

## プロペラによる変動圧力について

## 1. はじめに

船の振動・騒音問題は船の設計における重要な課題の1つである。振動の主たる原因（起振力）には主機関等の機械的起振力と船を推進するプロペラの作動に伴う流体力学的起振力（プロペラ起振力）がある。プロペラ起振力にはプロペラが船後の不均一流場中で作動することによるプロペラの推力やトルクの変動が推進軸を通して船体に伝わるペアリングフォースと、プロペラまわりに生じる変動圧力が水中を伝播して船体を加振するサーフェスフォースがあり、前者に比べて後者の方が大きい。サーフェスフォースは、(1) プロペラ推力を得るプロペラ翼の揚力による成分、(2) 厚みをもつ翼の移動による成分および(3) 翼面上に発生するキャビティの変化・移動による成分より成り、(3) の成分が最も大きい。

本稿では、以上のうち (2) および (3)について、水中のある位置における変動圧力の計算によって、サーフェスフォースの性質の一端を紹介する。

## 2. プロペラ翼面上の キャビテーション

プロペラの翼は、飛行機の翼と同様に揚力を発生する。揚力を発生する際は、図-1に示すように、翼の背面（船首側）の圧力は正面（船尾側）の圧力に比べて相対的に低い。なお、圧力分布は背面の圧力分布が上側になるよう符号を逆にしている点に注意を要する。図-1に示すように、背面の前縁付近に圧力の非常に低いところがあり、この付近の圧力が蒸気圧より低くなると、水が沸騰して空洞あるいはキャビティといわれる気体（水蒸気）の領域が形成される。キャビティの有無・形状は翼面上の圧力分布によって変化する。船体のつくる不均一な流場の中を移動するプロペラの翼への流速や流向はプロペラの一回転中に変動するこ

とから、翼面上のキャビティ形状はプロペラの回転と共に変化する。このキャビティの時間的変化が変動圧力を発生させる主な原因である。

### 3. 変動圧力の計算式

以上の圧力変動を表わす式を以下に示す。すなわち、 $\theta$ という角度の位置にある翼面上の半径 $r$ の位置 $Q$ における翼とキャビティを併せた微小な体積 $\delta V$ の変化・移動により、水中のP点における変動圧力は以下の式で表せる。

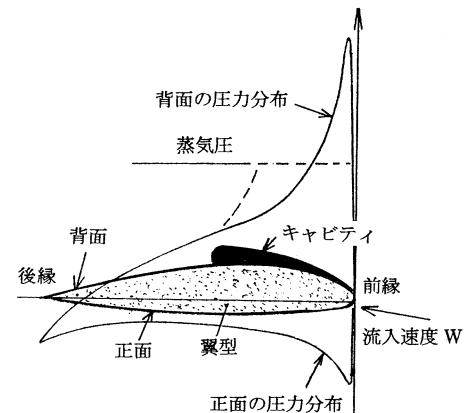


図-1 背面キャビテーション

$$\Delta P = \pi \rho n^2 \left( \frac{\partial}{\partial \theta} - \frac{U}{n} \frac{\partial}{\partial x} \right) \sum_b \int_{r_s}^s \left\{ \frac{1}{d_Q} \frac{\partial \delta v}{\partial \theta} + \frac{W}{2\pi n} \frac{1}{d_Q^2} \frac{\partial d_Q}{\partial s} \delta v \right\} \dots \dots \dots (1)$$

