

IV-7

水路交差点における船舶衝突事故率の推定

京都大学工学部

正会員

黒田 勝孝

京都大学工学部

正会員

喜多 秀行

運輸省港湾技術研究所

正会員

○高橋 浩二

1. はじめに

船舶交通が複雑している水路において、衝突・乗崩といった交通事故の頻度は多発化、大型化の相を呈し、その対策が課題となっている。航路計画策定に際しては経済性ならに航行安全性の両面からの検討が必要であるが、施策のより安全向上への効果は未だ定量的に把握し難いのが現状である、このような見地から、筆者らは航行安全性の一指標である船舶衝突事故率に着目し、これを推定するモデルを開発し、横切りのない水路に関するものを既に発表した¹⁾。今回はこのモデルを横切り航行を考慮する形に拡張し、水路交差点への適用を図る。

2. 対象水路とモデル化の前提

1) 対象水路は二様な水路の角度で交差している水路交差点とする。(図-1)

2) 船舶は対象水路を構成する個々の水路を一方あるいは両方向に定速航行し、避航時以外は水路と平行に航行する。

3) 避航に際し、他船を右舷に見る船舶(避航義務船)より定角度(θ)の範囲のみにより避航動作をとり、左舷に見る船舶(保持船)は航路、速力とも変更しない。また、義務船は衝突の恐れがなくなつた時点で航路を元に戻すものとし、避航航跡は折れ線と表現されるものとする。

4) 出会いの場には避航は二船舶のみに限定し、多重遭遇は考慮しない。従つて幾度となく多重遭遇は二船舶のみで発生するものとする。

5) 実験観測結果より、交通流特性に因りては、表-1に示す確率分布に従うものとしてよい。船舶者特性のばらつきを示す、避航開始距離の分布は正規分布に従うと仮定する。

3. 推定のプロセス

二船舶の避航動作をとることなく航行し続けると衝突に至る位置関係にある場合、出会いの状態にあるという。一方、着目船が他船と出会いの状態にありながら避航動作を開始するのが遅れる(避航開始距離<限界避航距離)と衝突を招く。着目船が水路交差点内で衝突する事象は衝突しない事象の余事象であるから、衝突確率は幾度の船舶と出会う確率と幾度安全とて避航に失敗しない確率の積の総和を1から引いたものとして求められる。このプロセスを示した図-2である。

以下、個々に説明を行なう。

① 出会い領域：簡単のため船舶長をその長とする線分で船舶を表現し、船首側の端点をその位置と表現する。衝突には義務船の船

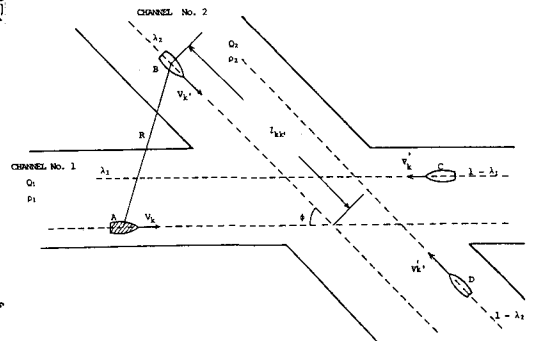


図-1 対象水路

表-1 交通特性とその分布型

交通特性	分布形
航跡分布	正規分布
船型別速度分布	正規分布
船型構成分布	対数正規分布
水路端への到着分布	ポアソン分布

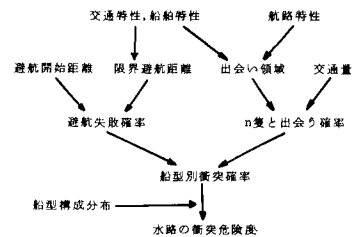
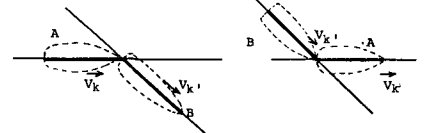


図-2 水路の衝突危険度推定のプロ



(a) Aからみた最も早い時期の衝突 (b) Aからみた最も遅い時期の衝突

図-3 衝突の形態

尾と保持船の船首(図-3A)及び、義務船の船首と保持船の船尾(図-3B)との衝突点両端とする種々の形態があるため、義務船が会合の状態に於ける位置は航路方向のある領域となる。(図-4)。すなわち、保持船Aの航路一致点から距離 A に離れているとすると、 b_1 , b_2 はそれぞれ次のように表わされる:

$$b_1 = A \cdot \frac{V_K}{V_K} - L_K, \quad b_2 = (A + L_K) \cdot \frac{V_K}{V_K} \quad (1)$$

ここに V_K , V_K' , L_K , L_K' は船舶A, Bの速度と船舶長を示す。義務船の通航位置は、航路方向の任意の位置をとりうるため、結局、会合の領域は斜線部のようになる。

