

文 献 調 査 委 員 会

交通学入門 4. 交通体系の特性と運営  
*Traffic Engineering and Control*/黒川 洸  
 降伏領域を越える荷重—たわみヒステレシス  
 曲線の動的形状と静的形状との比較  
*Proc. of A.S.C.E., EM*/渡辺 啓行  
 フロリダにおける漂砂パイパス施設  
*Proc. of A.S.C.E., WW*/鹿島 遼一  
 空港舗装の評価法  
*Proc. of A.S.C.E., AT*/高見 之孝  
 港における船混みの予測  
*Dock & Harbour Authority*/大隅 正登

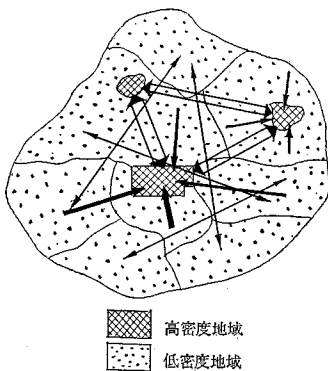
交通学入門 4. 交通体系の特性と運営

“Introduction to Traffic Science 4. Transport System Characteristics and Performance”  
 Blunden, W.R.  
 Traffic Engineering and Control  
 Vol. 9, No. 2, pp. 100~104, June (1967)

現在の交通工学の主眼は道路交通体系の特性と運営にあるが、都市あるいは国の道路体系の計画はその地域にサービスする全交通体系を総合したものでなければならない。したがって、各交通機関の特性を知らなければならない。そのためには各交通機関全体としての運営を相対的に比較するような体系の尺度または指標を見つけることが重要なことになる。

交通体系の運営の尺度となる重要な特性としては、路線係数、所要時間と速度、費用、容量、ターミナルおよび乗換え上の特性等があげられる。主要交通手段としては鉄道、道路、海運、航空および徒歩がある。ここで徒歩を考えるのは、すべてのトリップが最終的には徒歩の現象をふくむからである。

図-1 土地利用モデルとその間の交通



各交通機関の特性と土地利用との間の簡単なモデルを図-1 に示す。土地利用は、都市であれ国全体であれ密度については低密度と高密度の2つのタイプに分けられる。この土地利用パターンでは3種類の交通を発生させる。

- 1) 低密度ゾーン間の交通
- 2) 高密度ゾーン間の交通
- 3) 高密度と低密度ゾーン間の交通

1) の交通には自動車に適し、2) の交通には大量輸送に適しているが、3) の交通には両機関とも一長一短がある。そのため交通機関相互の乗換への施設が必要となり、この役割が総合的交通体系においては重要となる。

**a) 路線係数** 交通体系全体を表わす指標として路線係数は重要なものである。路線係数は数種の方法によって定義されている。たとえば距離であらわすと

$$R = \frac{\text{OD 間の実距離}}{\text{OD 間の直線距離}} \dots\dots\dots (1)$$

この他に時間、費用による方法もある。

Buntor と Flinger は、街路網パターンの幾何学的および運用上の効率を表わすために式(1)を利用した研究を発表している。それによると、図-2 に示す格子パターンと放射環状パターンについて、平均路線係数を  $R$  とすると正方形格子パターンについては表-1 のように、放射環状パターンでは、路線係数  $R$  が次式で表わされる。

$$R = 1 + \theta \quad (m+1)\phi < \theta < m\phi$$

図-2 格子および放射環状パターンの路線係数

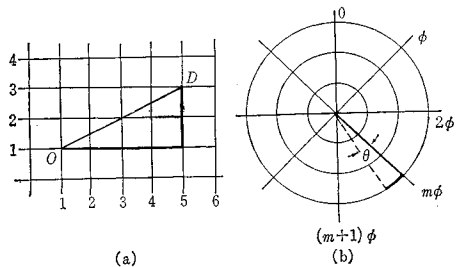


表-1 正方形格子パターンの平均路線係数

Grid size	2×3	3×3	4×4	5×5	6×6	7×7	∞
$\bar{R}$	1.189	1.207	1.215	1.231	1.242	1.250	1.297

**b) 所要時間と速度** この2つについての重要性については多くのことがいわれているが、ここでは、これらを各交通機関の運営を示す指標として適用することを考えている。その意味では平均走行速度、サービス頻度、サービスを受けるために待つ時間および交通機関乗換のための遅れ等の特性が主要なものとなる。

Smeed は、ロンドンのバスの走行時間のデータより、

バスとそのまわりの交通流との走行時間についてつぎのような関係式を見出した。

バスの時間 ( $t_B$ ) = (乗用車の走行時間 + 1.5) 分/マイル、ここで、イギリスの仮想的ニュータウンのバス体系を考えてゾーン間所要時間を決める (図-3)。

図-3 ニュータウンのバス路線

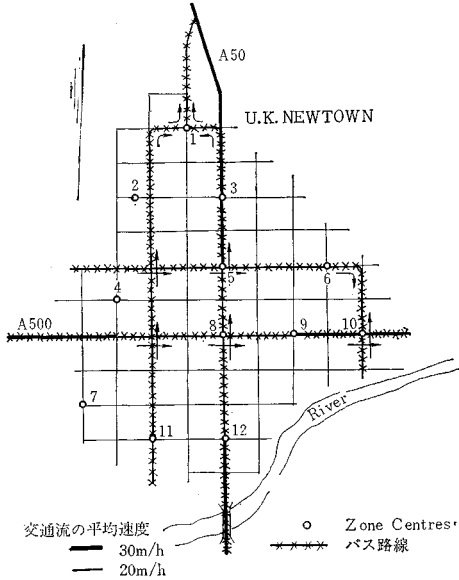


表-2 直接支出される平均費用 (オーストラリア)

交通機関	料金 (1 cent Aust. = 0.96 d Sterling)
通行物 (都市の)	
郊外鉄道	2-3 cents/passenger mile
バス	3 " " "
自家用車 (走行時料金 1.5 persons/car)	3 " " "
タクシー	15 " " "
通行物 (長距離)	
鉄道	2-3 " " "
バス	2 " " "
航空	5 " " "
自動車	3 " " "
貨物輸送 (一般の輸送)	
陸上輸送-長距離	5-6 cents/ton mile
ターミナルの配分	30-50 " " "
鉄道	4-5 " " "
航空	40-60 " " "
海上	2-3 " " "

このバスのゾーン間所要時間と乗用車のゾーン間所要時間を比較することにより、公共輸送機関に不利なゾーン等が明らかとなり、計画上非常に有効なものとなる。

c) 費用 交通関係の費用の研究は非常に複雑で困難な仕事である。たとえば、自動車の各運転者が自分の行なっているトリップについて駐車費用や、彼自身

または乗客の時間価値をふくめた費用を考えているか否かは誰もわからない。そしてこの費用と投資の問題は大きく国の政策にも関連してくることである。しかし、現在までのところ交通工学者からはほとんど注意を払われていない。

