

(昭和30年11月造船協会秋季講演会に於て講演)

貨物船の荷役能力について (第2報)*

正員 工学士 平本文男**

Cargo Handling Capacities (2nd Report)

By Fumio Hiramoto, Kogakushi, Member

Abstract

Cargo handling capacities of two rigged hatches are considered to be about 1.5~1.7 times that of one rigged hatches, viz., mean work time is increased about 20~30%. This phenomenon is explained by the "Wait" in work time of two gangs' operations.

Wait exists also between stevedoring (movement of cargo from pier to ship, or vice versa) and stowage (handling of cargo from hook to its place of stowage in ship) or breaking out. So the cargoing time has no linear relation to the position of stowage in hold. Application of stochastic process indicates this relation as shown in Fig. 3.

Minimum length for hatch opening to avoid excessive wait is expressed on the basis of calculated results of the effect of "Storage" in material handling.

1. 緒 言

10m 程度より長いハッチに於て、荷役能力を増す為に2口荷役が行われることがある。此の場合の荷役能力は普通、1口荷役の場合の1.5~1.7倍位と考えられている。¹⁾²⁾能力が2倍にならないのは、ハッチが十分長く無い時には、前後に於ける作業が夫々影響を及ぼし合い、作業の手待ちを生じ、単独の場合に比較して平均作業時間が延びる為と考えられる。故にハッチが長くなれば上の値は2に漸近する²⁾。

艙内の運搬、積付などの作業とウインチ作業とも相互に相手作業の影響のため手待ちを生ずる。此の為ホールド内の積付位置と作業時間とは直線的な関係になくなる。同じ大きさのハッチに対しても、長い、あるいは幅の広いホールドでは単位時間当りの荷役量は小さい、船の前後部は荷役困難である³⁾。定性的に自明とみられるこれらの事柄も、実作業の測定から定量的な結論を導くには種々の困難があり、また普通に起りうる測定結果のパラッキの中に入ってしまう、定性的な結果さへ出て来ない場合も多い。それゆえ、妥当と考えられる仮定から理論的に導かれる結果を、一方では経験に照して批判し、一方では実作業の測定方法、測定結果の整理方法の基準として利用することが必要である。本論文に於ては、作業の手待ちと言う現象から導かれる2~3の問題を扱い経験者の御批判を願いたいと考えている。

2. 2口荷役の荷役能力

ある長さのハッチで2口荷役が行われる場合、Boomが固定されているか、振回されるかで相互の干渉度は当然異なる。ハッチの長さによつて干渉度の異なることは前述の通りである。然し夫々の方法に対し2口荷役を行いうる最小寸法に近い場合には、両Gangの作業は交互に行われる。此の為、毎回の作業時間は、変動する両Gangの作業時間のうち大きい方で決定され、はやく終了した方は相手方の作業の終了を待たなければ次のCycleを開始することは出来ない。此の為、両手で夫々別個の作業を行う場合にみられる様な作業の手待ちの現象が生じ結局作業時間の増大、従つて作業能率の低下がみられる。

前Gangと後Gangとの作業が同一のハッチで行われる場合の平均作業時間 T_m は、各要素作業が t で終了する確率密度 $f_1(t)$ 及び $f_2(t)$ が定めれば、次の如く決定される⁴⁾。

* 原稿受付、昭和30年7月11日

** 東京大学助教授

*** 本研究は文部省科学研究費の補助を受けたことを記し謝意を表す。

$$\left. \begin{aligned}
 T_m &= \int_0^{\infty} f(t) t dt \\
 \text{但し } f(t) &= F_1(t) f_2(t) + F_2(t) f_1(t) \\
 F_1(t) &= \int_0^t f_1(t) dt, \quad F_2(t) = \int_0^t f_2(t) dt
 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

