

プッシャー・バージについて

タイセイエンジニアリング 山口琢磨

1. 河のプッシャー・バージ

(1) 歴史と現状

アメリカ合衆国の大河で、横抱きの変形として、150年前頃に始まったと考えられるが、発明者不詳。第二次大戦末頃までに数十隻の舢舨をロープでまとめて1隻の押船で押す大規模なものに発展。大規模河川輸送の主流となる。

大戦後2-3年の間に西欧、次いでロシアの大河に導入され、河川大規模輸送の主流となる。

アジアでは1957年にドイツの造船所によりビルマ、イラワジ河での原油輸送に始めて導入されたが、他に大規模利用された報告はない。中国で小規模なものが使われているようである。

南米大陸では、北のアマゾン河と南のパラナ、パラグアイ河でかなり早期に導入がなされた模様で、殊に最近ブラジルからの大豆輸出が増加するにあわせて、アマゾン系での使用が増えるものと考えられる。

(2) 応用型式と経営的メリット

Multi-barge convoy がすべてであると言ってよい。アメリカの Data によれば、運賃は鉄道の約1/5、トラックの約1/25と言われ、あらゆる輸送手段の中で最も Cost が安く、また最も環境にやさしいものである。アメリカ中東部の大平原で算出される大量の穀物は、多くがこの型式の船団で New Orleans に運ばれて輸出されるから、その低運賃はアメリカ農産物の低価格の一要素であることは間違いなく、日本もその低運賃の恩恵を受けていることになる。

(3) 技術的問題

Multi-barge convoy の持つ技術的問題は、速力（消費動力）と操縦性であると考えられる。Barge の繋ぎ目に起きる渦を減らすことが先ず重要で、形の決まった Barge 船団を運航するものは、中間の Barge は前後端を傾斜面のない角型にして平らな連続船底をもつ船団として渦を減らすことは広く行われている。運行の度に異なる Barge を寄せ集めて船団を組むものは、そのような解決法は今の所ない。

操縦性向上のために最近では全旋回式推進装置が採用されたものが現れている。船団が大きく、大馬力が要る場合には、3~4軸に分けて一軸あたりの馬力を下げて、なるべく大きなプロペラを横に並べる方が効率がよいが、この場合すべての軸を全旋回式推進装置とする必要は必ずしもない。

Barge 相互の連結はロープによっているが、航路によっては河の途中の屈曲部などで船団を分解して通過後再び船団を組んで航行を続ける必要がある場合もあり、すべてをロープ連結にしておくと、この分解組立てに時間と人手を要することから、一部に機械的連結装置を混用する案もある。（但し実用例は聞かない。）また前後二隻の舢舨を常時組にして機械的連結装置でつないでおき、これらの組をロープで繋いで大船団を組み立てる案もあり、このための簡単で安価で強力な連結装置を開発しておく必要もあろうかと考えられる。これらは個々の需要の性質により選択されるべき方法で、これらに対応するため各種の案を検討立案しておくことは有用であろう。

Multi-barge convoy は河の中だけで使える高経済性の船団であるが、貨物、例えば石炭の届け先が川口から直ぐ先がない場合は、Convoy を分解して個々の Barge 又は二隻組程度のものを届け先まで押すか引くかして行くか、又は大型船に積み替えるかしなければならない。上記の二隻組の案は、このような場合、Indonesia 内海のような比較的静かな海では使えるであろう。

2. 海のプッシャーバージ

(1) 歴史

日本に Pusher-barge 技術が導入されたのは 1963 年（昭 38）神戸港内の人工島建設工事で、アメリカの Rope 連結のコピーで、最大波高 60 cm まで使えると言われた。

その後 Notch 式で船尾に連結ロープを取る方式が実物を使って各種試みられ、最大波高 3~3.5m 程度までは何とか走れるようになったが、瀬戸内海や東京湾から出るとは不可能。この限界を超えて本格的な外洋航行を行うため、1971-72 年あたりから機械的連結装置の開発が試みられた。