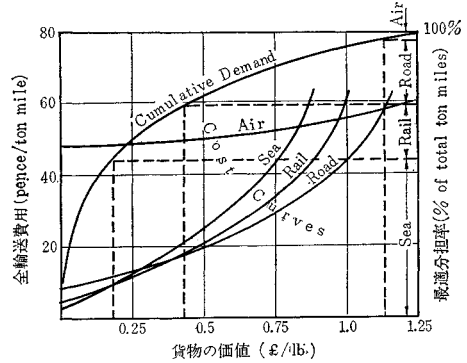
オーストラリアにおける実測値からは Pelevsky によって表-3 に示す結果が得られている。一般に交通費用に関しては次式より考えを出発しなければならない。

$$D = T + S + P + I$$

D: 輸送に関する全費用 P: 荷造梱包費  
T: 輸送費 I: 保険料  
S: 保管および管理費

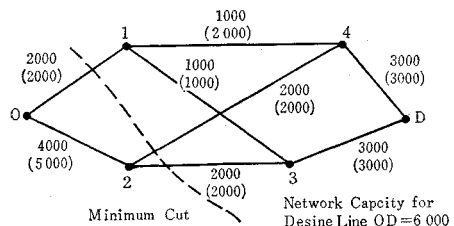
これらの変数に関して独立なものとして輸送貨物の価値が上げられる。たとえば、石炭、小麦等はポンド当り数ペンス、消費財の完成品は数シリング、香水、宝石等は数ポンド以上する。この価値に関する全輸送費用の関係を図-4 に示す。これによると、貨物輸送の基本的な交通機関の分担が明らかとなる。

図-4 貨物の価値別の最適分担率の図式解法



d) 容量 道路容量については交通工学者によって種々の研究がなされているが、交通体系の問題についての研究はまだあまり行なわれていない。種々の交通機関の体系を比較するには単位時間の人数またはトン数を単位とする必要がある。また容量の考え方として、ある断面または地点の容量だけでなく、網の容量も考えねばならない。それにはネットワーク理論によるミニマムカットの考え方が適用できる。図-5 に示す網では6000/時がマキシマムフローとなり、それは0-1, 2-3, 2-

図-5 ミニマムカットとマキシマムフローの関係を示すネットワーク



4のリンク容量によって決められている。

表-3 に都市内主要交通機関の1車線または1線当りの標準的な容量の値を示す。

表-3 都市内主要交通機関の容量

交通機関	占有率 (推定値)	マキシмумフロー (容量)
通勤鉄道	1 000/eight car train	30 000 persons/hour per lane or track
一般街路のバス	60/veh	7 000 "
高速道路のバス	40/veh	50 000 "
高速道路の乗用車	1.5/veh	3 000 "
幹線街路の乗用車	1.5/veh	1 500 "

e) ターミナル施設 総合的な交通計画における1つの重要な点は、交通機関相互の乗換へのターミナル施設の計画にある。ターミナル施設の運用に関する理論的な研究は、複数チャンネルの待ち合わせ理論に基づいて行なうことができる。たとえば空港における主なサービス地点は、乗降用の出入口とチェックカウンターである。

f) 体系の評価基準 体系を評価する問題は非常に多くの方法によって研究されており、交通が社会経済界においても重要な位置を占めているので、その評価基準は国の政策の一部を形成するものとなろう。しかし、ここで、これらを計画者と利用者という立場だけに限れば計画者はその投資効果が最大となるよう、利用者はそれによって得られる有形無形の利益を最大にするように基準を設けているといえる。

g) 要 約 本文の主目的は、主要交通機関について交通工学者が有効な比較ができるような体系の指標ならびに尺度を開発することにある。また各交通機関の基本的な特性を知るとは、将来の公共輸送機関体系を開発する際に、非常に重要なことである。

(黒川 光)

### 降伏領域を越える荷重-たわみヒステリシス曲線の動的形状と静的形状との比較

“Comparison of Static and Dynamic Hysteresis Curves”

Hanson, R.D.

Proc. of A.S.C.E., EM., Vol. 92,

No. 5, pp. 87~113, October (1966)

非常に大きな地震が起こった場合、構造物には、降伏するけれど破壊はしないという状態の生ずることが予想される。それゆえ大地震に対しては、降伏にとまらぬ非線形挙動が考慮されなければならない。この問題に関して、理論的には近似解や厳密解が多くの研究者によりなされてきたが、その結果は控えめに適用した方がよい。なぜなら、工業用金属材料についての、降伏するまで載荷される静的くり返し載荷および動的載荷に対する

資料が十分でないからである。

この論文は、構造物がその降伏領域を越える地震力を受けるときの動的応答を述べるのに、静的な測定結果からの荷重-たわみヒステリシス曲線を使うことの妥当性を実験的に調べたものである。すなわち、軟鋼性の模型の一階建造物に動的および静的荷重を与え、その荷重-たわみヒステリシス曲線の比較を行ない、同時に、くり返し載荷と無荷重時間による材料特性の変化についての考察も行なった。

#### (1) 実験供試用構造物

水平力は、水平面内にある2個の円盤に、軸対称に位置した等しいおもりをつけ、これを反対向きに回転させることによる普通の型の起振機により発生させた。振動数は1/300 c.p.c. 以内で制御できる。また、可変振動数の範囲は1 c.p.s.~9 c.p.s.であった。起振力の最大振幅は2265 kgである。このような起振機を1個ないし2個保持する剛な質点が4本の柱で支えられ、柱は1質点1自由度系のばねとして作用するような構造で、この柱の断面が調べようとする断面である。この柱の端部の構造と全体の大きさを図-1に示す。また、柱の上の固頭床部の構造を図-2に示す。全体の構造物は、その固

図-1 実験柱詳細図 (単位: mm)

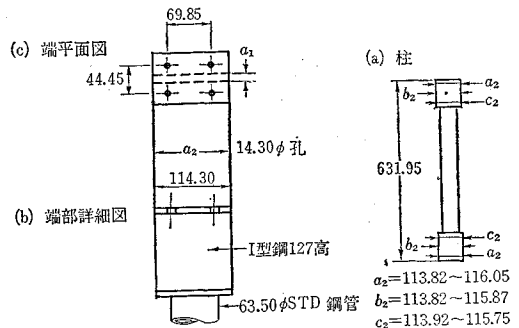
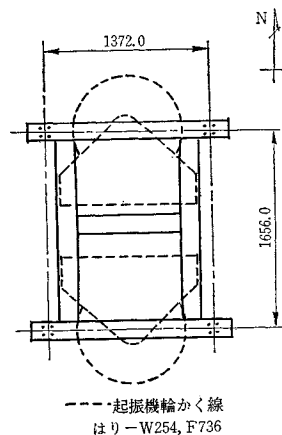


図-2 頭床部平面図



有の鉄筋コンクリート性の基礎にすえられ、既存の床とはアスファルトにより隔離された。

## (2) 実験

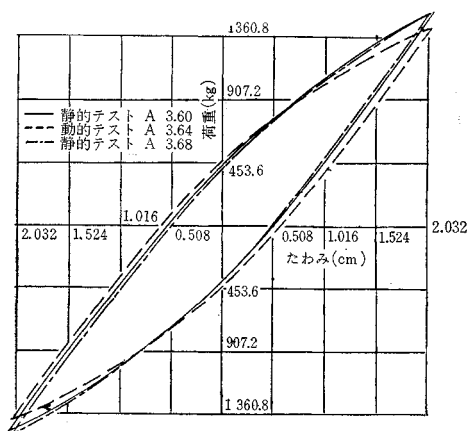
ここに報告する実験の全経過日程表を表-1に示す。これは、3体の供試構造物による予備実験にもとづく4体目の供試構造物についての結果である。

