架橋下通航における操船者の行動に関する研究-Ⅱ. —操船行動モデルの汎用化—

増田憲司*・井上欣三**・臼井英夫**・広野康平**・世良 亘**

Routing Model when Passing under a Bridge - II . — General Purpose of Routing Model —

Kenji MASUDA, Kinzo INOUE, Hideo USUI, Kouhei HIRONO
and Wataru SERA

Abstract

A navigation officer makes a voyage plan before departing. Especially, he makes a passage plan for approaching and passing when the ship will pass through a channel or strait. Navigation route is made by a regulation for safety navigation in the congested sea area and the Maritime Traffic Safety Law sets up the Traffic Route in the main narrow channel. In recent years, the huge bridge has been built in strait, such as the Akashi strait, the Kurushima strait and the Bisan-seto strait. Although it had various discussions on the influence of the bridge pier in the narrow channel, the bridge pier has always been arranged out of the Traffic Route.

In this research, we investigated by the questionnaire how the selection action consciousness of a navigation officer's planning route would change when obstacles, such as a bridge pier, had been arranged at the strait in which a vessel can navigate freely. The action of a navigation officer was modeled by the result and this model can be carried out the reappearance of the navigation routing in arbitrary strait width and bridge pier intervals. By combining this routing model and an evaluation index, it becomes possible to evaluate the influence of an arrangement of the bridge pier to marine traffic in a narrow channel.

Keywords : Navigation Routing, Marine Traffic Engineering, Questionnaire Survey

キーワード: 航路選定, 海上交通工学, アンケート調査

1. はじめに

操船者は航海を行う場合、あらかじめ航海計画を立てる。特に海峡部を通過する場合には、どのように海峡部へアプローチし、海峡内をどのような位置取りで通過し、海峡部通過後にどのようなルートで目的地へ向かうのかを計画する。船舶の輻輳する海峡には海上交通安全法等により航路が設定されており、操船者にとっては航路によって航行ルートが決められ、交通流は整流されている。

近年、明石海峡、来島海峡、備讃瀬戸といった海峡部に長大橋が建設されてきた。長大橋の建設による海峡部での橋脚の影響に対して種々の議論がなされてきたが、橋脚は船舶航行の障害物とならない航

路外に配置され、船舶交通への影響を考慮されたものとなっている。

一方、今後の国土計画において友ヶ島水道、豊後水道といった海峡部にも架橋建設が計画されている。これらの海域には航路等による規制はなく、これまで船舶が自由に航行していた水域に長大橋が建設されることによる橋脚の存在は、操船者にとって航行上の障害物となる。このようなときに、操船者は橋脚を避け、どのような航行ルートを選択するのかを把握できるものはない。

これまで橋梁部を航行する際の橋脚に対する避航行動や橋脚との離隔距離に関する研究⁽¹⁾⁽²⁾は行われているものの、航路による規制がない海域での橋脚

* 正会員 海技大学校 (〒659-0026 兵庫県芦屋市西藏町 12-24) masuda@mail.mtc.ac.jp

** 正会員 神戸大学海事科学部 (〒658-0022 兵庫県神戸市東灘区深江南町 5-1-1)

建設に対する、航海計画立案時の航行ルートを選択について調査されたものはない。

本研究では、航路等の規制がない海峡部に橋脚等の障害物が建設される場合における操船者の航行ルートを選択行動を明らかにし、操船行動をモデル化する。

第1報⁽³⁾においては、操船実務者である水先人や外航・内航の船長、航海士に対してアンケート調査を行い、橋脚の存在・配置が操船者のルート選択における行動意識の変化にどのような影響を与えるかを調査した。そして、アンケート結果の分析を通じて操船者による操船行動のモデル化を行った。続いて本第2報では、操船行動モデルの汎用化を行い、任意の海峡幅、任意の橋脚間隔における操船者の操船行動意識を推定再現することを試みた。

2. 操船行動のモデル化

2.1 アンケート調査

アンケート用紙は Fig.1 のような形式とし、設定された Origin (A、B、C) から海峡部を通過して Destination (A、B、C) へ向かう際の航行ルート案を直接記入する方法とした。その際、

- (1) 海上交通安全法等による「航路」は設定されていないこと。
- (2) 外力の影響はないこと。
- (3) 海岸線は急深で、水域は全て航行に支障がないこと。

Fig.1 Answer Form

- (4) 海面から橋梁までの高さは十分にあり、航行に支障がないこと。

を条件として提示した。

アンケートは船長、航海士、水先人を対象に行い約 800 通の回答を得た。

2.2 モデル化の手順

モデル化にあたっては **Passage Plan** の設計手順に従い Fig.2 のように航行ルート設定手順を策定した。

アンケートの回答はさまざまであったが 3 点以上の変針の回答は希少であったため変針点数の最大数は 2 点とした。

2.3 モデル化のパラメータデータ

操船行動のモデル化のためのパラメータデータを Table.1 に示す。

OD 及び変針点の位置座標は、海峡中央部すなわち橋脚と橋脚の中心部を原点とし、東西軸を X 軸、南北軸を Y 軸とした。

条件として、海峡幅、橋脚間隔、OD が決定した後、橋脚下の通過場所及び変針点数を割合により決定する。その後、それぞれの条件に沿って変針点の座標 (X、Y) を平均値及び標準偏差で決定する。2 変針の場合の第 2 変針点は、第 1 変針点からの相対座標で与えられるため ΔX 又は ΔY の平均値及び標準偏差により決定する。