(2) 機械的連結装置の開発、普及及び実績

最初の機械的連結装置はアメリカの ARTUBAR であったと考えられ、1971 にアメリカで 1 隻、次いで日本で 2 隻、その後アメリカで 2-3 隻現れたようであるが、日本の 2 隻は間もなく Tug として海外売船され、アメリカでは今も 2 隻が運航されているようである。2 点支持 articulate 型の装置で、左右の動きを強制的に止める装置になっていないので、Pusher の左右動揺の度に Barge にぶつかる。

その後に現れたものは下記の各種装置である。

A) ARTICOUPLER

日本。2 点支持 articulate connection. 用途によって摩擦係止式 F, 多段歯嚙合式 K, 両者併用式 F R の 3 種がある。詳しくは www.articouple.com 参照。摩擦係止のものは本来土運船用に造られたが、連結を緩めて喫水変化に対応できるので、それを必要とする他の装置にも利用されている。

B) TRIOFIX

日本。3 点支持 rigid connection. 用途によって多段歯嚙合式 T K, 多段差込式 T B, 同 T M, 摩擦多段歯嚙合併用式 T F R の形式がある。詳しくは www.articouple.com 参照。実績は Articouple, TrioFix 合計で約 270 台。

C) INTERCON

アメリカ。2 点支持 articulate connection. 多段歯嚙合式。アメリカの大手甲板機械メーカー Intercontinental 社製。現在アメリカの主流をなす。実績は 75 台位。

D) WÄRTSILÄ

フィンランド。3 点支持 rigid connection. 差込式。2 Pushers & 3 Barges 建造されたが、1 船団が転覆沈没、後続なし。

E) ACOMARIN/JAK

フィンランド。2 点支持 articulate connection. 多段差込式。フィンランドの Acomarin 社が製作するものとアメリカの Beacon Finland 社により JAK Coupling の名で製作されているものとは、同じものと思われ、初期の一部の実績は両社に重複している。実績は合計 20 台程度。

(3) 海の Pusher-Barge 船団の経営的メリット

海では Multi-barge Convoy の運航は技術的に不可能で、経営的メリットは、Engine をもち人の乗った Pusher の数を少なくすることによって得られるものが主である。例えば二港間で一定の割合で同じ貨物を運ぶ場合、Barge の数は通常船舶による場合と同じにしても、Barge 荷役中は Pusher が付き添っている必要はないから、Pusher の数を最小として、建造費、人件費等が節約できる。詳しくは www.articouple.com 中の Cyclic Operation の項を参照。典型的なものが 2-P / 4-B 船団で最も多く使われているが、航路の長さや荷役時間の関係で、1:3, 3:5 等の組み合わせが考えられる。このような運航方式は、時に Drop-and-swap system と呼ばれている。

日本で数多く造られたものは、単体船舶より人件費が節約できたからで、当時は Pusher と Barge は別個の船として扱われ、Pusher の乗組員がその単船としての小さな総屯数に相当するものでよいという原則が守られていた。現在は沿海航路以上のものについては、国交省が Pusher と Barge を合体した合計の総屯数を持つ 1 隻の単体船として扱うようにしたから、人件費の Merit は消滅し、Pusher-barge 船団の新造は全く行われなくなった。

3. 海の Pusher-Barge 船団の技術的問題点

(1) 耐航性能

予定された航行条件（例えば Unrestricted Service）にあわせて設計建造された Pusher と Barge を、同じく予定された航行条件にあわせて設計製作された連結装置で連結した船団は、その予定航行区域で航行可能なものと看做す。

連結装置は連結体の運動方程式を数値計算で解いて得られる荷重にあわせて選ぶ。運動方程式に使用する波高は、Unrestricted Service については、船級が Bureau Veritas (BV) 又は Registro Italiano Navale (RINA) である場合にはそれらの船級の与える計算式によるもの、その他の船級の場合は Det Norske Veritas (DNV) の与える各波周期に対する最高波高の計算式によるものを使用し (Lloyd, ABS は DNV の式によるものを認める)、それで得られた荷重で発生する応力がそれら船級規則が許容する値を超えないように機種を選ぶ。

(2) 速力

Pusher-barge 船団の速力は通常例外なく同じ載貨重量、同じ主機出力の通常船舶の速力より低い。その理由は二つの船体の間に出来る間隙に渦が発生するからである。

