

直列待ち行列モデルの活用による港湾貨物に対応した望ましい施設整備水準の検討*

Study on a Level Index of Port Facilities Using a Tandem Queuing Model

森 浩**, 波多野 匠***

By Hiroshi MORI, Takumi HATANO

1. はじめに

従来、所要の港湾貨物需要に対応した望ましい港湾の整備量の指標として、貨物需要量を岸壁の延長で除したトン／m が用いられ、港湾計画策定時の大凡の目安としては約 1000 トン／m が用いられてきたところである。この根拠としては、船舶の到着と岸壁における港湾荷役能力から、確率分布を考慮し、待ち行列理論を用いて、船舶の滞船に伴う損失と、岸壁の整備のコストの比較により算定されたものと考えられている。しかしながら、近年、船舶の著しい大型化に伴い、一度に輸送される貨物量も大幅に増加しており、岸壁の延長もさることながら背後のヤードの不足が問題になっている事例が多く見られる。したがって岸壁とヤードを組み合わせた整備水準の検討が必要であり、これは待ち行列理論では直列待ち行列に相当する。

このため、本稿では、直列待ち行列のコンピュータ・シミュレーションを実施し、ヤードの制約を考慮した一般貨物対応の港湾施設の整備水準（岸壁の整備量）の検討を行ったものである。

2. 従来の考え方

従来の港湾の適性な整備水準とされている岸壁延長 1 m 当たり 1000 トンという数字は、船舶到着時に他の船舶が岸壁を占有することに伴う滞船による損失と、逆に岸壁数が多すぎて岸壁が使われないという港湾の遊休損失のバランスによって定まる。具体

的には滞船と遊休の両方の損失の合計を最小とする貨物量を港湾の適性な貨物量として設定している。

ある港湾について岸壁数の不足による年間の滞船損失を C_1 とすると、

$$\begin{aligned} C_1 &= \text{年間総待ち（接岸待ち）日数} \times 1 \text{ 日当たり船舶価値} \\ &= 1 \text{ 隻の平均待ち日数} \times \text{年間入港隻数} \times 1 \text{ 日当たり船舶価値} \\ &= 1 \text{ 隻の平均待ち日数} \times (\text{日到着率} \times 365) \times 1 \text{ 日当たり船舶価値} \\ &= 1 \text{ 隻の平均待ち日数} \times \text{日到着率} \times \text{年間船舶価値} \end{aligned}$$

待ち行列理論より、「平均滞船隻数＝日到着率×1 隻の平均待ち日数」であるから、

$$C_1 = \text{平均滞船隻数} \times \text{年間船舶価値}$$

となる。

一方、港湾の遊休による年間の損失 C_2 を、岸壁の空きによる損失と考えると、

$$C_2 = \text{平均空きパース数} \times \frac{1 \text{ 岸壁の整備費用}}{\text{岸壁耐用年数}}$$

である。

よって、

$$\begin{aligned} \text{総損失 } C &= C_1 + C_2 \\ &= L_q \times \text{年間船舶価値} + L_s \times \text{年間岸壁償却費用} \end{aligned}$$

となる。

ここで L_q （平均滞船隻数）と L_s （平均空き岸壁数）のいずれも当該港湾の岸壁数の関数であるから、年間到着需要および処理能力を外生的に与えると最適な岸壁数が定まる。最適な岸壁数と年間到着需要及び岸壁延長より適正な整備水準（岸壁延長 1 m 当たりの取扱貨物量）が定まる。

