明らかなように $Ex.(Z_i)$ に対するブロッキングの影響は次式で表される。

$$\alpha = (a + me^{-\frac{a}{m}}) / m \dots\dots\dots(37)$$

a に対応する $e^{-\frac{a}{m}}$ の値が対象とするロットの何パーセントになるかを指標にして α の値を計算してみると図-17 のようになる。

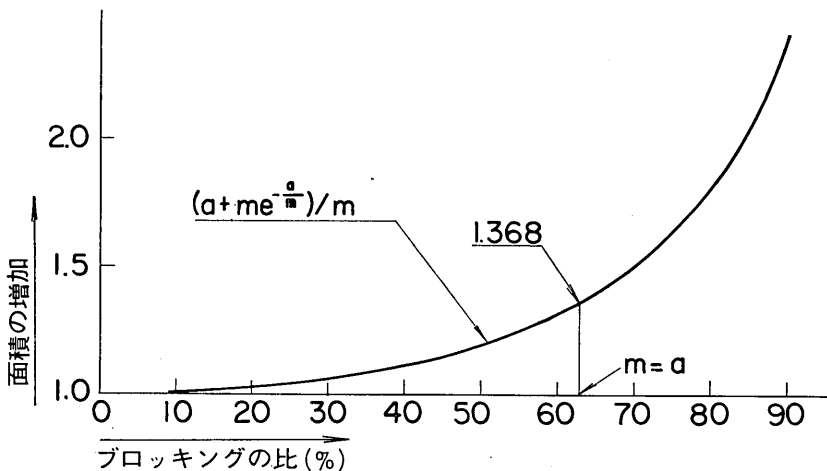


図-17 ブロッキングと $Ex(Z_i)$ の増加

実際の上屋の運営では α の値といったものではなく、クリアされたスペースの絶対量を目安にするであろうと予想できるから様子は変わってくると思うが特性としては十分に表現できていると考える。また、前述のように分散、(変動)が問題になる理であるから当然のこととして閑散時にはブロッキングが大きく、繁忙時には小さくなるように運営される。したがって実際には設計時に考慮すべき値としては、ここで述べたものより低くなる傾向を示すであろう。

4. 結 論

雑貨埠頭の上屋、倉庫のシステム設計の基本となる容量の算定についてこれを確率過程 (Stochastic Process) として捉えるというアプローチを試みた。

上屋の容量決定に効いてくる主要な要素はつぎのつ3である。

- i) 貨物の上屋への到着の起りかた
- ii) 本船との間での一回の荷役量
- iii) 貨物の上屋における滞留分布

このうち i) は岸壁への本船の到着をもって代用することが可能であり、一般にポアソン到着として扱ってよい。ii) および iii) については今回の調査の範囲ではいずれもほぼ指数分布的に変化することが判った。

その結果、構成されるモデルは数式としての表現では一般に雑音過程 (Shot Noise Process) として扱われているものと一致することが確かめられた。

このモデルを解析することによって得られた主要な結果はつぎのようなものである。

i) 現行の港湾構造物設計基準に示されている設計法は本モデルでの平均在庫量による場合に一致し、変動の吸収を主目的とする埠頭と上屋の設計法として難点を含むものであることが明らかとなった。(そのまま計算すると過少な値を与える。)

ii) 貨物の上屋内における平均滞留時間を短くすることは利用効率を上げることにつながるのは当然であるが、在庫量の変動が相対的に大きくなるから直線的に利用効率が上るとい理ではない。

iii) パースと上屋を一对一に対応させて横持ち最少の設計をおこなうことは、上屋の回転率を上昇させてゆく場合には、上屋の利用率を激減させることとなって必ずしも好ましい設計法とはいえない。

iv) 一对一の運営をベースとしながら一定量以上の保管需要に対して集中的にこれを処理するバッファとしての上屋を設けることが、複数パースを持つ埠頭に

いてはシステムとしての安定性を著しく増加させることになり有効と考えられる。

あ と が き

この報告書はシステム研究室がおこなっている埠頭のシステム設計の一部として雑貨埠頭の上屋、倉庫について実施した研究を第一段階として取まとめたものである。

狙いは、上屋、倉庫の基本的な機能を解明し、より良い代替案を作成するための指針をうる点にあり、したがってかなり粗い捉え方をおこなった。我国の上屋の実態はこれと可成り異なる管理運営の下にあることも了解したうえでの作業であり、このような基礎づけのうえに始めて改善案が提示できるものだと考えている。このような問題については(その2)で扱うべく準備中である。おわりに、資料の提供に御協力頂いた横浜市港湾局および神戸市港湾局の担当者の方々と、論文作成の過程で討論に加わってもらったシステム研究室のメンバー各位に感謝の意を表する次第です。(1972年9月30日受付)

