交通量を考慮した航路幅の決定について- II .

成 兪昶*・井上 欣三**・世良 亘**

The Determination of Route-Width in Consideration of Traffic Volume - II.

Yuchang SEONG, Kinzo INOUE and Wataru SERA

Abstract

Recently, environmental stress in port area strengthens with traffic volume increasing. In addition, the available route-width becomes narrow because of the enlargement and the specialization of vessel relatively. Therefore, it's necessary to access the route-width in the view not only of a ship motion but also of traffic congestion.

The design method on route-width focuses on the maneuvering of a maximum size ship now. But, this method is not clear on safety because a lot of various vessels exist and pass in same route. To solve this problem, we suggested in the former report how to determine the route-width in consideration of traffic volume near shore.

In this research, we set the traffic volume and speed in harbour and carried out simulation in one-way and two-way route. The results showed as relation between route-width and traffic volume. And these lead us to estimate the route-width including the effect of traffic congestion.

Keywords : *marine traffic engineering , traffic volume, route-width, maritime traffic simulation, environmental stress model*

キーワード: 海上交通工学, 交通量, 航路幅, 海上交通流シミュレーション, 環境ストレスモデル

1. はじめに

近年、船舶の大型化・専用化が進み、港内水域を含んだ海上交通や港湾の様相にも多くの変化が起きている。特に、港湾の入り口などの港内水域にあつては多数の船舶が航行しているので、交通輻輳による航行困難性が増えている。この問題を解決するために適切な航路幅の設計及びその安全性の検討が必要である。

しかし、既存の航路幅設計法の場合、その航路を通航する大船型 1 隻を対象とし、その船舶 1 隻の運動を考慮した設計であり、多種多様な船舶が混在して航行する現行航路に対して、その幅員がどれほどの安全性を確保しているかについては 明らかではない。

そこで、前報⁽¹⁾では比較的広い水域での一方通航の航路を想定し、避航のある交通流シミュレーションを実施して航路幅と許容交通量の関係について検討した。その結果、1 隻の最大船型の船舶を対象にして決められた航路幅がどれほどの交通輻輳状態まで安全性を保証できるのか、逆に、交通量によってどれほどの航路幅が必要になるかがわかった。しかし、港内航路のような制約水路における交通流では、船舶の航行速力、船型構成比、通航方式など広い水域での航行形態と多くの差があり、その影響を考慮した航路幅の決定が必要である。

本研究では、港湾における出入り口航路を想定して、避航のある交通流シミュレーションを実施し、航路幅と許容交通量の関係について検討する。さら

* 学生会員 神戸大学大学院 自然科学研究科 (〒658-0022 神戸市東灘区深江南町 5-1-1)

** 正会員 神戸大学大学院 海事科学研究科 (〒658-0022 神戸市東灘区深江南町 5-1-1)

に、この考えを現行航路に適用して、既存の航路設計法による航路幅とどのような関係になるかを考察する。

2. 従来の航路幅決定法 (W_L) と交通量を考慮した航路幅決定法 (W_T) の検討

船体運動を考慮した従来の航路幅決定法としては、国際的には PIANC Rule⁽²⁾ として、日本では港湾の施設設計上の基準⁽³⁾ によって提案されている。これらの規定では、航路幅の設計の時、対象船舶の基本操船幅、正横風、潮流、波の影響、ブイの航行サポート施設、貨物の種類、航過距離、岸壁余裕距離などが算定要素として考慮され、一般的に航行幅は船舶の行き会う可能性のない一方通航航路の場合は対象船長 L の 0.5 倍、船舶が頻繁に行き会う往復航路の場合は船長 L の 1.5 倍、それ以外の往復航路では船長 L の 1 倍を求めている。

この時、その航路を航行する最大船型の運動を対象に算定しているのが、他船と競合して航行する船舶幅横という概念は考慮されていない。しかし、航路には多種多様の船舶が存在して、時間帯によっては交通幅横によって非常に混雑した状態が生ずる。