2) 幾重と会合確率: 幾重と会合確率 $P_{ENC}(n)$ は、会合の領域内に幾重の義務船が存在する確率である。2-1)より混雑のいらない水域での船舶到着はポアソン到着とみなせるため、船型Kの義務船の単位時間交通量を Q_K とすると、

$$P_{ENC}(n) = \frac{(Q_K \Delta t)^n \cdot e^{-Q_K \Delta t}}{n!} \quad \text{ここに } \Delta t = \frac{b_2 - b_1}{V_K'} \quad (2)$$

c) 限界避航距離と避航失敗確率: 義務船の避航のために原航路より離れなければならない距離は $0 \sim d_{KK'}$ であり、ランダムに定まるが、ここを平均値的に扱い、 $d_{KK'}/2$ を $b_{KK'}$ と代表させる。 $b_{KK'}$ を限界避航距離(それ以上近づくと避航不可能な距離)とすると、幾何学的関係より

$$b_{KK'} = \frac{\sin(\theta + \phi)}{2 \sin \theta} \cdot (L_K + \frac{V_K}{V_K'} L_K') \quad (3)$$

一方、避航開始距離 $b_{KK'}$ の分布は $N(\mu_{b_{KK'}}, \sigma_{b_{KK'}}^2)$ に従うため、避航失敗確率 $P_{FKK'}$ 即ち $Pr(b_{KK'} < b_{KK'})$ は、

$$P_{FKK'} = \int_0^{b_{KK'}} N(\mu_{b_{KK'}}, \sigma_{b_{KK'}}^2) db_{KK'} \quad (4)$$

d) 水路交差点における衝突確率: ある方向へ航行中の船型Kと保持船K'、船型K'の義務船と衝突する確率 $P_{CKK'}$ は、

$$P_{CKK'} = 1 - \left\{ \sum_{n=0}^{\infty} (1 - P_{FKK'})^n \cdot P_{ENC}(n) \right\} \quad (5)$$

である。結局、任意の方向へ進む任意船型の船舶に於ける水路の衝突危険度 Pr は、 $P_{CKK'}$ の船型ならびに進行方向に因る期待値として求められることとなる。

4. 数値計算例

モデルの挙動に因る検討を加えるため、航路特性、交通特性等に因る感度分析を行なう。詳細は講演時に述べるが、結果の一部を図-6、図-7に示す。避航導航や多重遭遇等に関しは更に検討すべき点が残されているが、これらの結果からも本モデルの基本的な現象説明力を有するものと考えている。

<参考文献> ① K. Kurada, H. Kita, S. Kono: Mathematical Model of Ship Collision Probability. Memoirs of the Faculty of Engineering, Kyoto Univ. vol. 44, part 1, pp. 135-147, 1992. ② 黒田勝彦, 喜多康行, 坂高正: 航路上の船舶衝突確率について(横断方向の場合) 土木学会船舶工学講演集 IV-52, 1991. ③ 井上悦三: 直線航路Kと原航路分布のモデルと航路分離に関する一考察, 日本航海学会論文集, vol. 58, 1977. ④ 藤井研平: 序説海上交通工学, 海文堂, 1971. ⑤ 同前, p. 89. ⑥ 原 潔: 船舶交通の統計的解析-I, 日本航海学会誌, No. 35, pp. 77-83, 1966. ⑦ 運輸省第三港湾建設局: 海上交通計画調査報告書, p. 25, 1972. ⑧.

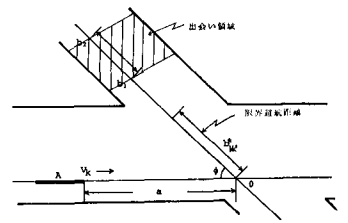


図-4 会合領域と限界避航距離

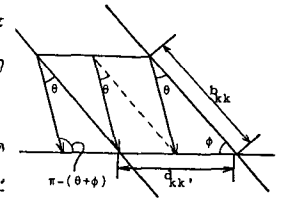


図-5 避航時の針路の変化

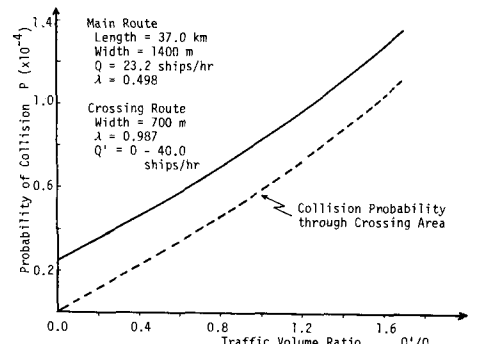


図-6 交差水路交通量と衝突確率の関係

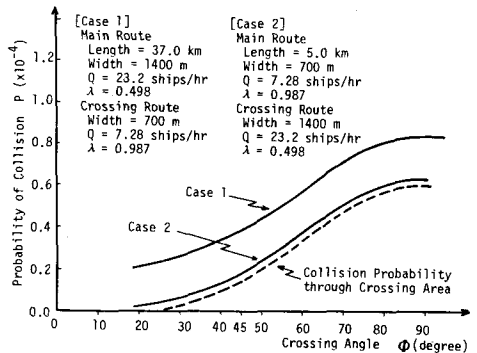


図-7 水路交差角と衝突確率の関係