参 考 文 献

- 1) 第三港湾建設局：摩耶埠頭計画および設計概要，1958
- 2) 奥山育英，中井典倫子，久保重美：コンテナ埠頭の規模および荷役方式に関する考察，港湾技術研究所報告10巻3号，1971
- 3) 運輸省港湾局編：港湾構造物設計基準，日本港湾協会，1970
- 4) 工藤和男，高野聖三，奥山育英：埠頭の貨物取扱能力についての研究，港研報告4巻8号，1965
- 5) 長尾義三：港湾技術の発展に関する方法論的研究，第三港湾建設局，1959
- 6) Agerschou H. and Korsgaard J.: Systems Analysis for Port Planning, the Dock and Harbour Authority, March 1969
- 7) 山下ふ頭事務所：山下ふ頭概況(昭和45年)，横浜市港湾局，1971
- 8) 新港ふ頭事務所：新港ふ頭概況(昭和45年)，横浜市港湾局，1971
- 9) Fugl-Mayer H.: The Modern Port, Danish Technical Press, 1957
- 10) 工藤和男，中村松子ほか：神戸港輸出雑貨の港内流動，港湾技研資料 No. 95, 1969
- 11) 佐藤肇：雑貨輸出入埠頭計画論，第三港湾建設局，

1965

12) Parzen E.: Stochastic Processes, Holden-Day, 1967

主要記号表

- A : u_k の平均値, $E(u_k)$
- a : ブロッキングの比率
- B : u_k^2 の平均値, $E(u_k^2)$
- c : 個々の上屋での設計容量
- $E(Z_i)$: 上屋(倉庫)の在庫量の平均値
- $f(x)$: 一船ごとの荷役量の分布
- $g(t)$: 貨物の上屋(倉庫)への搬入分布
- $G(t)$: $g(t)$ の累積分布
- $G(t_j)$: t_j までの $g(t)$ の累積分布
- m : 上屋(倉庫)での貨物の平均滞留日数
- N : 1グループとして運営する上屋の棟数
- N : 年間所要貨物取扱量
- R : 年間回転率
- T : 平均滞留時間, mに同じ
- u_i : i 船の荷役量
- $V(Z_i)$: 上屋(倉庫)の在庫量の分散の期待値
- x_i : u_i に同じ
- X_{x_i} : (0, x_i) 間に生じた u_k の和
- Z_i : 時刻 t における上屋(倉庫)の在庫量
- $\phi(t)$: 貨物の上屋(倉庫)での滞留分布
- λ : 一バス当りの一日平均到着隻数

$$E(Z_i') = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \approx 0.4$$

分散を $V(Z_i')$ とすると,

$$V(Z_i') = \int_c^\infty (x-c-0.4)^2 \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}x^2} dx + \int_{-\infty}^c (-0.4)^2 \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}x^2} dx \dots (3)$$

$c+0.4=c'$ とおくと

$$V(Z_i') = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_c^\infty x^2 e^{-\frac{1}{2}x^2} dx + \frac{c'^2}{\sqrt{2\pi}} \int_c^\infty e^{-\frac{1}{2}x^2} dx - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_c^\infty 2xc'e^{-\frac{1}{2}x^2} dx + \frac{0.16}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^c e^{-\frac{1}{2}x^2} dx \dots (3')$$

(32') 式の右辺の第2項と第4項は c の値が決まれば正規分布表から求めることができる。

右辺の第3項は $x^2=y$ とおいて

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_c^\infty 2xc'e^{-\frac{1}{2}x^2} dx = \frac{-c'}{\sqrt{2\pi}} \int_{\sqrt{c}}^\infty e^{-\frac{1}{2}y} dy = \frac{c'}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\sqrt{c}}$$

右辺の第1項は

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_c^\infty x^2 e^{-\frac{1}{2}x^2} dx = \frac{-1}{\sqrt{2\pi}} \left[x \cdot e^{-\frac{1}{2}x^2} \right]_c^\infty + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_c^\infty e^{-\frac{1}{2}x^2} dx \dots (4)$$

(33)式の右辺の第2項も正規分布表から求めることができるから c の値が定れば(32)式は計算できることになる。

たとえば $c=\sigma$ とおくと正規化されている $N(0, 1)$ で考えると

$$V(Z_i') = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}} + 0.1587 + 1.4^2 \times 0.1587 - \frac{1.4}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}} + 0.16 \times 0.8413 \approx 0.507 \approx 0.51$$

このケースで考えるとたとえば山下の例では各一棟を $E(Z_i) + 2\sqrt{V(Z_i)}$ の代りに $E(Z_i) + \sqrt{V(Z_i)}$ で設計したときに発生する容量を超過する保管需要は $E(Z_i') = 840$ トン, $\sqrt{V(Z_i')} \approx 1,510$ トンである。

補足-I

3.3 の複数バス共通上屋方式のうち5バスと1対1の運営をおこなう上屋を設け、そこから溢れる保管需要を可成りまとまった数のバスに共通な上屋で処理する方式を説明した。以下では(2)式の $f(x)$ が $x \geq c$ で正規近似がおこなえるようなケースについて一棟ごとの超過保管需要の平均値 $E(Z_i')$ と分散 $V(Z_i')$ を計算する場合のやや詳しいトレースをおこなっておく。

図-15 のようなモデルを考えるとバスごとに運営される上屋の容量を c として

$$E(Z_i') = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_c^\infty (x-c) e^{-\frac{1}{2}x^2} dx \dots (1)$$

$(x-c)^2=y$ とおいて書きなおすと

$$E(Z_i') = \frac{1}{2\sqrt{2\pi}} \int_0^\infty e^{-\frac{1}{2}y} dy \dots (2)$$