

IV-18 内陸運河システムの航行安全性の評価法

京都大学工学部 正会員 黒田勝彦
大阪市 正会員 城居 宏

1. はじめに スエズ運河やヨーロッパの内陸運河では、可航幅が狭いため運河を航行する船舶にとっては、潜在的な衝突や乗り揚げの危険性が極めて高い。このような運河について、船舶の航行安全性を定量的に評価する方法は未だ提案されていない。本研究はこのような情勢に鑑み、内陸運河の航行安全性を定量的に評価する方法を、システム信頼度とシステムアベイラビリティの観点から提案するものである。

2. 運河システムの同定 通常、内陸運河は両端に港を有し、ここで運河への進入のための船団を構成する。また、運河の中途には、運河の利用効率を上げるためのバイパスや、船団のすれ違いのための中途泊地等を持っている。さらに、地形的な特性から、直線部分や曲線部分を必然的に持っている。このような運河の各区間における幾何学的特性の差異や機能の差異は、そこで発生する事故の形態の差となって現れるので、運河全体を取扱う場合には、異なる区間の集合として把握する必要がある。即ち、自然条件や機能の異なる運河の部分はそれぞれをユニットとみなし、運河全体はこれらのユニットの集合したシステムと捉えることができる。図-1はスエズ運河を例に、実際の運河をいくつかのユニットに分解し、これを連結してシステムとした例である。

3. 改修計画の手順 図-2は、本研究の評価法を用いた改修計画の手順である。ここでは、運河の航行安全性を、外生的に与えられる許容リスクレベルおよび許容アンアベイラビリティを基準に、操作可能変数の改善によって有効なシステム改善方策