表-1 実験の経過日程表

実験番号	実験月日	実験種類	たわみ範囲 (cm)
A3.55	June 22	自由振動	±0.0142
A3.56	June 22	静的	±1.603, ±1.542
A3.57	June 23	強制振動	±1.626
A3.58	June 25	静的	±1.143, ±1.631
A3.59	June 30	強制振動	±1.067
A3.60	June 30	静的	±1.067, ±2.093
A3.61	July 2	自由振動	約±0.0254
A3.62	July 6	強制振動	±0.305
A3.63	July 7	強制振動	±1.067
A3.64	July 7	強制振動	±2.073
A3.65	July 7	自由振動	±0.279
A3.66	July 8	静的	±2.070, ±1.067
A3.67	Aug. 17	自由振動	±0.0406
A3.68	Aug. 17	静的	±2.070
A3.69	Aug. 18	強制振動	±2.017
A3.70	Aug. 18	自由振動	+0.0483

静的な荷重は、予備実験により決められてあるたわみまで、ねじつきロッドにより載荷され、±1360 kgの容量をもつ荷重計を構造物と載荷わくの間においてその大きさを測定された。対応するたわみは、頭床部の中央位置に取付けたダイヤルゲージで測定された。ゼロ点の移動を警戒して、試験サイクルごとにゼロ荷重位置を記録し、2つのチェック値の間は、直線で補間した。可能な最大の誤差を積算して、たわみについては、±0.01225 mm、荷重については±1%の誤差があることが決定された。結果の一例を図-3に示す。与えた最大たわみ量は、2.06 cm であって、これは最大弾性たわみの2倍に

図-3 静的荷重-たわみ曲線の比較



相当する。このときの最大繊維ひずみは、降伏ひずみの約9倍であった。テスト A3.66 は、連続的な載荷サイクルによる構造劣化を示し、テスト A3.68 は48日間の静止期間による回復を示している。

動的な実験で記録されたデータは、加速度、ひずみおよび強制力の位相パルスであった。記録は、6チャンネルのアンプと光線ガリバナメータを備えた記録装置でとられた。加速度計では±2gのひずみゲージ型を用い、強制力の位相パルスは起振材の頂部がその最大位置で、極部的に与えた磁界を切ることにより発生させた。可能な誤差のうち最大の組合せに対して、加速度は±2%、荷重の位相の位置は±3°以内でそれぞれ正しいものであった。

動的な荷重-たわみ関係を実験データから決定するにはつぎのように行なう：

粘性減衰のある線型一自由度系の運動方程式は

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $m$ ：有効質量、 $c$ ：粘性減衰係数、 $k$ ：剛性、 $F$ ：質点に加えられる動的な力、 $x$ 、 $\dot{x}$ 、 $\ddot{x}$ ：質点のたわみ、速度、加速度。

いま扱っている構造物に対しては、

$$m\ddot{x} = R(x) = F \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 $R(x)$  は復元力である。式(2)を書き換えるとき、

$$R(x) = F - m\ddot{x} \dots\dots\dots (3)$$

線型の場合、 $R(x) = c\dot{x} + kx$ で、式(1)より次式が成り立つ。

$$\frac{|F|_{\max}}{|m\ddot{x}|_{\max}} = 2n = \frac{c}{\sqrt{mk}} \dots\dots\dots (4)$$

したがって、 $n=0.1$ の場合、加速度振幅は強制力振幅の5倍であることがわかる。すなわち、 $R(x)$ の値は主として、加速度の項で決定され、強制力の誤差より、加速度の誤差に対する方がより敏感であると予想される。

動的な荷重-たわみ曲線を求めるのに最も簡単な方法は、加速度、たわみ、強制外力の位相パルスを同時に1つの記録にとることのように見える。しかし、アンプとか、トランスジューサーとか、記録装置の系のおおのは、それぞれ固有の位相遅れをもち、その精度は±1°以内であっても加速度とたわみとの間には最大2°の位相誤差が有り得ることになる。この2°の位相誤差は線型粘性減衰系についていえば、その荷重-たわみ曲線の面積にして最小限17%の誤差を生じ、無視できない。このため、測定された加速度のデータを積分することによりたわみを求めることにした。積分手続きの理論的条件は、初速度と終速度とが等しいということであった。1サイクルあたり40個のデータ点が使われ、計算はカリフォルニア工学研究所にあるデジタル計算機(Bur-

roughs 220 Datatron) で行なわれた。1 サイクルで散逸されるエネルギーは、連続するデータ点を直線として  $R(x)$  を積分することにより求めた。

$$\text{散逸エネルギー} = \oint R(x) dx \dots\dots\dots (5)$$

式(5)は1サイクルの入力エネルギーを同様な方法で次式により積分したものと比較チェックされた。

$$\text{入力エネルギー} = \oint F \dot{x} dt \dots\dots\dots (6)$$

式(5)の結果の誤差は -0.15%, 式(6)の結果の誤差は +0.27% であった。図-4 に1サイクルで散逸され

図-4 1 サイクルあたりの散逸エネルギー

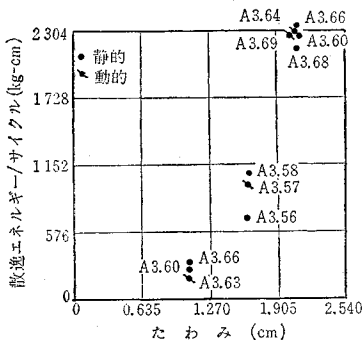
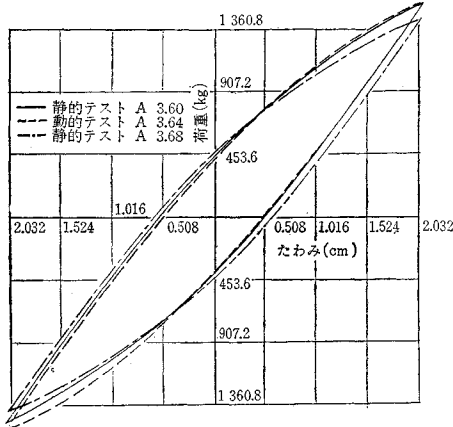


図-5 荷重-たわみ曲線の静的結果と動的結果の比較



るエネルギーと最大たわみの関係が図示されている。

動的ヒステリシス曲線の一例が図-5の点線で与えられている。また、静的実験結果と同様の材料劣化も見られた。

### (3) 結 論

1) 静的と動的なヒステリシス荷重-たわみ曲線の間の変化は、静的試験において、材料の劣化によって生ずる変化より小さい(図-5 参照)。3 c.p.s. の振動数については、初期降伏たわみの2倍までは動的ヒステリシス曲線と静的ヒステリシス曲線とは等しいと仮定してよい。

2) 荷重のくり返しによる構造劣化と無荷重状態で休

息することによる回復が観察された。この構造劣化は、荷重のくり返しの過程で、安定な荷重-たわみ関係が確立されるまで、劣化進行速度は減じながら継続する。回復時間が十分長いとき、構造物はその初期強度より強度が上がるが、回復後、実験を再開すると、劣化の停止する安定な荷重-たわみ関係にもどるのに必要な載荷くり返し回数は減少した。

3) 動的な荷重-たわみヒステリシス関係を正しく決定するには綿密に誤差の解析をしなければならない。

4) 静的、動的荷重-たわみ関係の比較は、さらに多くの振動数についても調べられなければならない。また低耐久性疲労による寿命のような材料特性や、散逸エネルギーに対する。載荷と休息の断続の影響が調べられなければならない。

(委員 渡辺 啓行)

## フロリダにおける漂砂バイパス施設

“By-passing and Back-passing with Reference to Florida”

Bruun, P.M.