そのため、このような最大船型の船舶を対象にして航路幅を決める方法だけでは、交通幅横時にはその航路の安全性に関しては問題が生じる恐れがある。

そこで、港内航路のような比較的狭い水域において交通幅横状態が予想される航路の場合、最大船型船舶の運動を考慮して決めた航路幅と航路内の総交通量を考慮した航路幅との関係を調べ、既存の設計方法による航路幅ではどれほどの交通量までを許容できるのか、また交通量の増加によってどれほどの航路幅が必要と成るのかを明らかにする研究が必要と考えた。両者の考え方を式で示すと、次式のように表現できる。

$$W_L = W_1 + W_2 + \sum_{i=3}^n W_i \quad (1)$$

W_1 : 航路内最大船型の基本操船幅

W_2 : 往復通航対応幅

W_i : 交通環境対応幅(岸壁、潮流、波など)

$$W_T = \alpha \cdot Q_L + \beta \quad (2)$$

Q_L : L 換算交通量

α, β : 航路条件による係数

3. 海上交通流シミュレーションの設定

港内航路状況を再現するため、前報に準じて避航がある海上交通流シミュレーションを実施した。避航モデルは一般的に利用されている好ましきモデルを利用した⁽⁴⁾。シミュレーションの設定条件を以下に示す。

設定海域は Fig.1 に示すように長さ 10,000m とし、評価区間は航路中央を基軸にした 4,000m とした。交通進行方向は一方通航と港内航路で一般的な分離通航のない往復通航を設定した。実施時間は信頼性が高い評価結果を得るためには十分に長い時間が必要であるが、ここでは計算効率等も考慮し、各シミュレーションの時間は交通量に関わらず、100 時間とした。

航路幅は日本の主要港湾に関する航路幅を調査した結果、おおよそ 300m から 600m だったので、本シミュレーションでは 300m、500m、700m の 3 パターンで実施した。

船舶の船型構成に関しては様々な分類方法があるが、神戸港に入港する船舶の実態観測データ⁽⁵⁾ をもとに、小型船 (1,000GT 未満、長さ 48 ± 20 m)、中型船 (1,000GT ~ 10,000GT、 104 ± 20 m)、大型船 (10,000GT 以上、 240 ± 50 m) の 3 種類とした。

それぞれの速度については港内速力を想定し、小型船は 10.0 ± 3.1 kts、中型船は 8.3 ± 1.1 kts、大型船は 7.2 ± 0.8 kts とした。なお、船舶の発生時間間隔は目標発生隻数に応じた平均発生時間間隔を求め、そのような平均値を持つ指数分布を用いて船舶を発生させている。

船型構成比は小型:中型:大型で分け、7:2:1、4:5:1、4:3:3 の 3 つのパターンで実施した。

このようなプロセスによって合計 162 パターンのシミュレーションを実施した。この交通流データに環境ストレスモデルを適用した評価を行い、航行困難性の面からその影響を分析した。

Fig. 1 The way of traffic flow (One-Way and Two-Way)

4. 評価結果の分析

4.1 評価指標と許容基準

評価指標には、交通輻輳中での操船困難性を現わす評価指標として環境ストレスモデルによる環境ストレス値を採用した。環境ストレスモデルは、さまざまな要素で構成される周辺環境が操船の困難さの面から操船者に課す負荷の程度を定量的に評価するための方法として開発された。このモデルは、自然条件、地形条件、施設条件、交通条件など操船者を取り巻く周辺条件が操船者の行動を制約する際、操船者に課される負荷の大きさを 0~1000 の範囲の数値により定量的に評価するモデルである⁽⁶⁾。

シミュレーション結果から出力される環境ストレス値に対する許容の可否を判断する条件として、操船者集団の 8 割が許容できない状態に相当する環境ストレス値が 890 と求められており、その出現率【 $P(ESA \geq 890)$ 】を判定の指標として採用した⁽⁷⁾。なお、該当航路幅条件の下における許容可能な交通量の限界判定には、特定することができない不確定要因の存在を考慮する意味から【 $P(ESA \geq 890)$ 】が

5%以内を許容の範囲内とした。

4.2 評価結果

4.2.1 航路幅に対する許容交通量の算定

Fig.2 は一方通航と往復通航をする航路において、航路幅ごとに、船型構成比の差によって変化する交通量と許容できない負荷【 $P(ESA \geq 890)$ 】の出現率を現わしたものである。船型構成比の異なる交通量の評価に対して、小型船、中型船、大型船を同じ 1 隻の交通量と考えるのではなく、長さ 70m の船舶を標準船型と決めて、各通航船舶を L 換算して交通量を基準化した⁽⁸⁾。

まず、図中上段の(A)は、一方通航の場合を現わし、航路幅が 300m、500m、700m の 3 つの航路幅で区分して、自船船型をパラメータにして【 $P(ESA \geq 890)$ 】の値をプロットしたものである。図中下段(B)は往復通航の場合であり、(A)と同じく各航路幅別で自船船型をパラメータにして【 $P(ESA \geq 890)$ 】の値をプロットした。一方通航に比べて往復通航の場合は全般的に ES 値が高い事が分かる。

