

航路横断橋が船舶航行安全性に及ぼす影響

京都大学工学部 正会員 黒田 勝彦
 京都大学工学部 正会員 喜多 秀行
 近畿日本鉄道 正会員 藤井 滋

1. はじめに

近年、船舶の大型化が進み、またタンカーやL.N.G船といった危険物輸送船が増加してきている。一方、湾岸道路等の計画に伴ない航路横断橋も増加しつつあり、ひとたび横断橋への船舶衝突事故が発生した場合、計り知れない損害を被むると予想される。本研究では、航路ならびに船舶、橋梁、交通流に関する諸特性を説明変数とする衝突確率推定モデルを構築し、航路横断橋の架設が船舶航行安全性に及ぼす影響の定量化をはかる。

2. 避航開始距離分布と方向分布

本研究で構築する衝突確率推定モデルにおいて用いる表記2つの交通特性を、実態観測結果より解析した。

避航開始距離分布は、山口県大島瀬戸でレーダー観測を実施し、大島大橋の下を航行する約200隻の船の橋脚に対する避航開始距離を集計した。その結果、図1に示す如き対数正規分布にほぼ従うことがわかった。

方向分布とは、航路内航行船舶の船首尾線と航路中央線とがなす角度の分布をいう。運輸省による航行実態レーダー観測調査データから浦賀水道航路における方向分布を求めたものが図2であり、直線部では、任意の位置でほぼ平均値0°の正規分布に従うことがわかった。

3. 橋脚に対する衝突確率推定モデル

図3に、構築するモデルにおける推定プロセスをフローチャートで示す。本モデルの特徴は、衝突が(i)船舶の橋脚との出会い、及び(ii)避航の失敗、という2段階を経て起ると考えることである。なお、船舶は、その幅 B_k を直径とする円で表現し、この円と橋脚とが一部でも重なる場合を衝突と定義する。

出会いとは、船舶が何ら避航動作をとることなく直進すると衝突に至るような位置にあることを言う。これを図4に示した座標系で表現すると、橋脚中央を結ぶ線から距離 Y_0 離れたゲートライン上で水路幅方向の位置 X_k を航行する船舶の方向 ϕ_k が $\phi_k \leq \phi_k^*$ 、あるいは $\phi_k \geq \phi_k^*$ とな

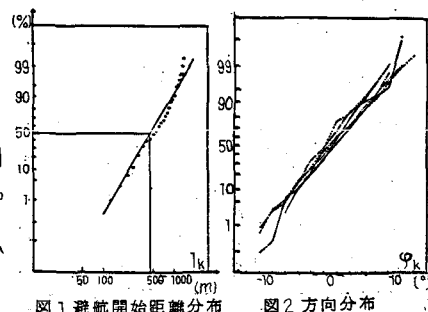


図2 方向分布

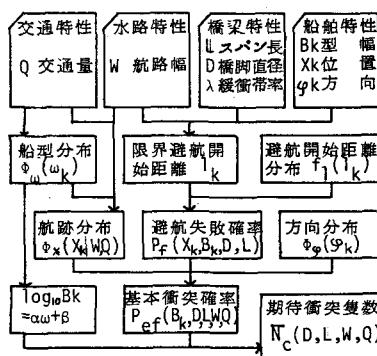


図3 モデル構築のフローチャート

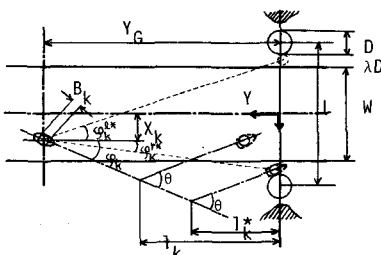


図4 出会いと限界避航開始距離

Katsuhiko KURODA, Hideyuki KITA, Shigeru FUJII

っていることである。

一方、出会い状態にある船舶の避航失敗は、避航を開始する時期が遅すぎ、橋脚を回避しきれなかった結果生じるものと考えられる。避航時の航跡を変針角 θ の折れ線と仮定し、これ以上橋脚に近づくと避航しきれない位置と橋脚との水路方向の距離を限界避航開始距離 l_k と名付けると、左右の橋脚に対する限界避航開始距離 l_k^* 、 l_k^* は図4より幾何学的関係から、

$$l_k^* = (\sin \varphi_k - \cot \theta \cos \varphi_k) \{ Y_0 \sin \varphi_k + (X_k + L/2) \cos \varphi_k \} + (B_k + D) \operatorname{cosec} \theta \cdot \cos \varphi_k / 2 \quad \dots (1)$$

$$l_k^* = (\sin \varphi_k + \cot \theta \cos \varphi_k) \{ Y_0 \sin \varphi_k + (X_k - L/2) \cos \varphi_k \} + (B_k + D) \operatorname{cosec} \theta \cdot \cos \varphi_k / 2$$