Proc. of A.S.C.E., WW, Vol. 93

No. 2, pp. 101~128, May (1967)

### (1) 漂砂バイパス

一般に洲の切れ目で、潮汐や河川による水流の出入りのあるところを tidal inlet (潮口) と称している。漂砂は tidal inlet に至ると、一部は水路内に入って堆積するか湾内または外海に流れ込む。また一部は水路を横切

表-1

河 口、 潮 口	漂 砂 量	バイパス砂量
St. Mary's 川	35 万 m <sup>3</sup> /年	不 明
St. John's 川	35 ”	不 明
St. Augustine Inlet	35 ”	不 明
Matanzas Inlet	35 ”	大 部 分
Ponce de Leon Inlet	35 ”	25 万 m <sup>3</sup> /年
Canaveral 港	25 ”	非常に少ない
Sebastian Inlet	22 ”	15 万 m <sup>3</sup> /年
Ft. Pierce Inlet	18 ”	10 ”
St. Lucie Inlet	15~18 ”	2 ”
Jupiter Inlet	15~18 ”	10 ”
Palm Beach Inlet	15~16 ”	非常に少ない
South Lake Worth Inlet	10~15 ”	3 万 m <sup>3</sup> /年
Hillsboro Inlet	7 ”	2 (?)
Everglades Inlet	3.5 ”	非常に少ない
Bakers Haulover Inlet	3.5 ”	非常に少ない
Government Cut, Miami Beach	1.5 ”	非常に少ない

って漂砂の下流側の海岸に達し、沿岸方向の移動を継続する。このような漂砂バイパスは、漂砂が卓越しているときは、tidal inlet の海側出口に形成されるバーを通路として行なわれ、また水流（主として引潮による強い流れ）が卓越しているときは、砂を押し出す流れが、漂砂の下流方向に偏ることにより生じるものである。表-1 はフロリダの大西洋側の各河口、潮口または湾口における自然のバイパス砂量を示したものである。

このような tidal inlet を水路として安定させるため導流堤を設けると漂砂の障害となるので、漂砂の下流側海岸の浸食をおさえるために、人工的に漂砂バイパス作用を実現させる必要がある。フロリダでは若干の地点で水路内のしゅんせつ土砂を漂砂の下手に放流することが行なわれているが、固定的なポンプ施設によって、tidal inlet を横断して土砂供給を行なっているのは2カ所のみである。それは South Lake Worth Inlet と Lake Worth Inlet (Palm Beach) であって、このうち前者は運転歴も長く、順調に動作している点で、アメリカでも有数のものである。

### (2) South Lake Worth Inlet の現状

この地点のバイパス施設は建設後 40 年経過しているが運転は良好に行なわれている。しかしバイパス能力が固定的であるため、水路の改良計画にともない導流堤が延長された場合は新しい施設を設けなくてはならない。現在再建設するとして建設費は 3600 万円になるので、償却期間を 40 年として運転単価を算定すると約 230 円/m<sup>3</sup> で、これは tidal inlet 中の 7 万 m<sup>3</sup> のしゅんせつの請負単価に比べても有利である。表-2 に 1960 年～1965 年のこの施設によるバイパス砂量を示す。

ここでは、湾内の浅瀬からしゅんせつした土砂も inlet

表-2

期 間	バイパス砂量 (m <sup>3</sup> )	累 計 (m <sup>3</sup> )
1960 年 10 月～1961 年 9 月	23 168	23 168
1961 年 10 月～1962 年 9 月	33 087	56 255
1962 年 10 月～1963 年 9 月	64 507	120 762
1963 年 10 月～1964 年 9 月	51 319	172 081
1964 年 10 月～1965 年 9 月	14 980	187 061

の南側に供給して、バイパスの役目を果している。1929 年～1955 年間の inlet の南北それぞれ 3 km 区間の平均汀線後退量は、南側で 17.4 m、北側で 9.9 m で、これは、(0.6～0.9 m/年) 1930 年～1950 年の海面上昇 (0.64 cm/年) の結果から算出される量と良く一致している。inlet のごく近く (約 300 m) では、両側とも汀線の前進が見られるが、北側は漂砂の上流側にあたり障害物によって堆積したもので、このような場合しばしば障害物の長さの 4～6 倍以上上手に局部的後退を生じることがある。南側はバイパスした砂による浜の前進であると見なせる。それより外側は全般的な後退を示しており、inlet の影響は局地的であることがわかる。

### (3) 砂 収 支

inlet のごく近く (300 m) をのぞいた外側の浜における砂移動の平衡条件を考える (図-1 参照)。漂砂の南下

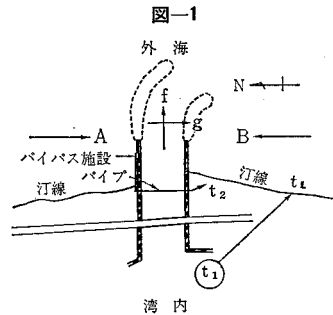


表-3

A/B	A-B 万 m <sup>3</sup> /年	A 万 m <sup>3</sup> /年	B 万 m <sup>3</sup> /年	現実的 か?
2/1	16.8	33.6	16.8	×
	14.7	29.4	14.7	×
	12.6	25.2	12.6	×
	10.5	21.0	10.5	?
3/1	16.8	25.2	8.4	×
	14.7	22.1	7.4	×
	12.6	18.9	6.3	○
	10.5	15.8	5.3	○
4/1	16.8	22.4	5.6	×
	14.7	19.6	4.9	○
	12.6	16.8	4.2	○
	10.5	14.0	3.5	○