2.1 作業が単作業の場合 作業のネックが1個所である場合及び数个所あつても1個の他はその程度が弱い場合、作業は略単作業と認められる⁵⁾。同一ハッチの場合、前方の口と後方の口とでは正味時間、変動時間の平均とも略等しいと考えられるから、正味時間を a 、変動時間の平均を $1/\lambda$ とすれば、

$$T_m = (a + 1/\lambda) + \frac{1}{2\lambda} \quad (2)^4$$

各種荷役作業の実測より⁵⁾、 a と $1/\lambda$ との割合は 1:2~2:1 の範囲にあるとみなされるから、

$$T_m = (1.17 \sim 1.33) T \quad (3)$$

但し $T = a + 1/\lambda =$ 各 Gang が単独で行われたときの平均作業時間

a と $1/\lambda$ とが等しく、作業能率の最高点附近にあるとすれば、

$$T_m = 1.25 T \quad (3)'$$

故に、2口荷役の場合の荷役能力は、1口の場合の

$2/1.17 \sim 2/1.25 \sim 2/1.33$ 即ち、1.7~1.6~1.5 倍になる。

2.2 作業が単作業でない場合 機構的に簡単な作業、例えば鋼材の積込・荷揚げ作業、グラブによる石炭や鉱石の荷役作業などは前節の方法で近似しうるが、一般に解荷役や、直接貨車とり作業などでは同程度とみられるネックが2個あるいはそれ以上存在する為、荷役時間の分布は簡単な指数型でなくなる。此の場合一般的には幾つかの指数分布の代数和の形をとるが、その代表的なものはガンマ分布である⁶⁾。

$$f_i(t) = \frac{\{\lambda_i(t-a_i)\}^{k_i-1} e^{-\lambda_i(t-a_i)}}{(k_i-1)!} \lambda_i \quad (4)$$

但し $i = 1$ 又は 2 。

a_i は正味作業時間

k は構成単作業の数

$1/\lambda_i$ は構成単作業の平均変動時間、則ち k/λ_i は作業 i の変動時間の平均。

(1)と(4)を用いれば手待ちを含んだ荷役作業時間が計算されるが一般式は複雑であり、作業の概況を把握するのに便利でもない。 k が 1 及び 2 の場合に対し前節と同じく、正味作業時間と変動時間の平均とが等しい場合の結果を示せば、

$$\text{a) 両作業とも } k=1 \text{ のとき} \quad T_m = 1 \frac{1}{4} T = 1.25 T$$

$$\text{b) 一方は } k=1, \text{ 他は } k=2 \text{ のとき} \quad T_m = 1 \frac{2}{9} T = 1.22 T$$

$$\text{c) 両方とも } k=2 \text{ のとき} \quad T_m = 1 \frac{3}{16} T = 1.19 T$$

即ち2口荷役の合計作業量は a) 1.60, b) 1.64, c) 1.68 となり k が増せば荷役能力は向上するが、その変化は、前節の $a:1/\lambda$ の変化に対するものよりはるかに少い。

この結果より、両 Gang の作業時間の分布型に多少の差はあつても、能率が良好な場合には、2口荷役の能力は1口の場合に比し、1.5~1.7 倍になる。

まれに、1つのハッチで3口荷役を考える場合もあるが⁷⁾、艙内作業に十分の余力があるとしても平均作業時間は上と同様な場合、

$$\begin{aligned}
 T_m &= 3 \int_a^{\infty} \{-e^{-\lambda(t-a)}\}^2 \lambda e^{-\lambda(t-a)} t dt \\
 &= a + \frac{1}{\lambda} + \frac{5}{6} \frac{1}{\lambda}
 \end{aligned}$$

となり、 $a=1/\lambda$ のとき作業時間は1口の場合に比し $5/12$ 延長する。即ち能力は、上と同様にして 2.12 倍にな

るだけである。さらに一般には艙内作業が之に追いつけない事を考えれば、3口荷役は荷役能力の向上にはほとんど、役に立たない⁶⁾。ハッチの片側にウインチ及びブームを3箇宛装備する事の利点は、この内1対を艙内作業用に専用出来ると言うことで、之は後述の如く、ウインチ作業を中断すること無く、艙内の運搬作業時間を短縮出来て、全荷役時間の短縮の効果は著しい。