3. 操船行動モデルの汎用化

3.1 データの基準化

第 1 報でモデル化されたデータは海峡幅及び橋脚間隔に依存するものであった。そこで、操船行動モ

Fig.2 Process of Routing

Table.1 Parameter Data of Routing Model

Precondition	Parameter Data			
Wide of Channel	Passing Part of Channel	Rate of Selection: 「Left」 「Center」 「Right」		
Distance of Pier and Pier				
OD				
	Num. of WP	Rate of Selection: 「No WP」 「1WP」 「2WP」		
	1WP	X coordinate of WP (X)	Ratio of X≠0	
			X average	
			X standard deviation	
		Y coordinate of WP (Y)	Ratio of Y≠0	
			Y average	
			Y standard deviation	
	2WP	X coordinate of No.1 WP (X1)	Ratio of X1=0	
			X1 average	
			X1 standard deviation	
		Y coordinate of No.1 WP (Y1)	Ratio of Y1≠0	
			Y1 average	
			Y1 standard deviation	
		X coordinate of No.2 WP (X1 = X1 + ΔX) Y coordinate of No.2 WP (Y2 = Y1 + ΔY)	Ratio of ΔX=0	
			ΔY average (ΔX=0)	
			ΔY standard deviation (ΔX=0)	
			ΔX average (ΔX≠0)	
			ΔY average (ΔX≠0)	
			X radius (ΔX≠0)	
			Y radius (ΔX≠0)	

Table.2 Routing Model (Passing Part)

Type of Route	Passing Part	regression curve	co-efficient of determination
	OD		
Right Up/Down	AA	Left $y = 0.6857\exp(-4.9829x)$	1.0000
		Center $y = 1.0056\exp(-5.5617x)$	0.9986
		Right $y = 3.8520\exp(-14.422x)$	1.0000
	BB	Left $y = 0.0025\exp(0.1023x)$	0.7684
		Center $y = 0.7542\exp(-8.1496x)$	0.9872
		Right $y = 2.3609\exp(-11.391x)$	1.0000
	CC	Left Nil	
		Center $y = 13.798\exp(-11.366x)$	0.9659
		Right $y = 3.1305\exp(-7.7251x)$	0.9252
Central Relation	Left	$y = 0.2436\exp(-5.1023x)$	0.8543
	Center	$y = 2.0581\exp(-8.5463x)$	0.8778
	Right	$y = 2.0931\exp(-8.3454x)$	0.4488
Diagonal	Left	$y = 0.0499\exp(-3.4418x)$	0.7357
	Center	$y = 2.5437\exp(-8.9254x)$	0.9940
	Right	$y = 2.6008\exp(-9.3982x)$	0.9556

Fig.4 Type of Route

デルを任意の条件で適用することができるよう、パラメータデータを海峡幅により基準化した。また、橋脚間隔ごとに得られたパラメータデータは橋脚間隔で無次元化を行った。

3.2 OD のグルーピング

解析の過程で OD ごとに得られたパラメータデータは、大別すると Fig.4 のような「直上直下型」「中央関係型」「対面型」の 3 つに集約することができた。「直上直下型」は、真北（真南）の位置関係となる OD のグループ、「中央関係型」は、O あるいは D が中央配置の B となっているグループ、「対面型」は、橋脚中央を挟んで反対側の位置関係となる OD のグループである。

3.3 汎用化後のパラメータデータ

3.3.1 橋脚下の通過場所の選択

汎用化後のパラメータデータの解析結果として、橋脚下の通過場所の選択に関する結果を Table.2、Fig.5 に示す。本来であれば 3 つの OD のグループに分類できるが、この場合「直上直下型」のグループは AA、BB、CC のそれぞれで独特な傾向を持つため、個別に取り扱った。図中の全てのグラフは縦軸に架橋下で橋脚の「Center」「Left」「Right」のどの位置を通過するか割合を示し、横軸は海峡幅により基準化された橋脚間隔を示す。汎用化後のデータを指数、対数、直線でそれぞれ回帰を行い、そのなかで決定係数のもっとも大きいものを回帰式とした。図中にプロットされたデータは 1 つの点ではなくサンプル数の分の重みを持たせて回帰を行った。

この結果から、橋脚と橋脚の間隔が広くなれば橋脚と陸岸との間隔が狭くなるため「Center」を通過する航行ルートを選択する割合が多くなり、橋脚と橋脚の間隔が狭くなれば、橋脚と陸岸の間隔が広くなるため「Left」「Right」を通過する航行ルートを選択する割合が増える傾向となることが分かる。