表-4

	北 (A-B) - g - t <sub>1</sub> - t <sub>2</sub> 万 m <sup>3</sup> /年			南 -(A-B) + g + t <sub>1</sub> + t <sub>2</sub> - f 万 m <sup>3</sup> /年		
	全般的に不適	全般的に適	?	全般的に不適	全般的に適	?
(A-B) 万 m <sup>3</sup> /年 と A/B	t <sub>1</sub> +t <sub>2</sub> =7 g=3.5	t <sub>1</sub> +t <sub>2</sub> =9.1 g=3.5	t <sub>1</sub> +t <sub>2</sub> =11.2 g=3.5	t <sub>1</sub> +t <sub>2</sub> =7 g=3.5 f=2.1	t <sub>1</sub> +t <sub>2</sub> =9.1 g=3.5 f=1.4	t <sub>1</sub> +t <sub>2</sub> =11.2 g=3.5 f=0.7
A-B=14.7, A/B=4	+4.2 (×)	+2.1 (×)	-0.0 (○)	-6.3 (×)	-3.5 (×)	-0.7 (○)
A-B=12.6, A/B=3	+2.1 (×)	-0.0 (○)	-2.1 (○)	-4.2 (×)	-1.4 (○)	+1.4 (○)
A-B=10.5, A/B=3	-0.0 (○)	-2.1 (○)	-4.2 (×)	-2.1 (○)	+0.7 (○)	+3.5 (×)
A-B=12.6, A/B=4	+2.1 (○)	-0.0 (○)	-2.1 (○)	-4.2 (×)	-1.4 (○)	+1.4 (○)
A-B=10.5, A/B=4	-2.0 (○)	-2.1 (○)	-4.2 (×)	-2.1 (○)	+0.7 (○)	+3.5 (×)

(×): 受け入れられない。 (○): 受け入れることができる。

流(卓越している)を  $A$ , 北上流を  $B$ , 自然のバイパス量を  $g$ , ポンプによるバイパス量を  $t_1$ , 湾内からのしゅんせつによるバイパス量を  $t_2$  とし, 引潮による沖への損失を  $f$  とすると, 北浜についての平衡式は,

$$(A-B) - g - t_1 - t_2 \geq 0$$

南浜については,

$$-(A-B) + g + t_1 + t_2 - f \geq 0$$

これらは,  $A$  も  $B$  も変動し, それにつれて  $g, f$  も影響をうけるので, 常にこれを成立たせるのは不可能であるが, 0 から大きくずれることはないはずである。  $f$  のために常に欠損があるであろう。フロリダ大学海岸研究室で行なった South Lake Worth Inlet の砂収支のモデル研究についてのレポートには, つぎの計算が用いられた。

漂砂卓越量約 14 万  $m^3$ /年 (10.5 万  $m^3$ /年 まで下がり得る)。

湾内からの運搬量 (1950 年までさかのぼって)

$$2.8 \text{ 万 } m^3/\text{年}$$

バイパス施設による運搬量 (1962 年~1964 年)

$$5 \text{ 万 } m^3/\text{年} (\pm 1.4 \text{ 万 } m^3/\text{年})$$

として,  $A-B=16.8, 14.7, 12.6, 10.5$  万  $m^3$ /年 を  $A/B=2\sim 4$  の種々の組合せから現実性のあるものを取出す (表-3)。

現実性のある 5 個の  $A, B$  の組合せにたいし,  $t_1+t_2$  を 7~11.2 万  $m^3$ /年に変化させ,  $g=3.5$  万  $m^3$ /年,  $f$  を 2.1~0.7 万  $m^3$ /年 の間を  $t_1+t_2$  が増すにつれて変化させて, 南北の浜の平衡条件を考えてみる (表-4)。

この結果から,  $t_1+t_2=9.1$  万  $m^3$ /年,  $g=3.5$  万  $m^3$ /年,  $f=1.4$  万  $m^3$ /年がかなり良いように思われる。  $f>1.4$  万  $m^3$ /年のときは南へのバイパス量を増して, バランスを改善できる。現在の実際のデータによれば,  $t_1=4.9$  万  $m^3$ /年,  $t_2=3.2$  万  $m^3$ /年で合計 8.1 万  $m^3$ /年が人工的バイパス量であるから, 現在のバランスを保つために, バイパス施設は 4.9 万  $m^3$ /年を下まらないようにすることが要求される。 (委員 鹿島 遼一)

## 空港舗装の評価法

“Airfield Pavement Evaluation Procedures”

Brown, P.P.

Proc. of A.S.C.E., AT,

Vol. 91, No. 1, pp. 15~31, April (1965)

### 概 説

空港舗装の評価方法は, その試験のやり方, 解析, 報告の方法がいろいろある。この論文は表形式で, 表層状態の評価, 現場と実験室で行なう試験方法, 舗装評価の

表示法, 複車輪を単車輪に換算する方法, 現舗装の強度以上の荷重が作用する際どの程度まで既設舗装の強さを拡張できるか等, これらの点に関して, 今日最もよく使用されている舗装評価法をとりだして, その相違をのべたものである。代表的舗装評価法として, アメリカの陸軍技術部隊および海軍の方法, アメリカ連邦航空局のもの, イギリスの LCN 法, カナダ法をあげている。

a) 一般的要素 表-1 を参照するとわかるように, 現在の舗装評価法は一般に, 舗装の歴史, 現在運航している交通やその交通の歴史, 雨量と温度, 排水, 地理の状態等に関して調査することを求めている。

b) 表層状態の評価 表-2 からいろいろな表層状態の評価を求めていることがわかる。LCN 法では, 舗

表-1 舗装評価の一般的要素

	陸軍技術部隊	海軍	連邦航空局	LCN法	カナダ法
空港建設と補修の歴史	×	×	×	特にきめられたものはない	×
航空機の運航の歴史	×	.....	×		×
現在運航している交通について	×	×	×		×
雨量と温度	×	×	×		×
排水	×	×	×		×
地理とその土質について	×	×	.....		×

表-2 表層状態の評価

	陸軍技術部隊	海軍	連邦航空局	LCN法	カナダ法
目でみた表層状態とその評価	×	×	×	特にきめられたものはない	×
典型的に悪い場所の写真	×	×	.....		×
クラックなどの完全な位置図	×	.....	×		×
着陸区域の写真	.....	.....	.....		.....
たて方向の粗度の測定	.....	.....	.....		×
表面摩擦の測定	.....	.....	.....		×

装の強度を求めることを第一にしているため, 特に表層の調査を要求していないが, イギリスはプレーキ効果等の測定を最も早く行なった国で, 表層の摩擦試験がイギリスの多くの空港で LCN 法と別に行なわれた。カナダ法はこの評価を大きくとりあげている。

c) 試験の形式, 数, 位置について 現在の評価法では, 実施される試験の形式, 数, 位置に関して大きな相違がある。表-3 より, 滑走路上で海軍は 300 m ごとにすべての舗装の層について十分な荷重試験と材料試験を要求している。LCN は 40 カ所かそれ以上で平板試験を求めている。

d) 舗装材料試験 表 4 で示すように LCN 法以外の方法で材料試験を実施している。材料試験の目的は, ①舗装構造のある場所での現在または将来おこる破壊の原因を知ること, ②舗装の強度を評価するために使

