

水中ビークルの形状と運動性能の関係

西村

1. 基本的事項

1.1 3次元流れの分類

水中ビークル周りの3次元流れは、おおまかに言って次のように大別される（境界層とか粘性抵抗とかはここでは無視）。

- (1) よどみ点 (Stagnation Point) : 流れが船体前端にぶつかって上下左右に分かれる点。そこでは流速がゼロとなり船体に正圧（平均水圧より高めの意味）が働く。船体後端にも船体に沿った流れが集まって船体から離れる点があり、そこもよどみ点となる。
- (2) リーディング・エッジ: 翼の後縁では、上下からの流れがよどむことなく合流するので、流速=0のよどみ点はない。
- (3) 船体表面に沿った流れ: ベルヌイの法則で流線が密な個所ほど流れが速くなり（流れが速い個所ほど流線が密になり）、負圧（平均水圧より低めの意味）が働く。
- (4) 3次元剥離渦: 船体が斜航する時に船側から生じるシート状の巻き込むような流れ。翼端渦もその一種。
- (5) 死水域: 肥大船型の背後に引きずる乱流域。進行方法と反対向きの抵抗（ドラッグ）となる。

2. 直進性/進路安定性/保進性

2.1 回転楕円体の場合（舵がない場合）

- (1) 水中を進む回転楕円体を考える。前端と後端によどみ点が出来き、船首・船尾に正圧が働くが、推進軸に一致するので回頭モーメントにはならない。船側の圧力は船体の膨らみのため、平均流速よりも加速され、船体に負圧が働くが、左右対称なのでやはり回頭モーメントにならない。
- (2) 流れに対してわずかに斜めになると、前端・後端のよどみ点が推進軸からずれる。また、船速の流れも左右非対称となる。どちらもより回頭を大きくする方向のモーメントとなる。
- (3) 回転楕円体がもっと斜めになると、船側から三次元剥離渦が発生し、船体全体に揚力が働く。揚力の作用点はだまかに言って最初は翼の面積中心付近であり、迎角が増大するにつれて前縁側に移っていく。回転楕円体の場合には揚力の作用点が浮心・重心と同じかそれよりも前なので、復元力としては働かない。
このため、回転楕円体は本質的に進路不安定である。

2.2 舵がある場合

船体の後ろに舵が付いている場合、すこし斜航すると舵に揚力が働く。舵に働く揚力は船体の浮心・重心よりもずっと後方に作用するので、回頭を抑えるモーメントとなる。つま

り、舵は第一義的に「船を直進させる」という役割を果たしている。

- (1) 大きなセイルが船体前部に付いていると、斜航した時にセイルにも揚力が生じ、これは船体の浮心・重心よりも前方に作用するので、回頭モーメントになってしまう。つまり、船尾の舵に比べて過大なセイルが船体前部に付くと保進性が悪くなる。＜アルファ級＞のセイルは揚力の発生しにくい形状となっていて、保進性に配慮されていると言える。
- (2) ＜コーバック号＞のように先端が尖がっていて船体の浮心・重心が後方に位置する船型の場合、舵による回頭を抑えるモーメントが小さくなり保進性が悪くなるので、通常より舵を大きくする必要はある（ちゃんとそうになっている）。

3. 旋回性能

直進状態で舵を切ったり、タンデム・スクリューの回転数を変えると、船体は斜航状態となる。そこで船体に揚力が発生するかどうかで旋回性能が大きく異なる。

船体の揚力の発生しやすさについて、潜水艦では重心が浮心より低いせいで旋回時に内側にバンクすることも考慮して考える必要がある。

3.1 バンクのしやすさ

- (1) 1軸プロペラの場合、プロペラの回転方向と逆に反動トルクが作用するので、例えばプロペラが後方から見て半時計回りの場合、右旋回の方がより大きくバンクすることになる。この場合、方向舵の傾きが大きくなって効きが悪くなるが、セイル・プレーンまたはバウ・プレーンを上に切ることで旋回を助けることができる。
- (2) ＜ムスカ＞や＜タイフーン級＞のように左右2軸プロペラの場合、プロペラ回転方向が水面から見て内巻きか外巻きかでバンクしやすさが異なる。旋回方向に対して外側のプロペラを回すので、外巻きだと反動トルクがバンクを助ける方向に働き、内巻きだとバンクを妨げる方向に働く。

3.2 船体の揚力の発生しやすさ

- (1) 通常の船舶では、斜航すると船底ビルジ部の曲率が大きいために三次元剥離渦が発生しやすく、船体全体に揚力が生じる。その揚力は浮心・重心より前方に作用するため、回頭モーメントとなる。このおかげで船は小さな舵でも旋回することができ、「舵は旋回のきっかけに過ぎない」とも言われている。イーブン・キールと船尾トリムとでも旋回性能が変わる。船尾トリムだと船体に働く揚力の作用点が船尾側に移るため、回頭しにくくなる。
- (2) 円筒型・涙滴型の潜水艦の場合、舵を切っても丸い船体断面のせいで船側からの3次元剥離渦は発生しにくい。バンクしても事情は同じ。ビルジキールをなるべく長く大きくすると旋回性能が良くなると思われる。
- (3) 船体が＜ムスカ＞のように扁平な断面だとバンク時（外巻き）とバンクしない時（内巻き）とで旋回性能が大きく異なる。バンク時には扁平断面の下方から流れが当たって側部で3次元剥離渦が発生し、大きな揚力が働いて旋回を助ける。バンクしない時は扁平断面

の側方から流れが当たってほとんど3次元剥離渦が発生せず、ゆえにほとんど揚力が働かない。

(4) セイルの影響

船体前部にセイルがある場合、セイルに働く揚力は保進性の面では不利だが、旋回性の面では有利に働く。しかも、バンクする場合、セイルプレーンの効果もセイルが前にあるほど大きくなる。

3.3 浮上中と潜航中との違い。

(1) 通常的水上船舶では、水面が鏡像効果として働き、喫水の2倍の翼幅の翼として扱える。

(2) 潜水すると、鏡像効果はなくなるが、水面上の舵も効くようになるので、結果として水中の方が旋回性能がよくなることが多い。

特に円筒型・涙滴型の潜水艦の場合、浮上中は船首・船尾部を波が横切ることや、自由表面の影響であまり鏡像効果はないので、いっそう旋回性能が悪い。〈なだしお〉衝突事故にはこういう要因が影響していたと思われる。

4. 上下非対称船型の安定性

軸対象な船型では魚雷のようで味気ない。〈サンダーバード2号〉、〈ムスカ〉、〈マラコット号〉のような上に凸な曲面を持つ船型を考える。

船体下面の流れよりも船体上面の流れの方が早くなるので、全体としては上向き揚力が働くように思えるが、船体後端が丸くなっていて水平尾翼もなく、さらに、前進状態で3次元剥離渦も生じない船型であれば、全体として揚力は発生しない。

〈ムスカ〉の船尾は蜂のお尻のようになっていて、水平翼もないので、この〈ムスカ〉は水平に進む限り揚力は生じない。代わりに、よどみ点の正圧と流れの加速域の負圧の分布を考えると、よどみ点は船首上面に、加速域は船首下面に生じると思われ、どちらもダウントリム方向に働くため、〈ムスカ〉はダウントリム傾向を持つと考えられる。

この船型では、バンクしながら旋回する際には、船体後ろ寄り左右の張り出し部と船体前寄りにあるセイル・プレーンの揚力によって旋回が助けられていると考えられる。

(以上)