3. 今回の検討の考え方及びモデル

今回の検討では、港湾におけるヤードの不足による制約を考慮するため、図-1 にあるような港湾における輸送システムのうち、従来の検討対象であつ

* キーワード：港湾計画

**正会員 工博 (株) 三菱総合研究所
社会システム部交通システム室長 (〒 100-8141 東京都千代田区大手町 2-3-6 Tel 03-3277-0709)

***正会員 工修 運輸省港湾技術研究所
計画設計基準部主任研究官 (〒 239-0826 神奈川県横浜賀市長瀬 3-1-1 Tel 0468-44-5035)

た S_1 及び S_2 に加えて S_3 も対象に加わることになる。
 なお、背後道路の輸送制約については、問題とする範囲が港湾の範囲外にも及ぶこと、港湾以外の外的要素に影響されることから、対象からはずしている。
 (一般的に港湾直背後の道路がターミナル輸送制約となっている事例はコンテナ貨物以外ではほとんど存在しない。)

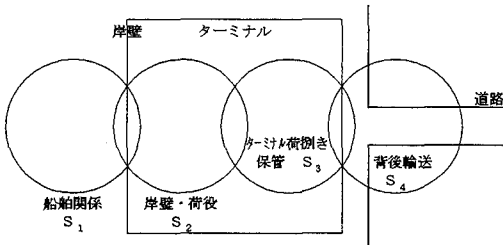


図-1 港湾における貨物輸送システム

分析の対象はヤードの制約を考慮するため、輸入貨物とする。荷役能力やヤードの容量制約等によってターミナルの流通が滞ることになる。(図-2)

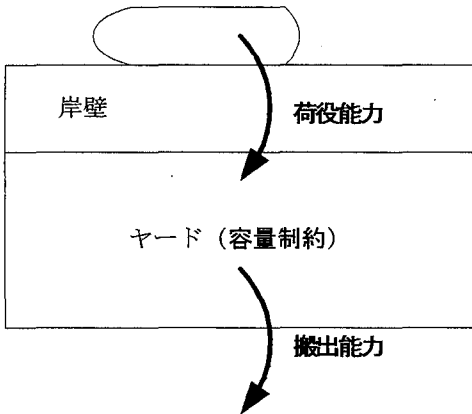


図-2 ターミナルでの物流能力の制約

港湾の貨物については、品目も雑多であり、また、荷姿も多種多様であるので、本来ならば実態に即したシミュレーションを行うことが理想的であるが実態の完全な再現が困難であることなどから、本研究では貨物流動の実態を参考にモデル及び条件設定を理想化して次のように行った。

対象貨物……………原木(公共ターミナルで取り扱われる外貿バラ貨物の最大

の品目である)

対象船形……………3万トン(DWT)クラス
 積み卸し貨物量…満載貨物の1/1、1/2、1/3で
 検討
 滞船損失……………1日当たりの滞船損失をヒア
 リングデータをもとに設定
 岸壁整備費用……実績値をもとに設定。なお、
 今回はヤードは制約条件とし
 てのみ検討し、ヤードの整備
 費用は考えない。
 荷役効率……………原木の取り扱い能力実態のヒ
 アリングをもとに設定
 ヤードの滞留……需要貨物量を年間で平均的に
 搬出する場合の1.5倍の速度
 で搬出されるとする。

4. 適正整備水準の推計の考え方

所要の年間貨物需要量と岸壁数の組み合わせに対して、岸壁の整備費用+滞船損失を算定し、この値を最小とする岸壁数が、与えられた貨物需要に対する適正な岸壁数である。(図-3 参照)

ここでは適正なパース数が2パースから3パースに移行する時の貨物需要(トン)/岸壁延長(m)を適正な整備水準として算定した。なお、滞船は、岸壁が塞がっていたり、岸壁には着岸できる状態であるが、降ろした貨物をヤードに蔵置する余裕がない場合に発生することとした。

なお、ランダム性は次のように設定した。

到着分布 : 各船舶がランダムかつ独立に到着(ポアソン到着)