3. ホールドの長さが荷役能力に及ぼす影響

3.1 積付位置とウインチ作業及艙内作業時間の関係 グレーン・カーゴ除き船荷は艙内に卸されてから所定の場所に積付けられる。ブームの直下、あるいは其の附近のハッチ・スクエア内では、ウインチで積付位置の近傍に卸し得るので、艙内作業時間は後始末的な積付時間だけである。此の時間は荷物の種類、作業員の技倆、作業条件などには関係するが、移動距離には関係せず*、確率的に毎回の作業時間がきまる附随作業である。ハッチ・スクエアから外れれば、此の他に一定距離の人力又は機力による運搬作業が加わる。運搬作業時間は距離に関係し、運搬方法及び被運搬物がきまれば、正味の移動に要した時間は変動の比較的少い所謂正味作業時間である。ウインチ作業時間は、貨物格納の上下位置が著しく変化しなければ、捲揚げ捲卸しの時間は略一定である。また艙内作業の補助に用いられるときは、同一の貨物に対して其の部分の時間だけ艙内作業と重複して用いられるから、ウインチ作業時間から除外して考えて差しつかえ無い。故に、ウインチ作業時間は積付位置に関係せず、その平均値は一定とみなす事が出来る。さらに正味の空間的移動に要する正味時間と、接地、方向変換などに要する附随作業時間(変動時間)の平均値とが、効率の良好な作業の場合には略等しい。

従つて、ホールドの長さ方向の位置と、ウインチ作業及び艙内作業が夫々単独に行われた場合の平均値との関係は第1図の如くなる。

人間の判断に基く作業に於ては、或る程度自動的な調整が行われ、明かに艙内作業が長時間かかる場合は、艙内の作業人員を増したり、艙内の運搬作業にウインチを用いたり、ウインチ速度に手加減を加えたりする為、第1図の関係が其のまま当てはまらない場合も生ずるが、作業機構の根本的な性質に影響を及ぼすものではない。

3.2 運搬距離 x に対する荷役時間の平均値 ブームの直下を原点にとり、貨物積付位置を x 、艙内及びウインチ作業時間の平均値を次の如く仮定する。第2図。

	正味時間	変動時間の平均	合、計
艙内作業時間	αx	T_0	$T_H = T_0 + \alpha x$
ウインチ作業時間	T_{w1}	T_{w0}	$T_w = T_{w0} + T_{w1}$

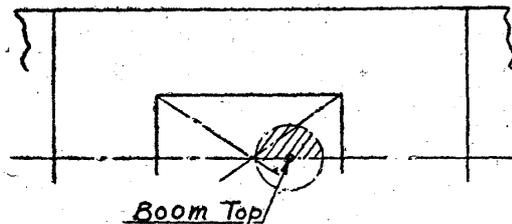
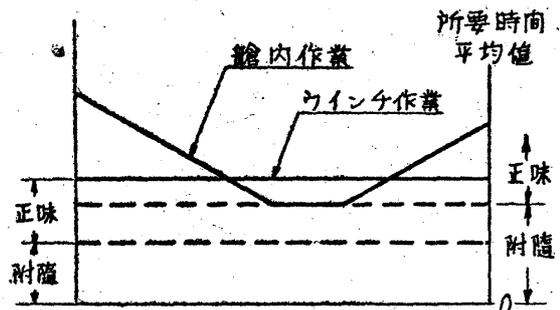
両作業とも単作業とすれば、艙内作業及びウインチ作業が $t=0$ で開始されたとき、 t と $t+dt$ の間で終了する確率 $f_1(t)dt$ 、 $f_2(t)dt$ は次の如くなる。

$$f_1(t) = \begin{cases} 0 & t < \alpha x \text{ のとき} \\ \frac{1}{T_0} e^{-\frac{t-\alpha x}{T_0}} & t \geq \alpha x \text{ のとき} \end{cases}$$