二点支持 articulate connection の船団では、両船の自由な相対ピッチングを許すため両船間にかなりの隙間がなければならず、この隙間に発生する渦による抵抗増加は、同一寸法の通常の単体船舶の全抵抗の 30-50% 或はそれ以上にもなる大きなもので、これにより速力は通常船舶に比べて 10-20% も低いものとなる。速力低下を減らすには渦抵抗を減らさねばならないが、これの努力が精力的になされたことは記録にはあまりなく、また渦抵抗の大きさを正確に見積もる方法が現在でも確立されていないので、船型をきめても、その水抵抗を正確に見積もる方法がなく、速力の保証をする根拠も存在しないというのが現状である。

三点支持固定連結船団では、両船の相対運動がないから両船間の隙間は特に必要はない。しかし船型と船型関係を二点支持 articulate connection の船団と同じにすれば、速力はそれと同じだけしか出ないのは当然で、連結を三点固定にすればそれだけで速力が出ると思うのは間違いである。三点固

定連結装置開発の目的の一つは、船体間隙を減らして渦をなくし、高速を得ることであり、連結装置は簡単に出来たのであるが、それを使用して船型関係をどうすれば渦がなくなるのかわからず、そちらの考案に10年余を要した。現在では通常の単体船舶とほぼ同じ速力が出る固定連結式船団の設計は可能であるが、両船の寸法の関係、特に喫水の関係がある範囲にないと困難であり、この喫水関係の維持は、一般により高速が要求される大型船団になるほど難しくなる傾向がある。

(3) 渦抵抗

Pusher-barge 船団の水抵抗が摩擦、波、渦の三つの抵抗要素からできている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が極めて小さくなるように船型が作られるから、渦抵抗は抵抗計算で独立抵抗要素として扱われることはなく、摩擦抵抗以外の剰余抵抗に含まれるものとして扱われるのが通常である。

摩擦抵抗と通常の剰余抵抗（造波抵抗が大部分）は船の全浸水面によって起こされるものであるから、計算はこの面積を Base に行われ、流れに直角に置かれたその面積をもつ平面に流れが与える全圧の理論値 $\frac{1}{2}\rho V^2 S$ との割合で示される。（造波抵抗乃至剰余抵抗は $\nabla(2/3)$ によることもあるが、これも意味は同じ）この割合が所謂抵抗係数であって、Schoenherr の摩擦抵抗係数は通常の Reynolds 数の範囲で概ね 0.0013 から 0.0018 程度の間にある。

これと異なり渦抵抗は、部分的な形の不整形があつて面に沿つての流れが起きない部分に発生するもので、そのような不整形がなければ発生しないものであるから、その Base はその不整形部の面積ということになり、全浸水面積ではない。Pusher-barge 船団にあつてこのような不整形の典型的なものは Barge 船尾ノッチの一番奥の部分の船底部にあることは明らかであり、この部分の渦抵抗が計算できれば船団の全抵抗はかなりの精度をもって推定できることになる。しかしこのような形の抵抗係数を記述した資料はないので、他の似た形の資料から推定する。（配布参考資料参照）

これに最も性質の似たものは、中空半球にその半球側（凸部側）に流れを当てる場合であろう。反対側は凹部となつており、ここに渦が発生する。この中空半球に流れを当てた場合の抵抗係数は、参考資料によれば 0.34 である。（資料によっては 0.36 という数字もある。）この値は流れが当たる半球凸部の圧力抵抗と下流側の凹部の渦抵抗の合計で、今の場合、上流側の凸部の抵抗を取り除かねばならない。そこで上記の係数 0.34 の上流側と下流側の構成であるが、流線型体の抵抗などから推定される上流側の抵抗係数が約 0.04、下流側のそれが約 0.3 と見るのが概ね妥当のようで、他の実験から推定された値もこの値で、精度の高い数字ではないとしても、実用上の価値はある数字と思われる。