荷役時間分布: 荷役能力の逆数をアーラン分布(指数=2)とする。

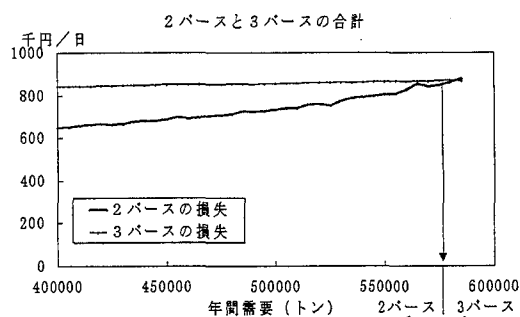
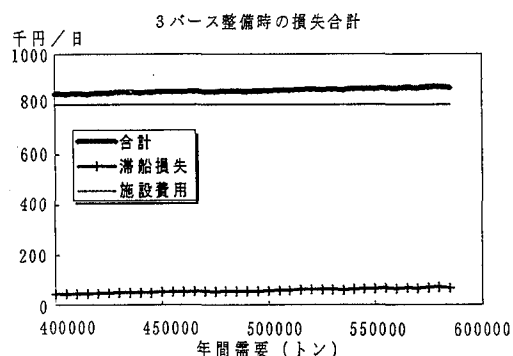
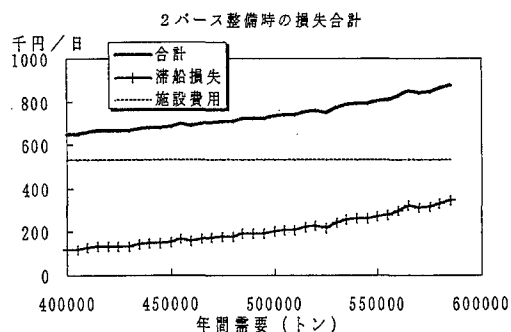


図-3 適正な岸壁数の考え方

5. 検討結果

原木を例にとって検討した結果、3 万トンクラスの船が満載で到着した時に背後のヤード制約がほぼなくなるのは、ヤードの奥行がおおむね 600m 以上確保された場合となった。また、適正な整備水準の値は、荷役の能力に依存し、能力が大きいほど適正な整備水準の値は大きくなる。(図-4 参照)

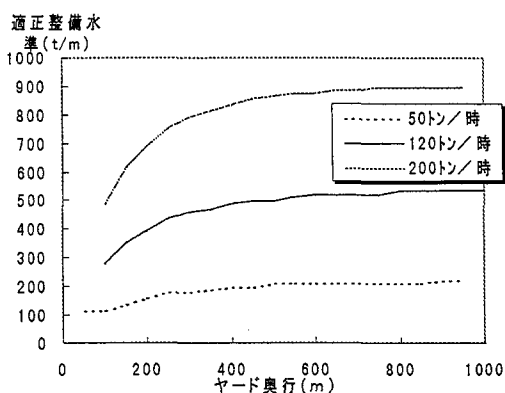


図-4 荷役能力の変化による適正整備水準 (3万DWT満載)

ヤードの制約がない場合には、1 回に多くの貨物を卸す方が効率的であり、満載での荷卸し、あるいは大型船の着岸が好ましいが、ヤードに制約があると、こまめに入港する方が損失は小さい結果となった。図-5 はヤードの奥行きに制約がある場合、満載ほど、すなわち一度に輸送する量が多いほど、ヤードの影響が深刻化することを示している。荷卸し量が小さければ、ヤードの制約も小さくなる。(図-5 参照)

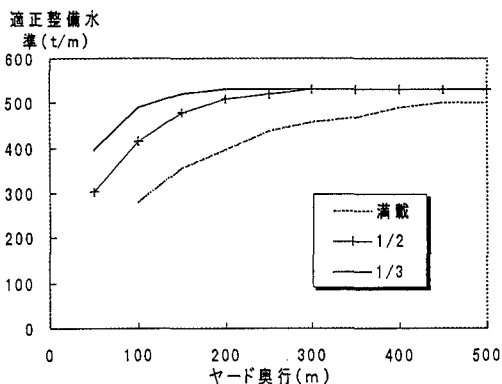


図-5 1隻当りの荷卸し量の変化による適正整備水準 (3万DWT満載、荷役能力120トン/hの場合)