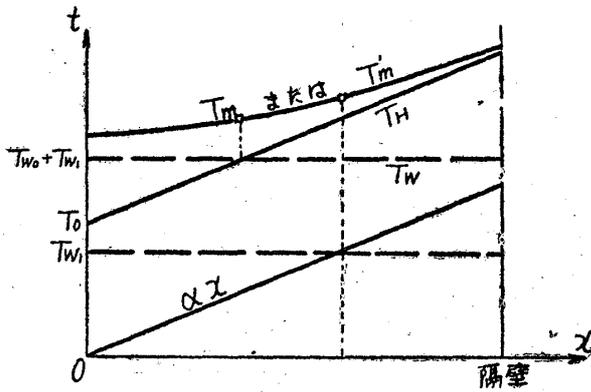
$$f_2(t) = \begin{cases} 0 & t < T_{w1} \text{ のとき} \\ \frac{1}{T_{w0}} e^{-\frac{t-T_{w1}}{T_{w0}}} & t \geq T_{w1} \text{ のとき} \end{cases}$$

(1)式を用いれば1回の荷役時間の平均値 T_m 及び T_m' は、

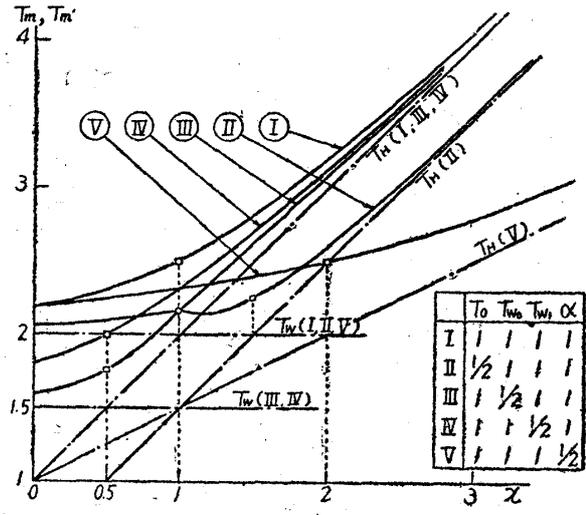
* 毎回の作業で移動距離も変化するし、場合により最終的な位置と反対側にうごかす事もありうる。要するに或る距離の移動が目的で無く、一定の場所への定位が目的で、移動距離の影響は他の因子による変動の中へ隠されてしまう。



第1図



第2図



第3図 積付位置xと1回の荷役時間の平均Tm及Tm'

$$\left. \begin{aligned}
 T_m &= T_{w1} + T_{w0} + e^{-\frac{T_{w1}-\alpha x}{T_{w0}}} \left(T_0 - \frac{T_0 T_{w0}}{T_0 + T_{w0}} \right) \quad \text{但し } T_{w1} \geq \alpha x \\
 T_m' &= T_0 + \alpha x + e^{-\frac{\alpha x - T_{w1}}{T_0}} \left(T_{w0} - \frac{T_0 T_{w0}}{T_0 + T_{w0}} \right) \quad \text{但し } T_{w1} \leq \alpha x
 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

T_m, T_m' の数値計算例を第3図に示す。図から分る如く、ブーム直下よりある範囲 ($T_w = T_H$ を□印で、 $T_{w1} = \alpha x$ を○印で示す) は、略ウインチ作業時間 T_w に若干の余裕をもつて定まり、ある範囲を越すと艀内作業時間、 T_H に一定の余裕をもつて決定される。其の間では単独の場合の作業時間 T_w 及び T_H からとるべき余裕が大きくなる。