Fig. 2 Rate of appearance of $P(ESA \geq 890)$ according to width of route

Fig.3 Relation between width of route and traffic volume (One-Way)

なお、それぞれの図は、船型構成比が<7:2:1>、<4:5:1>、<4:3:3>の場合の交通量を、L 換算交通量を利用して基準化してプロットしている。そして、それぞれの自船船型ごとに9点を1つのグループとして直線回帰を実施した。

これらの図をもとに、自船が大型船と中型船、そして小型船の場合に、各交通量に応じて課される負荷の大きさを示す回帰直線が縦軸【P(ESA≥890)】の値で5%になる時点のL換算交通量を読みとれば、各航路幅に対する許容交通量を得ることができる。

4.2.2 許容交通量に対する必要航路幅の推定

Fig.2 より、大型船、中型船、小型船のそれぞれからみた各航路幅における許容交通量を求めることが出来るので、これらの値を基に、自船の大きさごとに許容可能な交通量に対応する必要航路幅の推定を行うこととした。

Fig.3 と 4 は、一方通航の場合と往復通航の場合について、許容交通量と必要航路幅の関係をプロットした図である。これらの図をもとに、自船が大型船、中型船、小型船のそれぞれの場合について、許容交通量から必要航路幅を求めるための推定式を求めた。

Fig.3 と 4 を利用して自船船型毎に求めた交通量と必要航路幅の関係は式(3)、(4)のようになる。

<一方通航の場合>

$$W_{T1} = \alpha \cdot Q_L + \beta \quad (3)$$

大型船	α : 49.26	β : -69.78
中型船	α : 46.19	β : -272.65
小型船	α : 39.57	β : -324.41

Fig.4 Relation between width of route and traffic volume (Two-Way)

<往復通航の場合>

$$W_{T2} = \alpha \cdot Q_L + \beta \quad (4)$$

大型船	α : 68.82	β : -159.34
中型船	α : 61.42	β : -400.79
小型船	α : 57.76	β : -568.52

5. 実際の航路への適用例

前章で交通輻輳状態を考慮した必要航路幅の推定式を求めた。ここでは、事例研究として神戸港第3航路（現中央航路）の1995年における航行実態調査データに基づいて⁽⁵⁾、航路を通航する最大船型の運動を考慮した航路幅と本報で提案する交通量を考慮した航路幅を適用して比較を試みた。

<航路幅の算出>

(1) 従来の航路設計による航路幅 W_L

航路通航最大船舶（1995年）：APL JAPAN
64,502GT、Loa : 276m、B : 40m、D : 14m
必要航路幅
往復通航 : $1.5L = 414m$
一方通航 : $0.5L = 138m$

(2) 交通量を考慮した航路幅 W_T

通航船舶数（往復通航）：23隻
L換算交通量：15.23隻
必要航路幅
往復通航
大型船 : $68.82 \times 15.23 - 159.34 = 888.79m$
中型船 : $61.42 \times 15.23 - 400.79 = 534.64m$
小型船 : $57.76 \times 15.23 - 568.52 = 311.16m$
APL JAPANの場合 : 889m

Fig.5 Empirical comparison, measuring W_T , W_L and W_C (One-Way)

一方通航

大型船: $49.26 \times 15.23 - 69.78 = 680.45\text{m}$

中型船: $46.19 \times 15.23 - 272.65 = 430.82\text{m}$

小型船: $39.57 \times 15.23 - 324.41 = 278.24\text{m}$

APL JAPANの場合: 681m

(3) 1995 年当時航路幅 W_C : 400m

Fig.5、6 に既存の設計法による航路幅 (W_L) と交通量を考慮した航路幅 (W_T)、そして 1995 年当時の航路幅 (W_C) との関係を表示した。当時の神戸港第 3 航路の場合、最大船型でみれば、従来の設計法による航路幅も交通量を考慮した航路幅も、往復航路としては基準を満足せず操船者に多くの航行負担を与えていると解釈できる。管制により一方通航になった場合でも、交通量を考慮した航路幅は満足していない。

中型船の航行面でみても、交通量を考慮した場合は航路幅は不十分であり、小型船の場合により航路幅は問題がないと解析される。今回用いた海上交通流シミュレーションのものでは、以上のように分析できるが、このように交通量を考慮した場合の航路の設計や、現状の評価を行うことが可能である。

