

船の造る渦を計る

船体周りの流れを可視化すると、見事な限界流線（船体表面の流れ）が画けることは、よく知られている。

滑らかな流線は流れが健康な証、急に方向を変えたり交差したりする流線は要注意で、よくみると近くに剝離線が潜んでいる。多分、流れが剝がれた先は渦になっているのだろう。

船体周りで発生する渦の種類は多く、通常は図-1のように分類されているが、すべてが悪玉ではない。船の進行方向に軸を持つ縦渦は、抵抗増加の原因になるが、船尾縦渦の場合はプロペラ効率を高める役もしている。

船の造波現象などに比べ、渦の性質は、遙かに知られていない、渦の発生場所の推定法、成長・拡散する渦による抵抗・揚力の計算、渦核中の流速の推定など判らぬことが多く、縦渦は、推進性能に係る最も難しい問題の一つとして残っている。

肥大船の場合、船型設計に縦渦は少ない影響を与えているが、設計者は船首、船尾の縦渦をコントロールするノウハウを持っていない。この話は次の機会として、今回は、必ず付き合わねばならない渦と知り合いとなるために、渦の計測法を中心に話を進める。

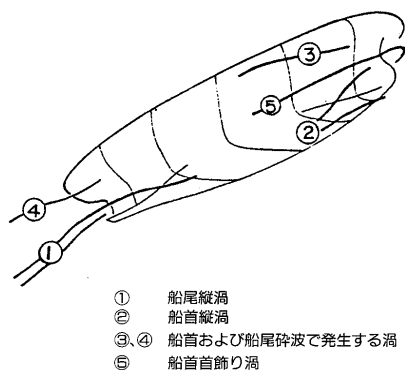
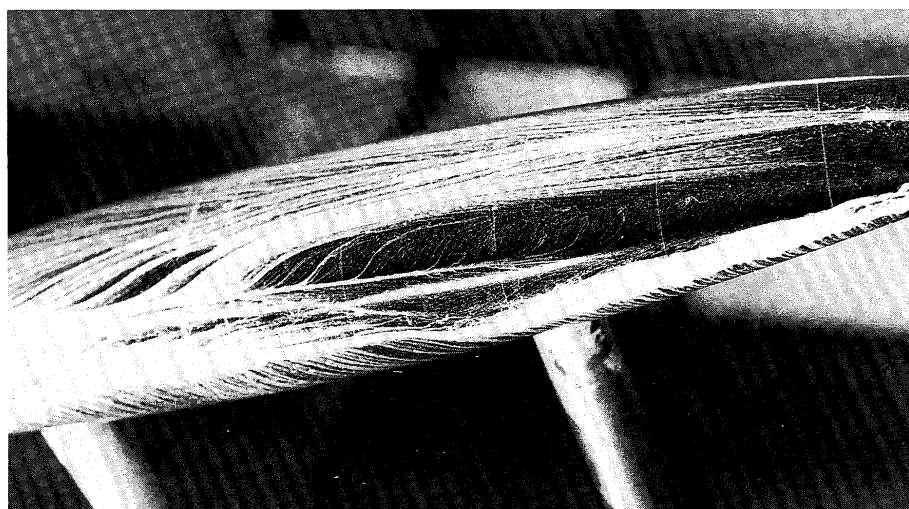


図-1 船体周りに発生する渦の種類



渦の捉え方

流体力学の教えるところでは、流場中の循環（ Γ ）は、(1)式で定義されている（図-2参照）。縦渦核（C）の断面をメッシュに分割し、各交点の流速（ u, v ）を五孔管で計れば、 Γ は(2)式で求められる。渦度（うすど、 ω ）は、単位面積に含まれる循環で、無次元値は $\xi = 2\pi\omega L_{pp}/w$ （船の速度）で示される。

船型試験で伴流中の渦度を求めるときは、図-2と類似の方法が用いられているが、メッシュ分割では分解能が十分でない。渦核の細部の構造を知りたい場合には、直読型の渦度計の開発が望まれていた。渦度は広い流場の至るところにあるのではなく、極く一部の限られた空間、すなわち渦核の中でしか計測できない。渦の存在は、流れを可視化しなければ判らないので、広い空間をメッシュ分割して渦探しをするのでは無駄が多い。

渦度計は風胴で以前から使われており、原理は図-3に示すように、ピッチ角 90° のローターである。この流速計は、軸方向の回転流以外は如何なる平行流、剪断流にも感じて回転することはない。渦度計には、この極めて明快なセンサーに回転数と回転方向を無接触でピック・アップする素子があればよい。

ところが、渦度計の最大の難点は、計器の検定が難しいことである。長さ6m位の模型船の場合、強い船尾縦渦でも毎秒1回転位の渦である。模型船の速度を1.5m/sとすると、強い渦の形状は長さ1.5mで1回転する、ゆるいスプリングの束を想像すればよい。

問題は、このような渦度の小さな検定用の渦を、安定に発生する簡易な装置

閉曲線Cで囲まれた面Fの循環 Γ は、(1)式で示される。メッシュ分割で求めるときは、交点の流速分布（ u, v ）を計測して、(2)式で算出する。

$$\Gamma = \int_C u dx + v dy \quad (1)$$

$$= \iint_F \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) dx dy \quad (2)$$