(5)式を微分して T_m 曲線の傾斜を求めれば、

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{d T_m}{d x} &= \frac{\alpha}{T_{w0}} \frac{T_0^2}{T_0 + T_{w0}} e^{-\frac{T_{w1}-\alpha x}{T_{w0}}} > 0 \\
 \frac{d T_m'}{d x} &= \alpha - \frac{\alpha}{T_0} \frac{T_{w0}^2}{T_0 + T_{w0}} e^{-\frac{\alpha x - T_{w1}}{T_0}}
 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

第2式は $x = T_{w1}/\alpha$ 即ち両式の移り変りの点に於て

$$\frac{d T_m'}{d x} = \frac{\alpha}{T_0(T_0 + T_{w0})} (T_0^2 + T_0 T_{w0} - T_{w0}^2)$$

故に $\frac{T_0}{T_{w0}} < \frac{\sqrt{5} - 1}{2} = 0.6180$

ならば T_m' の傾斜は負となり、 x がさらに増大して再び正になる。(第3図II参照) 即ち x の広い範囲にわたつて、作業時間の増加が少い。

第3図Vの場合、即ち艀内の運搬速度がはやい場合、 x の大きな値に対する作業時間の減少は非常に著しい。ウインチ自体の性能を向上して(操縦性を良くしたり、容量を大きくしたりする事により)得られる荷役時間の短縮は、第3図III及びIVに示す如く、 x の小範囲に限られており、II、Vの如く広範囲における優位を保ちえない。積付及び解荷(Break out)が荷役速度を左右する主な原因である⁹⁾とすれば、通常存在しうる x の範囲は第3図から $x = 2, 3$ あるいはそれ以上である事が推定され、殊に人力作業の場合は、作業開始後4~5時間で疲労の為艀内作業速度が低下する⁹⁾(即ち α が増す)ことを合せ考えれば、荷役能力の増大を図る方法は、ウインチ作業の改善では無く、V或いはIIの方法で艀内作業時間を短縮することが第一に必要なことが知られる。

3.3 総作業時間(Gang Hour)及び単位時間当りの平均荷役量とホールドの長さとの関係 ホールドの長さ方向のみを問題にする場合、即ち問題が一次元の問題として扱おうるときには総作業時間(Gang Hour) M は次の如く求められる。

$$M = \int_0^x T_m dx$$

(5)の値を用いれば、 T_m の形が $x \cong T_{w1}/\alpha$ で変化するから、

- $x < T_{w1}/\alpha$ の間の総作業時間 $M(x)$
- $x = T_{w1}/\alpha$ の時の総作業時間 M_0
- $x > T_{w1}/\alpha$ の間の総作業時間 $M'(x)$

とすれば、

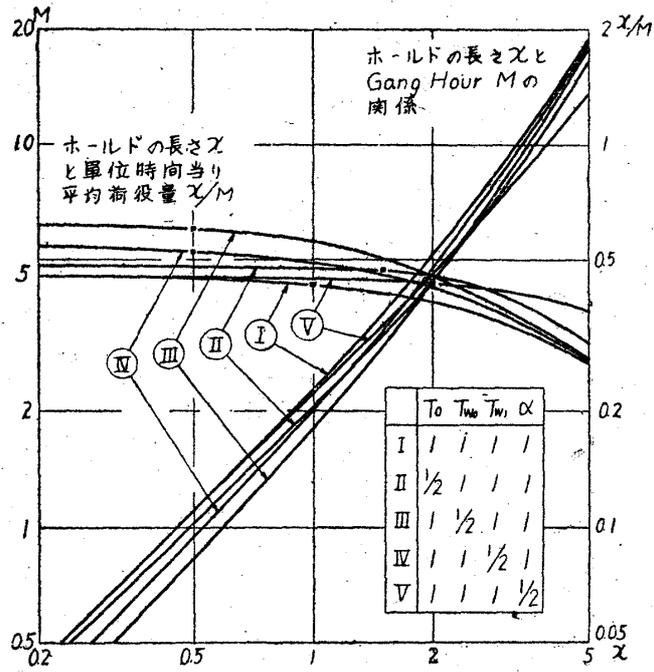
$$\left. \begin{aligned} M(x) &= (T_{w1} + T_{w0})x + \frac{T_0^2 T_{w0}}{\alpha(T_0 + T_{w0})} e^{-\frac{T_{w1}}{T_{w0}} \left(e^{\frac{\alpha x}{T_{w0}}} - 1 \right)} \\ M_0 &= \frac{T_{w1}(T_{w1} + T_{w0})}{\alpha} + \frac{T_0^2 T_{w0}}{\alpha(T_0 + T_{w0})} \left(1 - e^{-\frac{T_{w1}}{T_{w0}}} \right) \\ M'(x) &= M_0 + T_0 \left(x - \frac{T_{w1}}{\alpha} \right) + \frac{\alpha}{2} \left(x^2 - \frac{T_{w1}^2}{\alpha^2} \right) + \frac{T_0 T_{w0}^2}{\alpha(T_0 + T_{w0})} \left(1 - e^{-\frac{\alpha x - T_{w1}}{T_0}} \right) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