6. 結論

近年、船舶の大型化・専用化が進行するにつれて港内水域を含んだ港湾の様相や海上交通にも多くの変化が進行している。その中で操船者の最も気がかりな点の 1 つが航路幅の問題であろう。既存の航路幅設計法は航路を通航する最大船型の運動を中心に設計されているが、実際の航路では多種多様な船舶が混在して航行するから、どれほど安全性を確保し

Fig.6 Empirical comparison, measuring W_T , W_L and W_C (Two-Way)

ているのかが不明瞭である。

この観点から、本研究では、比較的広い水域を航行する時の交通量を考慮した航路幅決定の研究に引き継ぎ、交通混雑が予想される港内航路を対象にして交通量を考慮した航路設計法を提案した。そして、交通の実際観測したデータを基にしてシミュレーションの変数を構成し、実験結果から頻繁な通航がある交通流に対応する適正航路幅の決定方法を検討した。

本論文では、まず既存の港湾内航路設計法を整理し次に港内航路を対象として避航のある海上交通流シミュレーションを実施した。求めたデータを操船困難性の面から評価した結果、自船の船型と交通量により必要航路幅を推定するための方法を提案することができた。

さらに、この交通輻輳状態を考慮した航路幅の推定式を利用して、これを既存設計法の航路幅と比べたケーススタディを行い、その有用性を確認した。

参考文献

- (1) 成徳和・井上欣三・世良亘: 交通量を考慮した航路幅の決定について, 日本航海学会論文集, No.116, pp.25-30, 2007.3
- (2) PIANC PTC II-30: Approach Channels—A Guide for Design, Final report of the joint working Group PIANC and IAPH, in cooperation with IMPA and IARA, supplement to bulletin No.95, 1997.7
- (3) (社)日本港湾協会: 港湾の施設の技術上の基準・同解説 (下巻), 1999.4
- (4) 長澤明・原潔・井上欣三: 避航操船環境の困難

度—I. シミュレーションによる評価に向けて—, 日本航海学会論文集, No.79, pp.91-100, 1988.9

- (5) (社)日本海難防止協会:神戸中央航路幅設計関連報告書, 1995
- (6) 井上欣三・増田憲司・世良亘:海上交通安全評価のための技術的ガイドライン策定に関する研究—I. 環境負荷の概念に基づく操船の困難性評価—, 日本航海学会論文集, No.98, pp.225-234, 1998.3
- (7) 謝洪彬・井上欣三・Cemil Yurtoren: 潜在環境負荷と残存環境負荷の関係について—I. 直線状航路における数量関係の推定—, 日本航海学会論文集, No.112, pp.95-100, 2005.3
- (8) 竹内伝史・本多義明・青島縮次郎・磯部友彦: 交通工学, 鹿島出版会, 2000.3
- (9) 福地信義: ヒューマンエラーに基づく海洋事故—信頼性解釈とリスク評価—, 海文堂, 2007.4

質疑応答

津金正典 (東海大学):

シミュレーション実施に設定された3パターンの船型構成の違いにより許容航路幅の差異がどのようになるのでしょうか。

成 愈和:

本研究では自船を大・中・小型船で区分し、他交通流をL換算した上で必要航路幅を算定しました。今回行ったL換算交通量での整理では、許容判定基準【 $P(ESA \geq 890)$ 】は船型構成の違いによらず線形の関係を示しております。

そのため、今回求めた必要航路幅の推定式は船型構成によりある程度の変化は予想されるものの、許容航路幅の差異はほとんど無くすべての船型構成に対応できると考えております。

中村紳也 (日本海洋科学):

興味深い講演ありがとうございます。シミュレーションで航路幅を考える場合、シミュレーションの避航モデルがES値、又、結果的に航路幅の決定に影響を与えることがあるのでしょうか。(例えば避航モデル(好ましきモデル)において航路内ということから減速に大きなウェイトを置いた場合、航行速度が低下し、ES値が小さくなるなど)実海域での状況に近い行動が再現できるよう、避航モデル等のチューニングを実施した上、航路幅の算定をされたと理解してよろしいでしょうか。

成 愈和:

避航モデルが操船の困難さ(ES値)に影響を与える可能性は考えられます。特に、比較的広い水域(自由水域)を航行する時の避航と港湾の出入口のような制限水域での避航には違いが存在すると考えられます。

本研究では、実海域での状況を再現するために港内水域の実態観測データを基に交通流を構成しました。さらに、避航モデルは自由水域での避航アルゴリズムに加え、優先権と他船の変針予測を付加してシミュレーションを実施しました。