ヤードの奥行きが短くなれば、ヤードの容量制約を受けるため適正な整備水準が低下する。

制約がなくなるヤードの奥行き（安定した奥行き）に対する実際のヤードの比率と適正水準の低下の関係は図-6 のようになる。

安定した適正整備水準に対する実際の適正水準の比率

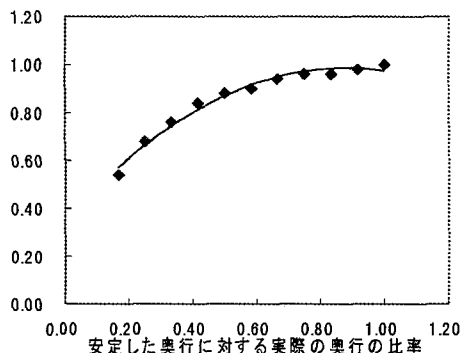
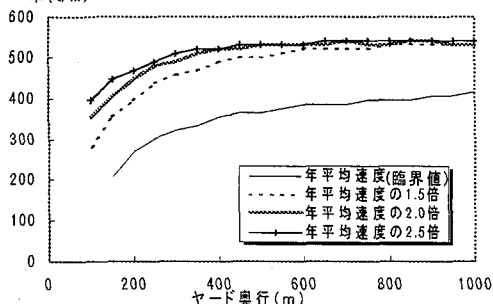


図-6 奥行の減少と適正水準の減少の関係
(3万DWT満載、荷役能力120トン/hの場合)

また、ヤードからの搬出速度の大小も整備水準に影響し、搬出速度の臨界値（貨物が均一に搬出される速度）に近づくとも適正な整備水準が低下する結果となる。（ヤードが保管機能を有すると考えると、搬出がヤード最適化のみで行われるとするならば臨界値での搬出に近いと考えられる。）（図-7）

図-7 ヤードからの搬出速度の変化による適正整備水準

適正整備水準 (t/m)



(3万DWT満載、荷役能力120トン/hの場合)

6. 本検討のまとめと今後の検討

今回の検討では、従来の研究では重視されていなかったヤードの制約に注目し、ヤードの容量（奥行）やヤードからの搬出能力が、港湾の適正な整備水準に大きく影響することを示した。適正な整備水準は、このほか1回当たりの荷卸し量や荷役能力にも依存する。港湾の策定計画時に利用するためには、より現実的なパラメータ設定を行うとともに、基準か等（例えばトン/㎡など）によってわかりやすく指標を作成することが必要となる。

すなわち、今後の検討としては、以下の項目について行う必要があると考えられる。

- ①ヤードや各種能力を、可変パラメータとした場合における様々な岸壁及びヤードの適正な整備の算出
- ②岸壁及びヤードの制約を踏まえた新しい整備指標の設定及びその標準的な値等の導出
- ③より港湾の実態に即したモデルによる検討

なお、今回の検討では、一般バラ貨物を検討の対象としたが、近年の港湾輸送の主流となっているコンテナ貨物については以下の理由等で、全く別の取り扱いを行う必要がある。

- ①コンテナ輸送は、運航スケジュールが船会社によって管理されており、バースも船会社が借り受けて、スケジュール管理を行っていることが多いこと。
- ②コンテナ貨物の荷役効率は、通常貨物と比べて著しく高く、同列の比較ができないこと。
- ③コンテナ貨物の場合、滞船損失よりむしろ貨物の滞留に伴う損失が無視できないこと。

したがって、コンテナ貨物に対しては従来の考え方とは異なる検討が必要である。

【参考文献】

- 1) 長尾：大学講座土木工学 19「港湾工学」、共立出版、昭和43年4月
- 2) 奥山、口田：待ち合わせ理論による最適バース数の決定、港湾技術研究所報告 vol.16, No.3, 1977.9