で与えられる。これより、位置 (X_k, Y_0) 、方向 φ_k を有し、直径 D の橋脚と出会い状態にある幅 B_k の船舶の避航失敗確率 P_{fk} は次式の如くなる。

$$P_{fk}(X_k, B_k, D, L, \varphi_k) = \begin{cases} \text{Prob.}[l_k \leq l_k^*] = \frac{1}{2} [1 + \operatorname{erf}(\frac{\log l_k^* - \mu_1}{\sqrt{2} \sigma_1})] & \text{for } \varphi_k | X_k \geq \varphi_k^*(X_k) \\ \text{Prob.}[l_k \leq l_k^*] = \frac{1}{2} [1 + \operatorname{erf}(\frac{\log l_k^* - \mu_1}{\sqrt{2} \sigma_1})] & \text{for } \varphi_k | X_k \leq \varphi_k^*(X_k) \\ 0 & \text{Others} \end{cases} \quad \dots (2)$$

着目船のゲートライン上の位置、方向、²⁾避航開始距離がそれぞれ X_k, φ_k, l_k である確率は、航跡分布 $\phi_X(X_k)$ 、方向分布 $\phi_\varphi(\varphi_k)$ 、避航開始距離分布 $f_l(l_k)$ から得られるため、ある船型の船舶1隻が橋脚に衝突する確率(船型別基本衝突確率) $Peck$ は、結局

$$Peck = \int_X \int_\varphi P_{fk}(X_k, B_k, D, L, \varphi_k) \cdot \phi_X(X_k) \cdot \phi_\varphi(\varphi_k) d\varphi_k dX_k \quad \dots (3)$$

となる。

航行安全性の1つの目安となる単位時間当たり期待衝突件数 $\bar{N}_c$ は、船型別基本衝突確率 $Peck$ と単位時間交通量 Q 、及び船型構成分布³⁾ $\phi_\omega(\omega_k)$ を用いて、次式のように導かれる。

$$\bar{N}_c = Q \int_0^\infty Peck \cdot \phi_\omega(\omega_k) d\omega_k \quad \dots (4)$$

ここに ω_k は垂線間長 L に対する常用対数である。

4. 数値計算例

本モデルを用いて、年間期待衝突件数 $\bar{N}_c$ が橋梁のスパン長 L 、航路幅 W 、交通量 Q の変化によってどのように変化するかを示したものが図5～図7である。図中のパラメータ $\mu_\omega, \sigma_\omega$ は前述した ω_k の平均と標準偏差を、 λ はスパン長に対する橋脚直径の比を表わしている。これらの結果より、例えば、時間交通量が40隻の時には片側150mずつBuffer Zoneを設けておけば期待事故件数はほぼ100年に1件となり、橋梁自体の耐用年数とも比較勘案すると、衝突に対する安全性は十分確保されることがわかる。詳細については、紙面の都合上当日述べるにととする。

(参考文献) 1) 運輸省港湾技術研究所設計基準部システム研究室; 船舶航行事態観測調査資料 2) 井上依三; 直線航路における航跡分布のモデル化と航路分離に関する一考察, 日本航海学会論文集, No 58, PP103-115, 1977

3) 藤井弥平; 序説海上交通工学, P89, 海文堂, 1971

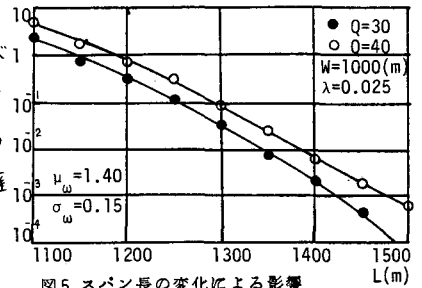


図5 スパン長の変化による影響

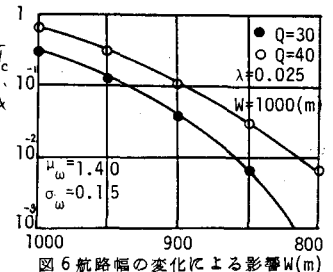


図6 航路幅の変化による影響 $W(m)$

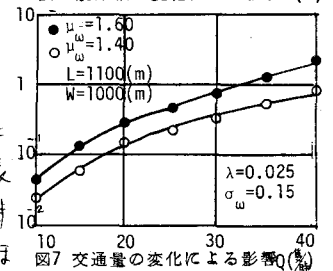


図7 交通量の変化による影響 $Q(\%)$