表-3 試験の形式、数、位置

陸軍技術部隊	150 m ごとに舗装厚と分類試験のために補助孔をあける。 たわみ性舗装……典型的舗装断面で、材料試験を必要とする弱い区域で、基層、路盤、路床で 15 cm の層ごとの現場 CBR のために、おのおの孔をあける。滑走路、誘導路、エプロンで 12 からの 20 孔がある。 コンクリート舗装……曲げ試験のため、えらばれた位置で 5 か 6 の試験孔をあける。また 75 cm の平板載荷試験を路盤上で行なう。
海軍	滑走路、誘導路の試験位置は中心線上で 300 m ごとに、またエプロンでは 16 700 m <sup>2</sup> ごとに行なう。 たわみ性舗装……20 cm と 75 cm の直径の平板で、表層の荷重試験をする。路床、路盤は 75 cm の平板でまた、すべての層に対して材料試験をする。 コンクリート舗装……1.2×1.2 m の資料を曲げ試験のためにとりだす。路盤上で 75 cm の平板載荷試験をし、すべての層で材料試験をする。
連邦航空局	位置や数についてきまったものはない“舗装構造(表層、基層路盤)の資料を、それぞれの厚さ、材料の状態、また使用された材料の性質を決定するために、調べなければならない”。
LCN 法	たわみ性舗装……同一断面のそれぞれにおいて、最小 20 カ所、45 cm の直径の平板で荷重試験をする。材料試験はない。 コンクリート舗装……同一断面のそれぞれにおいて最小 20 カ所、床版のすみでの破壊の静的荷重試験をする。材料試験はない。
カナダ法	たわみ性舗装……1つの滑走路で最小 10 カ所の試験、同一断面のそれぞれにおいて最小 4 カ所の試験、タイヤ接地面積に等しい平板面積でくりかえし荷重試験をする。 コンクリート舗装……材料試験、路盤上で静的荷重試験、路床路盤で現場 CBR をとる。

表-4 舗装材料試験

	陸軍技術部隊	海軍	連邦航空局	LCN法	カナダ法
コンクリート	弾性係数	×	×	…	×
	曲げ強さ	×	×	特にきま	この種の × <sup>b</sup>
	圧縮強さ	×	×	ったもの	試験はな
	引張強さ	×	×	はない	い
	厚密度	×	×	…	×
アスファルト	厚さ	×	×	…	×
	密度	×	×	特にきま	この種の × <sup>c</sup>
	瀝青材の量	×	×	ったもの	試験はな × <sup>c</sup>
	混合物の粒度	×	×	はない	い × <sup>c</sup>
	混合物の比重	×	×	…	×
層	コアのマーシャル値	×	×	…	×
	再圧縮のマーシャル値	×	×	…	×
	空げき率	×	×	…	×
	伸度試験	×	×	…	×
	現場密度	×	×	×	この種の ×
路床・路盤・材料	含水率	×	×	×	試験はな ×
	分類試験	×	×	×	い ×
	比重	×	×	×	×
	実験室でのつきかため	×	×	×	×
	実験室の CBR	×	×	×	×
土質断面図、地下水位	×	×	×	×	

- a : 曲げ強さがきめられないときは実施される
- b : 所定の試験ができない場合は設計値を用いる
- c : 特別の場合のみに実施される

う材料の性質の値を知ることである。例えばコンクリート舗装で、LCN 法を使用しなければ、舗装支持値を計算するのに、曲げ強さ、厚さ路床反力を知る必要がある。これらの値を得るために、舗装断面がきりとられるのである。

e) 荷重容量を決定する法 コンクリート舗装では一般に測定した厚さ、強度・路床係数をもって荷重容量

表-5 荷重容量の決定

	たわみ性舗装	コンクリート舗装
陸軍技術部隊	測定された厚さと、路床の CBR から、CBR 設計法より容量を求める。	厚さ、強さ、路床反力係数を使い、隅角部に対するウエスタガード法で容量を求める。
海軍	0.28 cm の表面たわみを生ずる静的平板荷重の平均として容量を求める。	厚さ、強さ、K 値から中央部でのウエスタガード法を用い計算。
連邦航空局	測定された舗装厚と路床分類から局の設計法で容量を求める。	測定された厚さと路床の分類から、局の設計法で計算。
LCN 法	くりかえし荷重試験より、同じ荷重の下で初期変位を越えて、0.5 cm のたわみを生ずる。1000 回の載荷重	コーナーでクラックを生ずる荷重を 1.5 で割ったもの。
カナダ法	荷重を 10 回作用して、1.2 cm の累積たわみを生ずるときの平板荷重をとる。	設計厚、強さ、路床係数から中央部のウエスタガードの式で計算。

を計算する。LCN 法は独特の方法で舗装のもっとも弱いところ、床版のすみで現場にクラックが生じるまで平板で載荷する。たわみ性舗装はその設計法がことなるため荷重容量の決定がいろいろある。陸軍技術部隊、連邦航空局はおおのの方法で測定した路床上の性質とその

表-6 荷重強度の表示法

陸軍技術部隊	単車輪からはじまり、その他、9つの着陸車輪形式を有する航空機に対して許容全備航空機重量が与えられている。舗装は4つの運航カテゴリ；最大容量、十分、最少、緊急この4部に評価される。第1の滑走路舗装は将来の航空機の要求のため a,b,c と区域をわけている。
海軍	④ 150 psi の単車輪 ⑤ 400 psi の単車輪 ⑥ 76 cm の間隔を有する 150 psi の複車輪 ⑦ 76 cm × 120 cm の間隔をもつ 150 psi の複々車輪、これらの航空機に対する許容全備重量を表示する。他のタイヤ圧や他の間隔を有する航空機に対する換算法も与えている。おのおのの運航単位、つまり滑走路、誘導路、エプロンはそれぞれ別々に表示する。
連邦航空局	⑧ 任意のタイヤ圧をもつ単車輪 ⑨ 150 psi で 50 cm から 76 cm までの車輪間隔をもつ複車輪 ⑩ 150 psi で 50 cm × 110 cm から 76 cm × 140 cm までの間隔をもつ複々車輪、これらの航空機に対する許容全備重量を表示する。
LCN 法	たわみ性舗装では、舗装厚を含めて、コンクリート舗装では剛比半径を含んで舗装の LCN を与える。これらの値は航空機の LCN と比較される。それぞれ滑走路、誘導路、エプロンで、表示を行なう。
カナダ法	航空会社の使用のため、おのおのの飛行場で特定の航空機に対して舗装評価図が与えられている。コンクリートにおいて、強度値、K 250 hd 11 は路床反力 250 psi で等値床版の厚さは 11 in を意味する。たわみ性に対しては S 15 t 36 とは 15 000 lb で等値粒状基層厚が 36 in を意味する。



厚さにより荷重容量を計算する。カナダ法は 10 回の載荷となっているが、実際には 6 回の載荷試験から対数グラフより 10 回の載荷荷重を求める。

f) 荷重強度の表示法 舗装の荷重表示は、舗装の性格(厚さ、強さ、路床支持)と航空機の性質(タイヤ圧、接地面、車輪の形と間隔)の二つの関数であるためこれらの要素を単一なもので表示するという事は非常にむずかしいので、どの官庁でも妥協案として表-6の方法をだしている。

g) 単車輪への換算基本理論 たわみ性設計とその評価は、単車輪荷重をたわみと応力に結びつけているので、複車輪に対しその複車輪と同じ影響をあたえる単車輪を求める必要がある。

このときの応力とたわみの計算は、等方弾性体と仮定している。コンクリートはウエスタガード法による。

表-7 単車輪変換への基本理論

	陸軍技術部隊	海軍	連邦航空局	LCN法	カナダ法
たわみ性舗装					
路床上で等しい垂直応力			×	×	×
舗装表面下 76 cm のところでの等しい垂直応力		×			
路床上で等しい最大たわみ	×				
コンクリート舗装					
一定の航空機に対する設計図から計算して等しい曲げ応力を得るか、接地面と車輪間隔との関連図表より得る。	×	×	×	×	×
略算値 複車=1.3×単車 複々車=3.0×単車			以前これを使用		

