

プッシャー・バージの性能のもつ諸問題

タイセイ・エンジニアリング株式会社
山口 琢 磨

1. プッシャー・バージの使用型式

(1) 河の場合

河で使用されるプッシャー・バージは複数のバージをロープで繋いだ船団を1隻のプッシャーで押すもの、所謂 **Multi-barge convoy** が普通の形であり、今から150年位前にアメリカの大河で始まり、現在では世界の大河で広く使われている。アジアで最初にこの形の船団が使われたのは1957年にミャンマーのイラワジ河にドイツから導入されて原油を運んだものが最初であるが、欧州とロシアには戦後間もなくアメリカから導入されていたのであり、現在では **Cost** が最も安く、環境に極めて優しい輸送手段として、世界の大陸の大河で広く使われている。やや古いアメリカの **Data** であるが、その輸送費は鉄道のおよそ5分の1、トラックのおよそ25分の1と言われている。一船団を構成するバージの数も、通常最低3~4隻から30隻又はそれ以上の大きなものまであり、その安い運賃はアメリカの輸出する穀物の価格にも反映され、アメリカから穀物を輸入している日本もその恩恵を受けていることになる。

プッシャーは通常ロープで船団後端の中央付近のバージに連結されるが、現在ブラジルで建造されているものでは、プッシャーに機械的自動連結装置を備えたものが出始めている。河を走る船団では、水路屈曲箇所を通過する際に船団を一部又は全部一度分解して通過し、通過後に再び船団を組んで航行に入る必要のある場合があり、プッシャーが自動連結装置を持っているとこの作業が手早くでき、また舵をとったときにプッシャーの船団に対する方向が変らないので操船が容易だという利点があるため、自動連結装置が導入されたものと考えられる。

東南アジアから南アジア地区では、**Multi-barge convoy** が大規模に使われてよい河は、インドのガンジス・ブラマプトラ河、ミャンマーのイラワジ河、タイのチャオプラヤ河(メナム河)、インドシナを縦貫するメコン河等の大陸河川のほか、インドネシア・カリマンタンのマハカム河、バリト河、スマトラ島のムシ河等の重要な大河があるが、現在はまだ曳航のみが使われていて、大規模プッシャー・バージは全く使われていない。しかしこれら諸国の経済発展の速度は戦後70年を経てこのところやっと加速する傾向が見られ、これに伴う輸送量の増大とともに、これらの河の曳航を押航にかえて大押航船団輸送を導入することの経済的貢献度は益々拡大することが見込まれるので、この広大な地域の政府機関、大学、輸送業者に適切な知識を与えて指導をおこない、あわせて各河川の地理的知識も含む実

際の応用の研究を行うことの価値は将来にわたって多大なものとなるであろう。

(2) 海の場合

プッシャー・バージが海で本格的に使用され始めたのは 1972 年 (昭 47) の日本であり、最初は当時の埋め立て工事の大きな需要から土運船用の連結装置の開発から始まり、次いで 1975 年 (昭 50) に第一中央汽船からの要望により外洋航行用の連結装置が開発され、この船団が翌 1976 年からインドネシア向け定期航路に就航したことで、本格的な海のプッシャー・バージの運航が始まったものである。現在就航しているものは世界で 300 隻ぐらいと推定されるが、日本から海外に輸出された連結装置の仕向け先はデンマーク、ノルウェー、スウェーデン、フィンランド、ロシア、イタリア、オランダ、インド、シンガポール、インドネシア、ブラジル、アメリカ、カナダ各国に及び、現在も需要国は拡大しつつある。

海のプッシャー・バージはすべてプッシャー 1 隻にバージ 1 隻の 1 : 1 の組み合わせで、複数のバージを同時に押すものは今のところない。連結装置は左右 1 本の、一对の連結軸でつないだ 2 点支持型で両船の自由な相対ピッチングを許したものと、これにプッシャー船首端に一本の連結軸を加えて 3 点支持固定連結式にしたものとの 2 系統があるが、後者のものは日本だけにしかない。

東南アジア地区というのは、地図を広げてみると、人口 2 億数千万を擁するインドネシアが東西 5,700 Km 近い底辺をなすその北側に数千万の人口を擁する大国が西から東に並んでいる地域であり、これらの国は海を介してつながった経済共同体をなす、少なくとも近い将来にはそうなるを見るのが正しいかと思われる。これらの国の間乃至国内の航路は概ね数日の航行に過ぎない航路であり、経済発展が進むにつれいくら船があっても足りないという状況になることは明らかで、航路が短いことから膨大な船員がいつも港で遊んでいることになることは今から目に見えている。このような状況下で、教育を受けた海上勤務者の必要数を減らしてしかも輸送力を変らず維持しようとするならば、最も優れた方法はプッシャー・バージ方式の大規模導入であろう。東南アジア地区の海で使用するプッシャーは 3 - 4 船型に規格化し、それらのいずれかにより運航できるバージ群をそろえれば最高効率の運航が出来るであろうが、各国が独立国であることから、このような理想論は実現は難しいかもしれないが、現在でも東南アジア地区では経済統合の動きがあるのであるから、そのような規格化の実現は全くの夢ではないかもしれない。