上記の Schoenherr の摩擦係数を、大雑把な平均値として 0.0015 と見れば、上記の Notch 部の渦発生面積 Base の抵抗係数は 0.3 であり、この値は Schoenherr の全浸水面積 Base の抵抗係数の 200 倍である。従つて Notch 部の渦発生面積が全浸水面積の 1/200 あれば、ここで発生する渦抵抗は船体の摩擦抵抗と同じになることになり、摩擦抵抗は通常単体船舶の全抵抗の 60% 程度あるから、これと同等の渦抵抗の加わる Pusher-barge の全抵抗は単体船舶のそれより抵抗が 60% 程度大きく、速力が 10% - 15% 低くなるのは当然と言える。渦発生面積などは設計によってかなり異なるので、一概に数字は 60% などとは簡単には言えないが、この抵抗係数が異常に大きいという性質をもつ渦抵抗の発生が Pusher-barge の速力が出ないことの根本原因であることは間違いない。渦発生面は Barge 船尾 Notch 下部の Pusher 船体との間隙の大きい部分であるが、上部は Pusher の船体と僅かな間隙をおいて接しており、上部は渦発生面積に入れる必要はない。こうして見た渦発生面積は船体全浸水面

積の 1/200 に近いことが多く、上記に近い速力差が発生することが多いのは当然であろう。

渦が発生するのは Barge 船底面が Notch で切られて形の不整形（角）ができ、そこから後に低圧部が出来て水流を急に引っ張り込むからであり、ここに Pusher の船首下端を僅かに飛び出させて Stagnation pressure を発生させることにより低圧部の発生を邪魔し、それによって渦の発生を防ぐのが当社（タイセイ・エンジニアリング）で考案した 3 点固定連結の高速船型である。Pusher 船首下端には高圧部が出来て小さな圧力抵抗が付加的に発生するが、これは通常の渦抵抗と比べれば、小さな Skeg をつけた程度の小さな抵抗でしかない。即ち考案は付加抵抗の性質の入れ替えを行ったのであって、付加抵抗を zero にしたものではない。

上記の固定連結型の高速船型は、固定連結で相対運動がなかったから出来たもので、数が圧倒的に多い 2 点支持 Pitching 自由のものは両船体間の間隔が大きいため適用できない。今後の問題はこの数の多い 2 点支持型の抵抗をどう減らして速力を出すかであり、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ろう。

4. 東南アジアにおける Pusher-Barge 船団の利用

(1) 東南アジア地区の地形、人口分布と貨物輸送一般

東南アジアとは一般に西はビルマから東はフィリピンに至る地区を言うが、今後はこれに西のバングラデシ、更にインドと言う南アジアといわれる地区が次第に経済的、社会的に一体化して拡大してゆくものと考えらるべきではなかろうか。従来の東南アジア地区は東西の範囲は約 5,800 km あり、この範囲はインドネシア国の東西の長さに等しい。即ち東南アジアとはインドネシアの北に東西に広がった地域であると考えてもよい。印度支那半島にある五カ国は陸続きであるが、ビルマ・タイ間は山があるため交通は不便であり、他の四カ国は間に南北に並んだラオスとカンボジアが人口少なく経済力も小さいため、陸上交通も大きなものにならず、最大の大国インドネシアは世界に類例がない島だけの国であり、東端のフィリピンも島だけの国で、これらと大国ベトナム、タイなどとの交通はすべてが船によらなければならない状態である。

人口はインドネシアが約 2 億 4 千万と断然大きく、他の国 3 カ国分の人口を抱えている。ビルマ、タイ、ベトナム、フィリピンが各 6 千万乃至 8 千万程度で欧州の大国程度であるが、其の他の 3 カ国も 2 千万程度の人口はあり、決して欧州やアフリカの小国のようなものではない。

これらの国は、タイを除けばすべて欧州の植民地であったのであり、これが太平洋戦争の結果独立を達成したもので、ごく一部を除いて対日感情は良好である。一部の国は戦争でこれと言う損害を与えなかったにもかかわらず日本から戦後賠償を行うことで、独立初期の経済発展の起爆剤を提供した。近年は教育水準も高まり、社会的にも民主主義の定着が進みつつあり、真の文明国としての発展に踏み出そうとする段階にあると考えてよい。

このように東南アジア諸国は大国で、人口も多いが、産物も豊富で、全体としてみて甚だ豊かな区域であり、域内各国間の物資と人の交流で豊かになれる可能性を十分持っていると考えられる。

宗教はインドネシアが大部分イスラム教、フィリピンがキリスト教である以外は概ね仏教国で、インドネシアももと仏教であったので、このイスラム教徒は中東の典型的なイスラムとは甚だ異なり、例えば国内の壮大な仏教遺跡であるボロブドゥール遺跡を国の宝として守っており、中東のように他宗教の遺跡を片っ端から破壊してしまうようなことは絶対にない。ごく一部にフィリピンのミ