表-8 オーバーロードのときの舗装強度の拡張

陸軍技術部隊	十分な運航...1~2年の期間、最小運航...4か月~6か月の期間 緊急運航...2~3週間の期間
海軍	6か月の期間までは制限運航のための荷重増を 50% みとめる。 この期間ののち十分な補修を必要とする。
連邦航空局	現舗装厚を 20% 増したものに對する運航可能な航空機荷重まで、増加できる。
LCN法	舗装の LCN より航空機の LCN が 10% 大きいとき無制限に " " " " 25% " 3000回まで " " " " 50% " 300回まで " " " " 100% " は制限をきびしく 舗装の LCN より航空機の LCN が 100% 以上大きいとき、緊急時のみ。
カナダ法	航空機が許容荷重を 25% までこえるとき 3000回 " " " 50% " 300回 " " " 100% " 30回 航空機荷重が許容荷重を 100% 以上をこえるとき、緊急時のみ。

h) オーバーロードのときの舗装強さの拡張 舗装は、一般にオーバーロードしたとき突然破壊するという事はないため、どの程度まで現舗装強さを拡張できるか算定する必要がある。

i) 結論 以上各種の方法について記述したが、これはいずれも一つの標準として推薦するものもなく、またそれぞれの価値を比較したものもないことを明らかにしておく。ただ何らかの方法で、舗装評価の方

法については標準化する必要があると考えられる。

(委員 高見 之孝)

## 港における船混みの予測

"Forecasting Delays to Ships in Port"

Mattam, J.D., and Cons, M.

Dock & Harbour Authority

Vol. XLVII, No. 558, pp. 380~382, April (1967)

定期的に通航される貨客船、フェリー等以外の船舶は不定期に入港する。こうして入港した船舶もただちに岸壁に接舷できる場合もあるし、またすでに接舷している船舶が離岸するまで沖で待機しなければならない場合もある。

各入港船舶の運搬貨物量、およびその荷役時間は不規則であり、船舶の沖待ち時間はこれらの要因から決ってくる。港湾運営についての研究者は、この待ち行列問題を解くために数学的手法を進展させてきた。本論文は、船舶の沖待ちと船混みを予測するために上述の手法をいかに活用するかを示すものである。

船舶の入港率(到着率)および岸壁における荷役サービス時間がそれぞれポアソン分布、指数分布になると仮定した場合、船舶の接舷待ち行列はアーラン式により解くことができる。図-1, 2はそれぞれ船舶の到着分布、

図-1 船舶到着分布

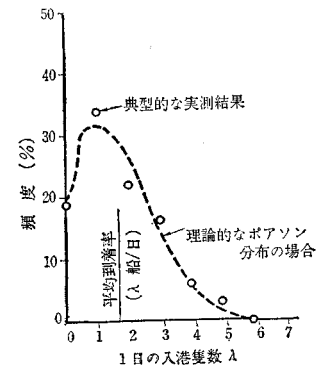
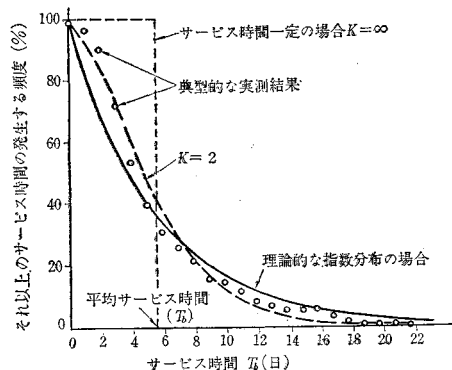


図-2 荷役サービス時間分布



サービス時間分布を示したもので、それぞれ仮定の曲線と実際とが良く合致していることを示している。また荷役サービス時間分布が指数分布に合致しない場合は、さらに複雑な  $K$  曲線を用いれば良く合致する。この  $K$  曲線は荷役サービス時間を多くの相に分け、これらの相が全て完了しなければ荷役サービスは終了しないという仮定に基づいて求めた理論的な曲線(分布)である。 $K$  は相の数で、増加するにしたがって荷役サービス時間は一定に近付き、無限大になると一定になる。一般に荷役サービス時間の確率 ( $P_0(t)$ ) は次式で与えられる。

$$P_0(t) = e^{-K\mu t} \sum_{n=0}^{K-1} (K\mu t)^n \frac{n!}{n!}$$

$$K=1 \text{ の場合 } P_0(t) = e^{-\mu t} \text{ (指数分布)}$$

$$K=2 \text{ の場合 } P_0(t) = e^{-2\mu t} (1 + 2\mu t)$$

ここに  $\mu$  = 荷役サービス速度  
 $t$  = " 時間

図-2 は、 $K=1, 2$ , 無限大に対応した荷役サービス時間の確率を、平均荷役サービス時間 ( $T_b$ ) を一定にして求めたものである。研究結果、荷役サービス時間の分布は特にサービス時間が小さい区間で  $K=2$  の場合に良く合致している。船舶の接舷、離岸は岸壁における荷役サービス時間と無関係に変動する時間を必要とするようにサービス時間をふくめた3つの要因がある。しかし、これらに要する時間は荷役サービス時間に比べて非常に小さい。

大きい待ち時間を与えるのは  $K=1$  の場合(指数分布)で、単純なアラン式で待ち行列を解くことができる。すなわち、この公式はつぎのように書ける。

$$\frac{T_w}{T_b} = \frac{\psi^N}{N \left(1 - \frac{\psi}{N}\right) \psi^N + N \left(1 - \frac{\psi}{N}\right)^2 \left(1 + \frac{\psi}{1} + \frac{\psi^2}{2} + \frac{\psi^3}{3} + \dots + \frac{\psi^{N-1}}{(N-1)}\right)}$$

ここに  $T_w$ : ある期間中の全船舶平均待ち時間

$T_b$ : 平均岸壁サービス時間

$\psi$ : 貨物量強度

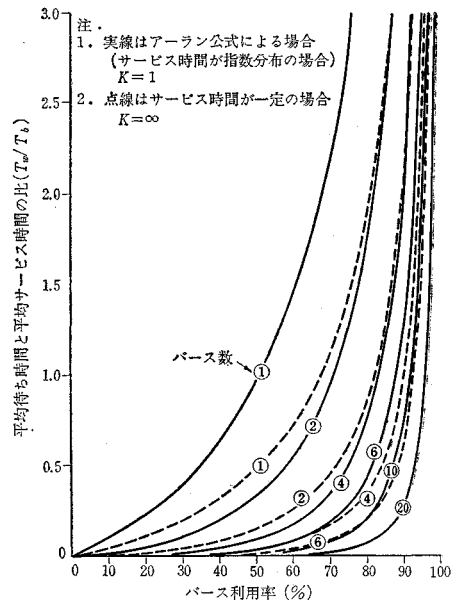
$N$ : ある期間中の到着全船舶隻数

この公式はあまりむずかしい数式ではなく、

$$\psi = \frac{N\theta}{100} \quad \text{ここに } \theta = \text{平均岸壁利用率}$$

であるから、岸壁数を与えた場合  $T_w/T_b$  と  $\theta$  の関係を図-3 のように図示できる。図-3 において岸壁数を1~20 バースとし、実線は、点線はそれぞれ  $K=1$ (指数分布) の場合、および  $K=\infty$  (待ち時間が一定) の場合の荷役サービス時間と待ち時間の比と、岸壁利用率を示している。 $K=\infty$  の場合の遅滞は  $K=1$  の場合のその半分のようであるが、このような状態は、同種類の貨物を同形式の船舶が同一の荷役装置を設けた理想的な岸壁