インドネシアのジャワ島とカリマンタンとスラウェシ島に囲まれた水域は所謂赤道無風帯に属し、海も比較的静かであるから、この海域ではバージ 2 隻を縦繋ぎにして 1 隻のプッシャーで押す方式が現在の技術で容易に実現できるはずである。これが実現すれば、カリマンタンの河を **Multi-barge convoy** で下ろしてきた石炭をジャワ島へ輸送するのに使用すれば、甚だ有効な運航方式になる可能性があると思われ、研究の価値は十分あるであろう。海で **Multi-barge convoy** を運航することのもつ問題は、左右に繋いだバージが横動揺して船体どうしがぶつかることにあるので、例えば上記のインドネシア内海に限定して、一船団の隻数を限定してもよいから、そこで使える横並びバージ用連結装置を開発して、海で使う

Multi-barge convoy が実現できれば、この地区の海上輸送の合理化に大きく貢献できるであろうし、アメリカの五大湖、バルト海、カスピ海等での需要さえ見込めることになるかもしれない。

2. 速 力

海で使う 1 : 1 のプッシャー・バージの最大の問題の一つは、同じ載貨重量と同じ主機出力の単体の通常船舶より速力が殆ど例外なく低いこと、逆に言えば水抵抗が殆ど例外なく大きいことで、この大きな水抵抗の増加分は繋いだ両船間の隙間に発生する渦によるものが殆どで、他の要素によるものはごく小さいものである。大きな水抵抗の要点をもう一度繰り返すことにする。

プッシャー・バージの水抵抗を摩擦抵抗、造波抵抗、造渦抵抗の三つからなるものとして取り扱うことは通常の単体船舶と同じであるが、通常船舶では渦抵抗は事実上出ないように船型が設計され、その大きさも小さいので、これを独立の抵抗要素として取り扱わず、造波抵抗と合わせて剰余抵抗として扱うことが行われている。抵抗を数値的に扱う場合には、その抵抗を発生する浸水面積 S をもつ平面に直角に水が当たった時の全圧の理論値 $\frac{1}{2} \rho v^2 S$ に対する割合を抵抗係数として扱う方法が行われており、面に沿って流れる水の摩擦抵抗の場合にはこの抵抗係数は、全浸水面積を **Base** にして概ね 0.0013~0.0018 の範囲にあり、これを平均 0.0015 としよう。これに対し不整形部に発生する渦抵抗は渦を発生させる不整形面の部分の面積を **Base** にして、通常のノッチ型のプッシャー・バージではこの抵抗係数は 0.3 という大きな値となり、この値は上記の摩擦抵抗係数の約 200 倍もあるが、この渦を発生させる不整形面はそれほど大きいものではない。いま長さ 110m 程度のバージを考えると、その浸水面積は約 3,000m² であるが、この場合の典型的な不整形部はバージ船尾ノッチの最奥部船底沿いの垂直面で、ここの幅を 10m、渦発生面の実質高さを 1.5m とすれば、渦発生の不整形面の面積は大雑把に約 15m² となり、全浸水面積の約 1/200 となる。即ち約 1/200 の面積が抵抗係数約 200 倍の抵抗を発生させるのであるから、その抵抗値は船体全体の摩擦抵抗と大略同じ値になり、摩擦抵抗が渦抵抗を除く全抵抗の 60% あったとすれば、それと同じ大きさの渦抵抗が加わることになるから、渦によって全抵抗が 60% 増加することになり、プッシャー・バージの速力が渦のない通常船舶より 15% 程度低いのは当然であることになる。

大きな渦抵抗が発生するのは、プッシャーが自由な相対ピッチングが出来るため両船間に大きな間隙がある為で、3点固定型の連結で相対ピッチングがなければこのような間隙は不要であり、この間隙を極小にして渦の発生を防ぎ、通常の単体船舶と事実上同じ速力を出すことが出来る 3点固定型連結の船型設計は可能である。しかし数が圧倒的に多い 2点支持の相対ピッチング自由なものは両船体間の間隙が大きく、ここに大きな渦が発生するため、そのような船体設計は適用できない。今後の問題はこの数の圧倒的に多い 2点支持型の渦抵抗をどうして減らして速力を出すかにあり、上記の僅か 1/200 の渦発生面積をどう

減らし、又はどうその渦発生効果を減らしてゆくかであり、そのような見方からする船体成形要領の考案が必要になるであろう。

3. 保 針 性

プッシャー・バージの保針性の問題は1：1で運航される比較的バージの喫水が深い海のプッシャー・バージ船団にだけ発生するもので、喫水の浅い川の船団や、特に河を走るMulti-barge convoy では、この問題は存在しない。