第3図に対応する数値計算例を第4図に示す。

貨物の量は x に比例するから (一次元の問題のとき) x/M は単位時間当りの荷役量で、 x が大きくなれば第4図に示す如く低下する。

第3図から当然推定される様に、 $M \sim x$ 曲線は x が小さい所では、略 M は x に比例し、 x の大きい値に対しては M は x^2 に比例する。幅が長さと同じ影響を与える場合、即ち円形のホールドの中心にブームの頂点がある様なときには、 M は $x^2 \sim x^3$ に比例する。故に幅の影響を考えれば、第4図の x 目盛がそれだけ疎になつたと考えれば、Gang Hour とホールドの長さとの関係並びに単位時間当りの荷役量のホールドの長さとの関係が近似的に論ぜられる。

図中 ■印はウインチ作業時間と、艙内作業時間の均衡点で、此の値の2倍までは荷役能力の低下は著しくない。また、荷物の種類により、当然図中の I~V 以上の広範囲の変化が起りうるが、之にくらべて、或る船におけるホールドの長さの比は大きくても2以下であるから、普通の場合、ホールドの長さの影響は貨物の種類による変化の中にかくされてしまい、ホールドの長さによる荷役能力の差のあるとは概念的には認められても荷役実績 (例えば Stevedore Report など) から此の差を引き出すことは困難である。また詳細な Time Study を行つても、測定回数及び信頼度との関係で⁵⁾；さらに、一般の長さの異なる各ホールドに同種の貨物のみを積む撤荷の場合にはウインチ作業の手待ちが比較的少い第4図の II, V の如くなり、ホールドの長さによる差が無いであろうし、III, IV の如く差の出る雑貨の場合は、各艙に同じものを積んでいる事は少いであろうと考えられるので、実績から数量的に求める事はむづかしい。



第 4 図

3.4 ハッチの長さの影響 特に長大な鋼材や木材を船内に入出させる場合には、ある長さ以下のハッチでは事実上扱えない場合も生ずる。然し普通の大きさの荷物に対しては、ハッチの長さはウインチ作業の便不便には直接関係しない。

ハッチの長さが大きくなれば、

- A. 隔壁までの距離が小さくなり、艙内作業特に正味の運搬作業量が減少する。之にともない Topping を自由に变えうれば、積付位置へ直接積み込み、又はそこから直接陸揚げしうる (Spotting) 部分が増加する。
- B. 2口荷役の場合の前後 Gang の相互干渉度が減少する。

C. ウインチ作業と艙内作業との中間に一時置場として利用しうる面積が得られる事になり、両作業間の手待ちが減少する。

などの利点が考えられる。その他隔壁までの距離が非常に長い場合、殊に中甲板貨物室などでは、一旦荷物を甲板上に卸した後、特別の綱どりをして格納位置に引込まねばならぬ様な場合も生ずるが、此の問題は除外して今は扱わないことにする。

