

東北大学 ○正員 湯 沢 昭

東北大学 正員 須 田 薫

1・概要 従来、港湾の最適バース数の決定や荷役施設の整備に当っては待ち行列理論が幅広く利用されてきた。これは、船の到着分布と荷役等のサービス分布を考え、船舶や貨物の待ち時間による損失を最少にするような施設の整備を目的としたもので、 $M/M/S$ 、 $M/E_k/S$ 型等の待ち行列理論が応用されている。しかし、近年我が国においては、避へいのない外海においてシーバースの建設が行なわれており、滞船による待ちだけではなく、波浪による待ちも考慮し、シーバースの設計を行なう必要があるものと思われる。本研究は、波浪の影響を受ける外海シーバースの待ち行列を考え、波浪予測によるサービス中の超過確率及び、作業限界波高を考慮しない場合との比較検討を行なったものである。

2・分析方法 本研究の全体の流れを(図・1)に示す。本報告では実際の状況を出来るだけ再現することを目的としているため、計算機によるシミュレーションにより待ち行列の計算を行なった。以下に計算に用いたデータ、仮定について述べる。

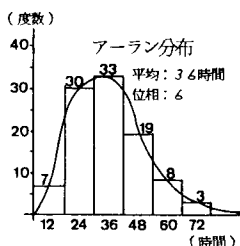
(1) 入港船舶数→年間20隻から180隻まで一様乱数により発生させる。バース数は1バースとする。

(2) サービス時間→バースの待ち時間の計算には(図・2)に示す分布形を用い、超過確率の算定には単位分布を用いる(1/2時間から7/2時間まで1/2時間間隔)。

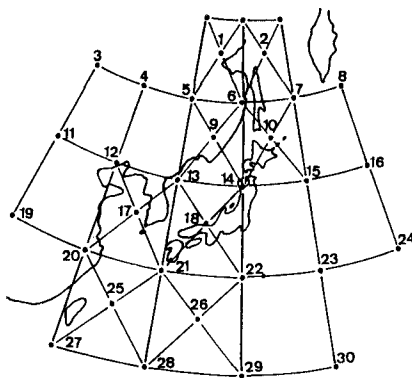
(3) 波浪予測→波浪データ(北東北A港)と気圧データ(印刷天気図)より線形重回帰分析を適用し、波浪予測式を作成した⁽¹⁾。サンプルは、昭和47年から52年までの6年間(9時と21時の1日2回)の合計4384個の有義波高と気圧データ(図・3)より予測式のパラメータを求めた。なお予測式の精度を検定するため昭和53、54年の600サンプルにより予測を行なった結果(図・4)、1/2時間後予測で残差を $\pm 50\text{cm}$ とすると89%の的中率を得た。

(4) 作業限界波高→ここでは、サービス時間内の予測有義波高が1.5m以下の場合サービスを行ない、サービス時間内に一度でも1.5m以上と予測した場合は待ち行列に加わるものとする。

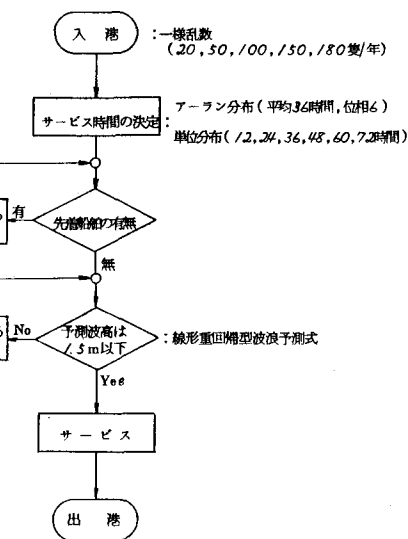
(5) サービス時間内の超過確率→サービス時間内の有義波高を1.5m以下と予測してサービス時間内に1.5m以上の有義波高が生じた場合を超過波高



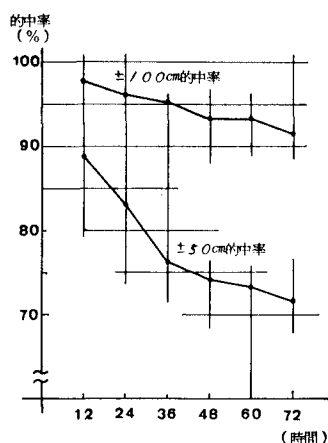
(図・2) サービス分布



(図・3) 気圧データのポイント



(図・1) シミュレーションのフロー



(図・4) 波浪予測式の精度

とし、4段階の波高（1.5, 2.0, 2.5, 3.0m）を考え、各波高以上に遭遇する比率をもって超過確率とする。

(5) シミュレーションの回数→シミュレーションは、昭和53年/月/日より/2月3/日までの730ポイント（/2時間間隔）を考え、入港船舶数を年間20, 50, 100, 150, 180隻とし、乱数の始点を変化させ、各300回行なった。