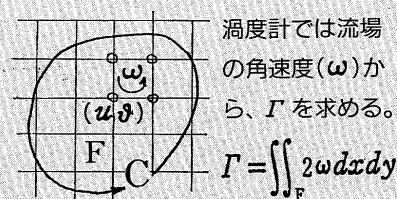


図-2 循環の計測法

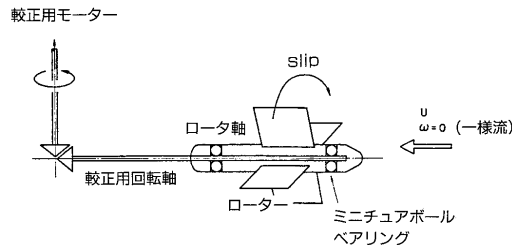


図-3 渦度計の較正法

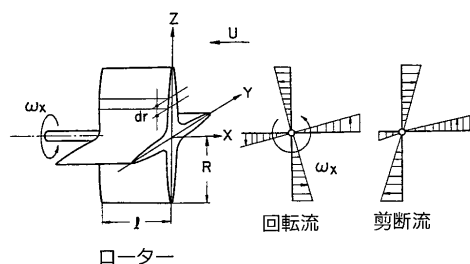


図-4 ロータによる渦度計測の原理

が作れないことにある。因に、風洞の計測対象である翼端渦の場合は、船尾縦渦と較べると回転数が100倍位違っている。検定用の渦ができなければ、残る手段は流れに回転を与える代わりに、一様流中の所定の前進速度の中で、ベアリングの軸に回転を与えて、その時外軸に付いているローターの回転速度を計っても、力学的には等価である（この原理は、図-4を見て考えてください）。

船尾縦渦の構造

渦度計を用いて計測した船尾縦渦の計測例を、図-5（渦度分布図と伴流分布図）と図-6（図-5の渦による速度ベクトル図）に示した。模型船は、SR159のタンカー模型（ $C_p=0.81$ 、 $L_{pp}=7\text{m}$ ）で、65%満載のS. S. No.1/8の渦の断面を示している。

図-6には渦の中心に相当するところが示されているが、渦度分布図には渦度が特に集中しているところが線状に連なっており、ここにMAX. LINEと印してある。

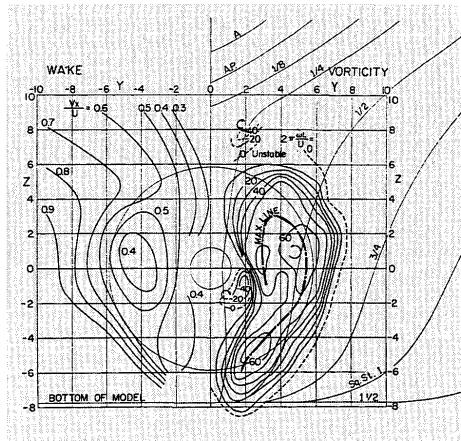


図-5 伴流分布図および渦度分布図
($C_B=0.80$, $F_n=0.18$, 65% Full)

このMAX. LINEは、強い船尾縦渦をもつ船型ほど明確で、地図の等高線で言えば山の尾根に相当している。これは、S. S. No.1付近より下流のビルジで船底の境界層流れが剥離して流出したとき、捲き上がって Vortex sheet を形成したことを示している。

従って、船尾縦渦と呼んでいる流れの実体は、主として船底境界層流れの剥離後の姿であるが、このことを Hoekstra はスケッチにして、図-7のように示している（参考文献2）。

上記は、渦度計の応用例によって、精度の高い渦度の計測ができることを示したが、この他相似模型の計測結果から、伴流の相似則の検討に際して縦渦がどのような役割をするか等も考えることができる。

最初に述べたように、船体周りの渦の発生を止めることは出来ない。うまく付き合ってよい船型を設計するには、渦そのものの性質について、これまでより一層緻密な情報を用いる必要がある。

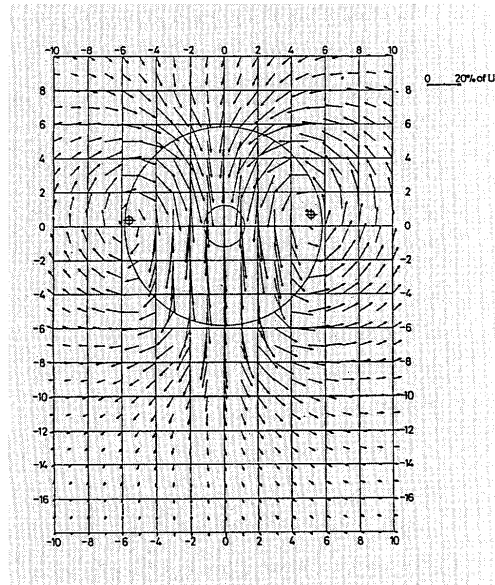


図-6 渦の速度ベクトル図

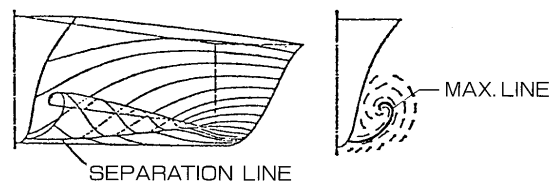


図-7 船尾縦渦のスケッチ(Hoekstra)

参考文献

- 1) Tanaka, H. and Ueda, T.; 11th ONR Symposium (1980)
- 2) Hoekstra, M.; Symposium on Hydrodynamics of Ship and Offshore Propulsion System