A. “移動距離の短縮”は第3図の x の大きい所を削り、 $x=0$ の部分をそれだけ増した事になる。従つて隔壁迄の距離が非常に大きい場合には1フレームでも2フレームでもハッチを延せば、最大の所要時間を節減出来るが、大型船の場合の如く、むしろハッチから船側迄の距離の方が大きい様な場合にはそれ程有効では無い。

C. “一時置場として利用しうる面積が生れる”は⁴⁾、一時置場の効力が、

イ. 一時置場を、0から1にする事は最も有効であるが、さらに増加させる場合の有効性は急激に減少する

ロ. 一時置場の有効性は、両作業の平均作業時間が等しいとき最も有効であるが、平均時間に或る程度差がつけば有効性は急激に減少する。

から、各ブーム下に標準の大きさの貨物を2個宛置きうる場所があれば十分である。此の寸法は8呎角の石炭畚に例をとれば拵げた時の対角線の長さとし、まとめた時の大きさ5呎に若干の余裕をとつて、2口荷役の場合のハッチの必要長さは10~11mとなる。

4. 結 語

作業の手待ちと言う現象から、2口荷役の能力、ハッチと隔壁(又は積付位置)との距離が荷役時間に及ぼす影響、ハッチの長さや荷役能力との関係を説明した。得られた結果はすべて常識的なもので、目新しいことは無い。また、荷役時間に及ぼす影響は、荷物の種類、港湾荷役機械の性能などにくらべて当然小さい。然しこれは荷役に関しては船は受身の位置にあり、如何なる荷物が如何なる方法で積まれ、扱われるかは正確に予想することは出来ない。船の荷役装置よりも性能の良いものが利用可能の時は当然それに依るであろうが、唯その時に船としては、その設備の優秀性が十分発揮しうる様に、あるいはその設備の邪魔にならない様に、極短な Bottle Neck が生じない様にすることが大切で、むしろ此の点ホールドの配置、ハッチの大きさ等の問題は、港湾設備が可なり利用出来る場合には予備装置的な性格を有する Ship's Gear の性能よりもむしろ大切な問題である。此の意味で船内作業能力を増強し、雑貨荷役作業の Bottle Neck を除こうと言う方向に進むのは当然であり、此の為、艙内における Fork Lift Truck の利用¹⁾、Twin Hatch による船内移動距離の縮小²⁾、U. S. Army Transprot “Private Francis X. Mc Graw” に実験的に採用された Rolling Wing Deck³⁾、簡単な設備の Wing Loader⁴⁾ または艙内作業用のウインチ(並びにデリック)の増設などが或いは実施され、或いは計画されている。

前述の通り、船の荷役作業には各種の因子が影響を及ぼしそのうち1つ、2つだけ取出しても、他の影響による変化の中にかくされてしまうものが多い。然し、統計的に考えれば、良いものと悪いものの差は必ず現われしかも、船の一生の半分以上が停泊時間であることを考えれば其の影響は非常に大きい。

会員諸氏の御批判により、今後の研究に対する指針が得られれば幸である。

参 考 文 献

- (1) Cargo Handling and Its Relationship to Oversea Commerce by Arthur C. Rohn S. N. A. M. E. 1945
- (2) 船舶の輸送能力とその経済的限界, 前野政之助, 海事研究会
- (3) Note on Cargo Handling By F. G. Ebel S. N. A. M. E. Bulletin Feb. 1954
- (4) 作業の手待ちについて 平本文男 造船協会論文集 98 号
- (5) 荷役能力に就て 平本文男 造船協会論文集第 96 号
- (6) An Analysis of General Cargo Handling by L. H. Quackenbush S. N. A. M. E. 1948
- (7) Marine Engineering May, 1935 p. 175 “Cargos Ship Design”
- (8) Speed at Sea and Despatch in Port bP W. Mac Gillivray T. I. N. A. 1948
- (9) Speed Cargo Handling, Sb. & S. R. Jan. 5, 1950. p. 15
- (10) Schiff und Hafen. Okt. 1954, S 642