3・待ち行列と超過確率 作業限界波高を1.5mとした場合と、作業限界波高を考慮しない場合のバス待ち確率累積分布曲線を（図・5, 図・6）に示し、また平均バス待ち時間と年間入港船舶数の関係を（図・7）に示す。（図・5）（図・6）より、例えば年間150隻の入港を考えると、作業限界波高を考慮しない場合には、その50%が待ち時間なしでサービスが受けられるのに対し、作業限界波高を1.5mとし波浪予測を考慮した場合には、その値が32%まで低下する。また平均バス待ち時間も2.5時間から4.77時間に増加することが判る（図・7）。

次に波浪予測時間の変化に対する超過確率を検討するため、年間入港船舶数を150隻に固定し、サービス分布を単位分布（1.2, 2.4, 3.6, 4.8, 6.0, 7.2 時間）とし、超過確率を求めたのが（図・8）である。（図・8）から次のようなことが読みとれる。

- (1) サービス時間が長くなる程、超過確率が高くなる。
- (2) サービス時間が長くなる程、波浪予測の効果が顕著になる。
- (3) サービス中においても常に/2時間, 24時間後の波浪予測を行なうことにより、超過確率を著しく低下することが出来る。

4・経済的年間入港船舶数 本論では、バス数を一基とし、船舶の待ちによる損失とふ頭の遊休による損失、及び荷役による利益を考え、期待損失を最少とすることにより最適年間入港船舶数を決定する。

$$C = (1 - \frac{n}{365\mu}) a_1 + \frac{n}{365} \overline{t_g(n)} a_2 - \frac{n}{365\mu} a_3$$

C: 期待損失額 (円/日)

μ : /日最大可能サービス隻数

n: 年間入港隻数

$\overline{t_g(n)}$: 平均バス待ち時間

a_1 : バス遊休による損失 (円/日)

a_2 : バス待ちによる船の損失 (円/日)

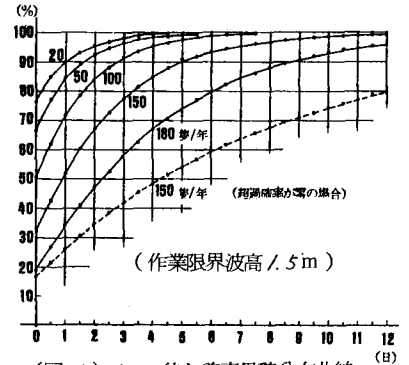
a_3 : 荷役が行なわれた時の利益 (円/日)

5・まとめ

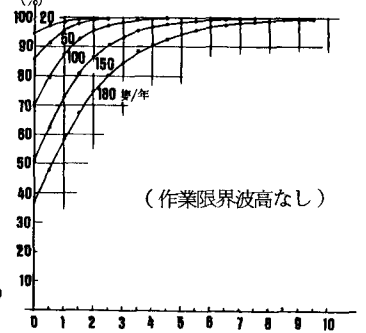
波浪の影響を考慮した場合の外海シーバスの待ち行列について検討を行なった結果、作業限界波高を考えない場合と

比較すると、待ち行列に大きな差が出る事が判った。また波浪予測による超過確率の低下はサービス時間が長い程その効果が大きい。

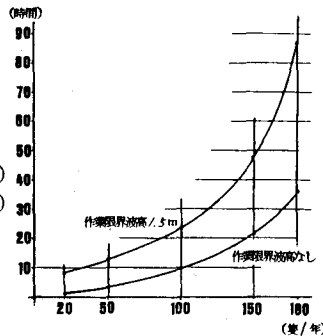
本報告で用いた波浪予測の精度は（図・4）に示したようにまだ十分とはいえず、さらに改良の余地がある。超過確率の低下も波浪予測の精度如何であり、今後の研究課題とする。また、4節の経済的年間入港船舶数については、当日報告する。



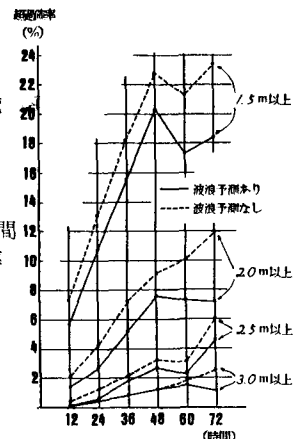
(図・5) バス待ち確率累積分布曲線



(図・6) バス待ち確率累積分布曲線



(図・7) 平均バス待ち時間



(図・8) 波浪予測時間と超過確率

参考文献

(1) 高橋, 須田, 田中「統計的手法による波浪予測に関する研究」

土木学会東北支部技術研究発表会講演概要 昭和57年3月