図-3 岸壁利用率



において取扱うときにのみ起り得る。例えば単一の原油タンカーが運航する場合にこれに近い状態になる。ただし通常の場合タンカーでも  $K=1$  と  $K=\infty$  の間にあり、一般の貨物船の場合は  $K=1$  に近い。

図-3 の曲線は、現在の港湾の諸条件(諸元)の変更、例えば、港湾取扱い貨物量の増大、または岸壁の新建設等にもなって発生する港内の遅滞状態を予測するのに用いることができる。また、この図は  $T_b$  (平均岸壁サービス時間) の値を大きく取ることによって、貨物荷役取扱いの遅滞の原因となる大雨、台風等の気候的な影響も考慮することができる。しかしながら、このような方法は気候的な影響が大きい、または新しい状態が十分長時間にわたって運営されなければ正確な取扱いはできない。

実際、高い効率での港湾利用や、毎年ある期間中に悪い状態が考えられるようなときには、非常な遅滞状態が発生する危れがある。沖待ち行列は徐々に起り、その行列状態はその状況が改善される時点で終了する。

港内遅滞状態を 図-3 を用いて予測する手順はつぎのとおりである。

a) 船舶の入港状況の解析

- 1) 毎年に入港する船舶数 ( $n$ )
- 2) 入港船舶一隻当りの平均積載貨物量
- 3) 平均岸壁サービス時間 ( $T_b$ )
- 4) 船舶の平均入港隻数 ( $\lambda$ )
- 5) 対象貨物に対する岸壁の有効利用率(船舶修理等のために使用される岸壁を除外) ( $N$ )

**b) 各岸壁における取扱い貨物量の決定** 平均量は実際の荷役作業に費やしたサービス時間として決めることができる。これを全サービス時間に対する比で示せば良い。これは  $T_b$  (平均サービス時間)  $\times n$  (ある期間中の入港全船舶隻数) で表わされ、 $N$  (有効岸壁数)  $\times \theta$  (岸壁の平均利用率) に比例する。すなわち 港湾取扱貨物量は岸壁の平均利用率にほぼ比例する。

**c) 将来の貨物量、岸壁規模に対する港内遅滞の予測**

- 1) 貨物量と有効岸壁数 ( $N$ ) の決定
- 2) 一船舶平均貨物量と入港船舶隻数 ( $n$ ) の決定
- 3) 一船舶平均貨物量の変化、貨物の種類、荷役方式の革新を考慮し 平均荷役サービス時間 ( $T_b$ ) の再検討
- 4) 岸壁利用率 ( $\theta$ ) を上述 (c) を考慮して再検討
- 5) 岸壁規模に対する  $T_w/T_b$  を 図-3 から読み取る
- 6) 平均待ち時間 ( $T_w$ ) を沖待ち中の船舶隻数  $\times$  日数を決めるために、入港船舶隻数 ( $n$ ) によって決定する。
- 7) 遅滞にともなう費用は実際の費用または滞船料に基づいて求められる。

沖待ち船舶の費用は新規施設の拡張、または現状における経済性を比較するための損益計算に用いる。この場合ある程度の不正確さは仮定に基づいて求めたアラン解析において不可避である。しかしその誤差は余り大きくなく、港湾における投資の経済性を比較する場合には有効な方法である。

前述の解析方法以外に港湾の基本的な計画に 図-3 を用いることができる。つぎにその例を示す。

**例 (1)**

$T_w/T_b=0.1$  が港湾利用者にとって受け入れられる遅滞水準である場合、図-3 より 20 岸壁を有する港は、岸

壁利用率が 85% に達するまで限界に達せず、岸壁数 10, 4, 2, 1 の場合岸壁の限界利用率はそれぞれ 76, 51, 29, 9 % である。

岸壁の生産性はその利用率に比例し同じ船混みの状態の場合、大港湾は小港湾より生産性は高くなる。しかしながら、大港湾の場合は悪天候等の悪い条件において非常に船混みの危れがある。船混み回復中に余分の貨物を処理する岸壁に適当な利用率増加があり、図において長い待ち時間に対応する高い岸壁利用率で運営するように、大港湾を小港湾より集中的に運営することができる。他の条件が同じ場合、新しい港湾を建設するよりも現在の港を拡張する方が経済的である場合がある。

**例 (2)**

最近、バラ荷、コンテナなど急速荷役に対処する専用岸壁が必要になってきている。高度に機械化された岸壁が一つの方式として開発されており、また一方、大港湾の一部分においてもユニット貨物が考えられている。このような施設は、集配施設、サービス施設等の点では効果的であるが、船混みが考えられる場合には余り効果的ではない。図-3 に示すとおり、1 岸壁が低い岸壁利用率または短い岸壁サービス時間で運営されなければ、非常に船混みが予想される。この場合取扱い貨物量が一定してあれば、十分機械化された荷役装置を用いることによって低い岸壁利用率にすることができる。

**例 (3)**

1 岸壁の場合に急速な荷役方式を設けることが困難な場合、2 岸壁にすれば効果的になる。例えば  $T_w/T_b=0.1$  の場合に、1 岸壁の場合の利用率は 9% であり、2 岸壁の場合のそれは 29% であり、両者において荷役速度が同じの場合、2 岸壁の取扱い能力は 1 岸壁の場合のその約 6 倍になる。

(委員 大隅 正登)

**工 事 報 告   天   草   五   橋**

調査編 ■ 1章 調査経過の概要 / 2章 主たる調査の内容 / 3章 事業費償還計画  
 設計編 ■ 1章 下部工の設計 / 2章 1号橋上部工の設計 / 3章 2号橋上部工の設計 / 4章 3号橋上部工の設計 / 5章 4号橋上部工の設計 / 6章 5号橋上部工の設計 / 7章 座屈計算その他 / 8章 特殊設計審議委員会および審美委員会  
 施工編 ■ 1章 1号橋下部工事 / 2章 2号橋下部工事 / 3章 3号橋下部工事 / 4章 4号橋下部工事 / 5章 1号橋上部工事 / 6章 2号橋上部工事 / 7章 3号橋上部工事 / 8章 4号橋上部工事 / 9章 5号橋上部工事 / 10章 振動試験および P C 橋各種試験 / 11章 工食用電力および照明設備事項 / 12章 特記示様書および現場説明事項  
 体 裁 ■ B5 判 800 ページ、豪華箱入、8ポ2段組  
 価 値 ■ 9800 円 (〒 200 円)  
 会員特価 ■ 8000 円 (〒 200 円)  
 申 込 先 ■ 土木学会：東京都新宿区四谷一丁目