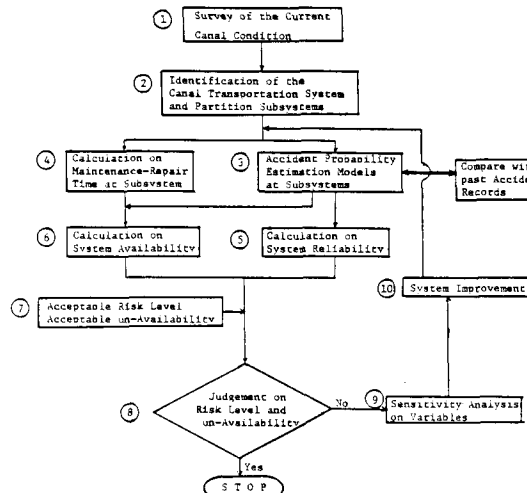


図-2 運河改修計画の手順

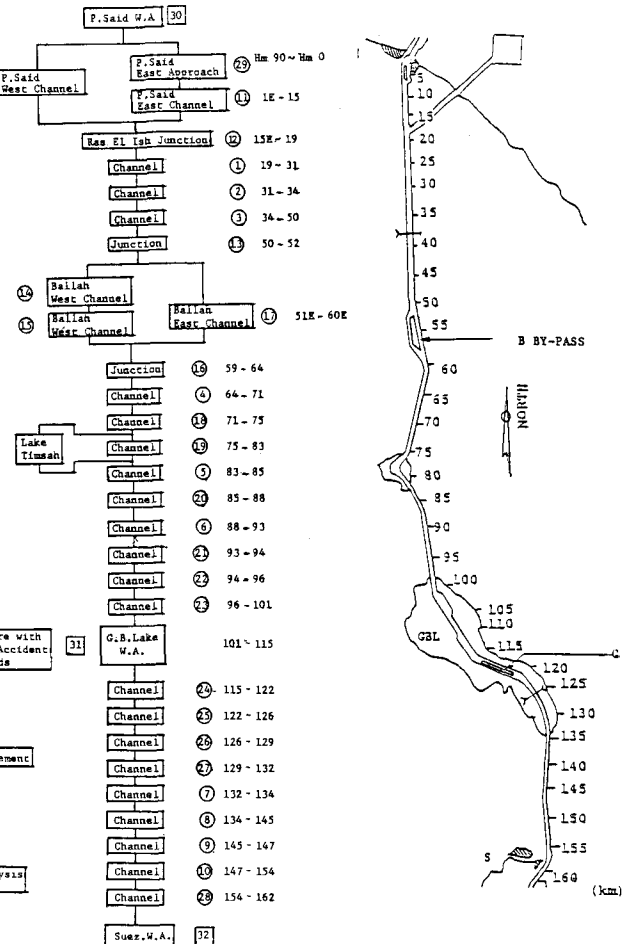


図-1 運河のシステムの同定

を探索するものである。より発展的には運河改良費用、事故による期待損失等を計算し、最適な整備水準を設定する必要がある。

4. ユニットの信頼度、保全性、アベイラビリティおよび運河システムのアベイラビリティ

まず、筆者らが既に一部発表した¹⁾内陸運河における、乗り揚げおよび3種類のタイプの衝突事故に関するモデルを用いて、i ユニットでの一船が通航した際の事故率 $\bar{P}_i$ を求める。これら4タイプの事故率解析モデルはいずれも新たに開発されたものであるが、ここでは紙面の都合で割愛する。同一区間で同時に2種類以上のタイプの事故は発生しないものと仮定すると、事故タイプに関し(1)式が成立つ。また、i ユニット内で単位時間内に起こる事故の平均発生回数 λ_i は、時間交通量 N_i に対し、(2)式で得られる。各ユニットでの事故の生起は経験的にも非常に稀で、ポアソン過程とみなせる。さらに、i ユニットで事故が発生すると直ちに交通処理機能が中断されるものとする、十分長い期間 T におけるi ユニットの信頼度 $R_i(T)$ は、(3)式で定義される。いま、事故処理に要する時間を流出油事故の場合に限れば、流出油規模 l 、流出油量 $Q_l(kl)$ としたとき、i ユニットの修復時間は平均 μ_i と分散 σ_i^2 が(4)式の形で与えられる正規分布に従うとみなせた。これは、昭和52年~59年の7年間ににおける日本近海での流出油事故に関する報告に基づく。但し n_i は、当該ユニットで事故が発生した際に処理作業に従事する作業船の換算隻数である。ある修復許容時間 τ_i 以内にi ユニットが修復されている確率を保全度 $M_{il}(\tau_i)$ と定義すると、(5)式がこれを与えるユニットが、使命時間 T 時間中何回閉塞しても τ_i 時間以内に修復されている確率をアベイラビリティと定義し $AM_{il}(T, \tau_i)$ で記述すると、(6)式が導かれる。さらに、運河システムのアベイラビリティ $AMS(T)$ は、各通航方向のルート上に存在するユニットに関するアベイラビリティの直積をとって(7)式のようになる。

$$\bar{P}_i = \sum_j P_{ij} \quad (1)$$

$$\lambda_i = N_i \bar{P}_i \quad (2)$$

$$R_i(T) = \exp[-\lambda_i T] \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} \mu_{il} &= Q_l / 0.855 n_i \\ \sigma_i^2 &= 107.3 / n_i \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$M_{il}(\tau_i) = \int_{-\infty}^{\tau_i} N_i [\mu_{il}, \sigma_i^2] dt \quad (5)$$

$$AM_{il}(T, \tau_i) = R_i(T) \left(1 - M_{il}(\tau_i) \right) \quad (6)$$

$$AMS(T) = \prod_{i=1}^{11} AM_{il} \quad (7)$$

表-1 事故率とアベイラビリティ

No.	$\bar{P}$ (北航時) ×10 ⁶	$\bar{P}$ (南航時) ×10 ⁶	AM(T, τ)
1	0.1727	0.1633	0.9872
2	0.1488	0.1471	0.9884
3	0.1383	0.1291	0.9901
4	0.1412	0.1350	0.9987
5	0.0441	0.0429	0.9964
6	0.0593	0.0593	0.9948
7	0.1488	0.1480	0.9876
8	0.1203	0.1186	0.9901
9	0.0662	0.0678	0.9945
10	0.1203	0.1186	0.9903
11	0.2444	0.2257	0.9828
12	0.3983	0.3944	0.9704
13	0.0373	0.0351	0.9975
14	0	0.1303	0.9941
15	0	0.1893	0.9913
16	0.3301	0.2991	0.9750
17	0.4935	0	0.9900
18	0.0666	0	0.9947
19	0.1750	0.1759	0.9987
20	0.1339	0.1303	0.9941
21	0.0707	0.0989	0.9966
22	0.0386	0.0375	0.9807
23	0.2209	0.2126	0.9819
24	1.5160	1.6327	0.9526
25	0.3641	0.3561	0.9728
26	0.3121	0.3300	0.9941
27	0.0678	0.0697	0.9652
28	0.1476	0.1092	0.9632
29	0.7219	0.1836	0.9851
30	24.0720	24.0720	0.3570
31	3.9610	4.0730	0.8046
32	10.3840	10.3840	0.5830
TOTAL SYSTEM	58.4	59.6	0.0947

5. S運河での計算例

西暦2000年に完成が予定されているS運河第2期拡張工事の運河諸元を用い、船舶通航量は現状維持とし、対象船をタンカーのみに絞って数値計算を行ったところ、表-1の結果が得られた。ただし、 T は1年、 τ はコンボイダイヤグラムに基づく次船団との当該地点通航時間間隔とした。また $AM(T, \tau)$ は、通航方向別交通量で北航船と南航船について構成比で加重平均したものを用いる。この結果、停泊部での事故がアベイラビリティに大きく影響している点が見出された。さらに多くの感度分析を行ったが、紙面の都合で省略する。

参考文献

1) 黒田・古田・伊藤・井上： リスク・アナリシスによる内陸運河の改修計画法、第7回土木計画研究発表会(1985)