ンダナオ島にやや過激なイスラム教徒がいるが、これはフィリッピンで少数派であることから来る特殊ケースと考えられる。

上に述べた通り東南アジアは海を介してつながった大国の国家群であり、この地域が経済発展すれば、海運需要は拡大する一方であろう。しかし各国の広さ、位置関係等を考えてみると、各地間の交流のため数千海里の長い航海をする必要はあまりなく、実際の航路は2-5日程度の航行のものが多い。従って港に止って荷役している船の割合が高いことになるが、港に止っている船に主機関と船員を常時付き添わせておく必要はないから、船を貨物部分と、推進機関に人員をつけた部分とに分割して使用することは経営的利益を持つ筈であり、ここに Pusher-barge fleet の導入が大きな Merit をもたらす可能性が出てくる。適切に計画された多数の Pusher-barge 船団を導入すれば、膨大な海上輸送の需要を満たしながら、これに従う人材を節約し、高価な動力船の数を節約し、もって総合の経費を節約することができるので、これを国として国益のためにこれを行う所まで行ければ理想的であろう。インドネシアの場合、と言うよりむしろ東南アジア一円を対称として、Pusher の船型の標準化を行い、例えば大、中、小の3船型程度に統一することにして、どの Barge もこれらのどれかの標準 Pusher で運航できるようにすれば、地域の輸送 System として理想的なものになるであろう。Barge は各船主が自己の貨物の種類と量にあったものを自由に造ってよい。

(2) 東南アジア地区における主要貨物

今後の東南アジア地区における最も量のまとまった重要な貨物で、大量輸送が必要になるものは、先ずインドネシアの石炭であろう。石炭はその価格と量から考えて、温室性ガスの大量発生にかかわらず、この地区のエネルギー源として主流を成すことは疑いなく、また他地域への輸出もまだ増えるであろう。インドネシアの石炭は、現在は産出量はカリマンタンが多いが、埋蔵量はスマトラの方が多し。カリマンタンの石炭は、東の Mahakam River 沿いのものと、南の Barito River 沿いのものがある。

Barito River からのものは河が深く積み出しやすく、また大消費地の Java 島に近い地の利から産出量も多い。この河からの石炭は直接大型 Barge に積み込んで、直接消費地に届けることができる Case が多しと考えられるから、河の整備をその方向で行って、最も経済的な国内供給基地として河を整備し、あわせて輸出のための川口付近での積み替えも考えるべきであろう。川口までの輸送には Multi-barge convoy の使用は無論可能である。

Mahakam River からのものは国内消費に加えて輸出されるものが多いようで、日本の国交省ではこの河の川口付近に Megafloat を置いて輸出のための積み替えをやらせようとする計画を持っている。Mahakam 河口付近にはこれと言う石炭消費施設がある訳ではなく、消費地の Java 島には遠いから、河は Multi-barge convoy の運航に適しているも、これを大規模に使う為には別途考慮が必要であろう。日本政府が売り込みたい Megafloat があまり高価であるならば、もっと小さな Floating transshipper の採用を考えてもよく、これならば全旋回推進装置を備えて自分で動けるものにすることも出来よう。

スマトラ島の南の石炭は、Musi River で東の海に出すものと、鉄道で南へ出して Java 島へ船で運ぶものとに分かれるようであるが、どちらも Pusher-barge 船団の利用に適しているものと考えられる。特に南の Java 島に運ぶものは、Barge の Cyclic operation を適用すれば、低 Cost、高能率となることは明らかである。スマトラ島の石炭は開発がカリマンタンのものより遅れているようであるが、

その巨大な埋蔵量から考えて、開発はこれからであろう。

石炭以外の貨物については、石炭ほどの大量のまとまったものはないにしろ、各地で鉱物資源やセメントなどの大量のものがあり、距離から考えて Pusher-barge 船団による Cyclic operation に適したものはあちこちに存在する。これらは個々の場合に応じて適切な計画を立てていけば、Pusher-barge の特徴と価値が十分生かせる場合が多数あると考えられる。