以前に日本国内で多数のプッシャー・バージが建造されていた頃、バージ満載状態で保針性のよくないものが相当数現れていたことが知られている。プッシャー・バージ船団では、小型プッシャーでは消費が僅かで喫水変化が少なく、大型プッシャーでは消費を大部分補うだけのバラストタンクがあるから、プッシャーの喫水変化は一般に小さなもので、一般にほぼ一定の喫水で浮かんでいるものと考えてよい。これに反してバージの方は軽荷重量は比較的小さく、載貨重量は大きいから、喫水変化が大きい。このように性質の異なる両者を連結すると、バージ軽荷乃至バラスト状態ではバージの喫水の方が必ず浅くプッシャーが深く、バージ満載状態ではプッシャーの喫水の方が必ず浅く、バージが深くなる。このような両状態で走ると、バージ軽荷乃至バラスト状態では保針性に問題が出ることはないが、バージ満載では保針性が不足となって、連結船団がぐるぐるまわってしまつて真直ぐ走れないものになっていることがしばしばある。そしてこのような現象は、船団が新造されて試運転を行う状態ではバージが空荷であるから保針性に問題が出ることはなく、試運転を無事終わって初めて荷を積んだところで喫水関係が逆になるため保針性がマイナスとなって直進できなくなり、極端な場合には港の中でぐるぐるまわって港から出られず、荷降ろしする港までも行けないということにさえなる。そしてこのような不具合の存在はかつてプッシャー・バージが多数造られていた頃にはしばしば経験されて、関係技術者の間ではよく知られていたのであるが、このところ造られなくなったことで経験者がいなくなり、忘れ去られてしまったようである。

バージ満載時の保針性不足はプッシャーの喫水がバージの喫水より小さくなることが原因で起る現象で、この状態は尾翼を失った飛行機と似たものとなるので、飛行機が水平尾翼を失えばひっくり返って墜落してしまうし、垂直尾翼を失えば御巢鷹山の事故と同じくどこへ行くかわからなくなってしまう。保針性不足となった船団は、極端な場合、舵をとつても船は全く言うことを聞かずぐるぐる回ってしまうことさえある。

バージ満載時の保針性のプラス・マイナスは、両船の喫水の関係がどうなっているかで主に決まる現象のようであるが、この比がいくらであればよいかについて研究された資料には未だ出会ったことはない。あるいはこの保針性の問題は単に両船の喫水比の数字だけで決まるような単純なものではなく、両船の寸法比、肥瘦係数、連結部の船体の組み合わせ方等の各種の要素が関係しているのではないかと想像される。現在持たれている感触としては、プッシャーの喫水はバージの満載喫水の 65～70%程度あればまず保針性はプラスと考

えてよいと思われる。プッシャーは殆どが2軸船で、同じ大きさの曳船よりかなり大きな主機馬力を持ったものが多いが、曳船と違って長距離航海を行うものであるから、できるだけプロペラ回転数を下げて大口径プロペラを使用し、プロペラ効率をよくして燃料消費を下げるのが望ましいので、喫水を深くすることはこのための手段として矛盾はない。2軸大口径プロペラの場合、スケグを左右2ケとして内回りプロペラを使用すれば、推進効率を高くすることが出来ることはよく知られた方法であるが、このためには船底を船尾に向かってかなり切り上げる必要があるので、この切り上げの始まり辺りのやり方とスケグの形も十分慎重に選ぶ必要があり、スケグの間に十分水が流れ込み、渦を発生させないものでなくてはならない。船底の船尾に向かっての水平からの切り上げ角度 θ は、日本では $\theta=17^\circ$ までといわれている。アメリカ設計のバージの図面を見ると、アメリカでは $\theta=16^\circ$ と考えているように思われる。これを角度として正確に描くことは時にやりにくいので、 $\tan \theta = 0.3$ として描いておけば、 $\theta=16.7^\circ$ となり、 17° を越えることはない。大口径プロペラのための深い **Double-skeg** は、プッシャーの船尾付近にあるため連結体の重心より遙か後方にあり、船団の保針性の維持のためにもかなり役立つと考えられる。

方向不安定がどうしても直らない場合は、従来多くのバージで行われたように、バージに大型のスケグ 2 枚を取り付けるほかないであろう。これは結構大きなものが必要になるので、方向維持の効果はスケグを出来るだけ後につけるのがよいが、あまり後につけるとバージ船体幅がせまいことになり、バージの喫水が浅い時にプッシャー船体との間が狭くなって、袋をつけたような効果が出て大きな水抵抗が生じるから、あまり後につける訳にはいかない。バージの船尾近くの船底のなるべく外側につけるのがよい。

4. 結 語

Pusher-barge system の最高の経済効率は **Multi-barge convoy** によって発揮されることは先ず間違いないところで、日本ではこれの実現性は皆無であるが、東南アジア地区ではこれの応用が可能な水路は数多くあり、これの採用は同地区の経済発展に貢献するであろうから、これへの関心を捨ててはならないだろう。海の **Pusher-barge** 技術は本来日本で開発されたものであり、現在は世界でも例外的な国の政策により使用が制限されているが、これは **Pusher-barge** を通常の船舶の安全管理の範疇に入れるようにすれば解消する問題であり、近い将来そのような政策の変更が期待されるであろう。