3.3.2 「Center」通過時の 1 変針の場合

Fig.6 及び Table.3 に、橋脚と橋脚の間「Center」を、1 回の変針で通過する航行ルートを選択した場合の、変針点座標 (X) をモデル化した結果を示す。この場合 OD のグループのうち「直上直下型」に関するものは「AA」と「BB・CC」の 2 つのグループに、また「中央関係型」に関するものは「AB・BA」と「CB・BC」の 2 つのグループに独特の傾向があったため OD グループを詳細に分類した。

Fig.5 Result of Passing Part

Fig.6 Result of Data (Center-1WP-X)

Table.3 Routing Model (Center-1WP-X)

Type of Route		regression curve	co-efficient of determination
	OD		
Right Up/Down	AA	$y = -0.3283 \ln(x) - 0.2736$	1.0000
	BB, CC	$y = 0.3460 \exp(-1.1578x)$	0.2878
Central Relation	AB, BA	$y = -0.4749x + 0.2932$	0.9706
	CB, BC	$y = 0.2885 \exp(-0.6873x)$	0.5909
Diagonal	AC, CA	$y = 0.3106 \exp(-1.6702x)$	0.5215

同様の方法で Table.1 に示す操船行動モデルのパラメータデータの全てについて解析を行った。

4. 操船行動モデルの検証

汎用化した操船行動モデルの検証を行うため、紀淡海峡を例に挙げた海上交通流シミュレーションを行った。紀淡海峡では、これまでに海上交通実態調査が行われ、現状の「橋脚のない海峡部」の交通流データが得られている。そこで海上交通実態調査よ

Fig.7 Compare After with Before to General Purpose at 1,000m

Fig.8 Compare 2,000m with 2,100m to General Purpose

り得られたデータをもとにシミュレーションのための基礎データを作成した。

第1報ではアンケート結果より得られた操船行動モデルを紀淡海峡に適用し、橋脚が建設された場合に、操船者の航行ルートを選択行動がどのように変化するかを見ることができた。本報では、汎用化した操船行動モデルの検証を行うため、第1報で実施した交通流シミュレーションの結果との比較を行った。Fig.7は間隔1,000mの橋脚を配置した場合の汎用化前と汎用化後のシミュレーション結果である。

アンケート結果から得られた汎用化前のシミュレーション条件（橋脚間隔1,000m、1,500m、2,100m）において、汎用化後の操船行動モデルを適用し比較したところ、Fig.7のような航行ルートとなり、汎用化前と汎用化後とで、ほぼ同様の航行ルートが再現されている。

次に任意の条件で航行ルートが再現されるかどうか検証を行った。Fig.8は汎用化前の橋脚間隔2,100mの場合と汎用化後の橋脚間隔2,000mの場合である。両者は橋脚間隔で100mの違いがあるが航行ルート

はほぼ同様の結果となっていることが分かる。このように、汎用化前には推定不可能であった橋脚間隔2,000mの場合の航行ルートも汎用化によって推定再現できるようになった。

5. まとめ

本研究では、船舶が自由に航行できる海峡部に橋脚等の障害物が配置された場合に、操船者の航行ルートを選択行動意識がどのように変化するかをアンケートにより調査し、航路等の規制がない海峡部に橋脚が配置された場合の操船者の操船行動のモデル化を行った。そして、操船行動モデルをさらに汎用化することにより、任意の海峡幅、任意の橋脚間隔での操船者の選択航行ルートを推定再現することができるようになった。この操船行動モデルと評価指標を組み合わせることにより、海峡部での架橋建設における橋脚配置設計に対する課題に対し、海上交通に及ぼす影響の面から検討することが可能となる。

参考文献

- (1) 岩井聰・庄治邦昭：橋脚周りの風の乱れが接航する船の保針に及ぼす影響について，日本航海学会論文集, No.55, 1976.8
- (2) 岩井聰・庄治邦昭：橋脚周りの流況変化が接航する船の保針に及ぼす影響について，日本航海学会論文集, No.61, 1979.9
- (3) 増田憲司他：架橋下通航における操船者の行動に関する研究－Ⅰ．，日本航海学会論文集, No.111, 2004.9

質疑応答

山田多津人（海上保安大学校）：

橋脚間隔について 3 つの場合をアンケート調査されモデル化されていますが、どの程度の間隔まで(短い間隔)に適用できるのでしょうか。また、航路設定がある場合といった制約がある時など、将来へのご研究の展開の方向性等ありましたら、ご教示ください。

増田憲司：

本研究ではアンケート調査をもとに操船行動をモデル化し、汎用化することによって任意の条件で操船者の選択航行ルートを推定再現することができるようになりました。汎用化後の適用範囲に対するご質問かと思いますが、現在のところ検証をするべく進めております。短い間隔だけでなく長い間隔に対しても検証が必要だと考えております。航路等の設定がある場合に関しましては、航行ルートは航路によって決められてしまうところが大きく、操船者のルート選択意識は航路に依存されるものと考えておりますので本研究では想定しておりませんでした。海峡幅の大小、橋脚の大小はあると思いますが、今後、航路等の設定されていない水域に橋脚もしくは障害物が配置されることが多く考えられます。これらの建設計画に照らし合わせ提案させていただいた操船行動モデルの汎用性を広げていければよいと考えております。