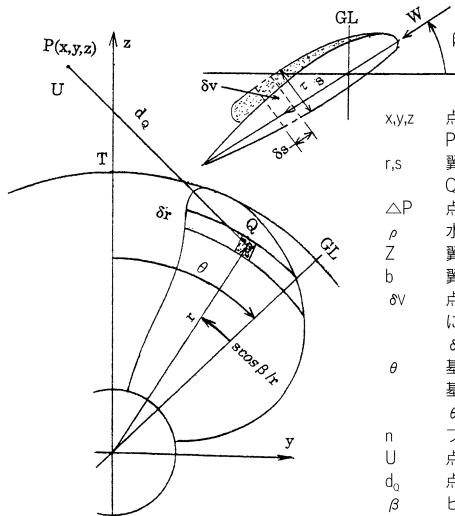


図-2 座標系、記号

上式中の $\{ \}$ 内の第1項はキャビティ形状の時間的变化の影響を、第2項は翼とキャビティの移動の影響を表す。

積分  $\int \cdot$  は翼とキャビティの存在する範囲についてを行い、和  $\Sigma$  は各翼に関する計算結果の和を示している。なお、点  $P$  におけるプロペラの誘導速度は小さいと仮定して非線形項を無視した線形化がなされており、 $\delta v$  に関して、翼の厚みとキャビティとを分離した計算が可能となっている。但し、本式で変動圧力を計算するためには、キャビティの形状が必要であるが、キャビティの形状の推定は現状で

は殆ど不可能である。すなわち、現在ではキャビティ長さの推定がある程度実用化されているに過ぎず、キャビティ厚さについては、形状を時間に関して2回微分しても実用に耐えられる精度の推定は均一な流場中での定常キャビテーションですら困難であり、不均一流中の非定常キャビテーションでは現状では不可能である。従って、船舶のプロペラに生じる非定常キャビテーションについてはキャビテーション試験による方法が一般的である。

## 4. 翼間の干渉

1翼あたりの変動圧力 $\Delta P$ を $\theta$ のフーリエ級数で表すと(2)式となる。

ここで $\Delta P_j$ は各次数の周波数成分で、 $\theta_j$ は各次数の位相遅れである。

$$\Delta P = \sum_{b=1}^z \sum_{j=1}^{\infty} \Delta P_j \sin j(\theta - 2\pi \cdot \frac{b-1}{z} + \theta_j) \quad (2)$$

三角関数の公式より=

$$\begin{aligned} & \sum_{b=1}^z \sin j(\theta - 2\pi \cdot \frac{b-1}{z} + \theta_j) \\ &= Z \sin j(\theta + \theta_j) \dots \dots \dots j = kz \\ & 0 \dots \dots \dots j \neq kz \end{aligned}$$

但し $k$ は整数

従つて

$$\Delta P = \sum_{k=1}^{\infty} Z \Delta P_{kZ} \sin kz(\theta + \theta_j) \quad (3)$$

すなわち、翼数×整数の項のみが残り他の項は消えてしまう。勿論、各翼の発生する変動圧力は等しいと仮定している。一翼が損傷したような場合は、こうはならないで、その他の成分が出て来る。

## 5. 計算例

キャビティ形状や厚さを実験データ等を参考にして仮定し、変動圧力を計算した。図-3にキャビテーションパターンを図-4にキャビティの容積の変化を示す。ここに示すようにキャビティの体積は $\theta = 20^\circ$ 程度が最大になることや、キャビティ容積が翼の容積に比べて非常に小さい等、一般に知られている性質を考慮している。なお、プロペラ翼数は5翼としチップクリアランスは直径の30%として、プロペラ直上の点での変動圧力を求めている。計算結果を図-5に示す。

(a) は一翼による変動圧力である。点線はキャビティによる変動圧力、破線は翼厚による変動圧力、太い実線はそれらの合計である。(b) は同じことを5翼の合計について示した図である。(c) は各翼による変動圧力を実線、点線等で示し、5翼の合計を太い実線で示した図である。

また、変動圧力の各周波数成分の振幅を図-6に示す。横軸は次数 $j$ であるが、左端にはpeak-peakの値も示してある。一翼による変動圧力の成分と5翼の合計の成分を、各々翼厚によるものとキャビティによるものに分けて示してある。縦

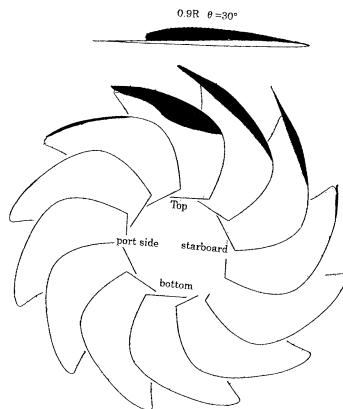


図-3 計算例に使用した背面キャビテーション

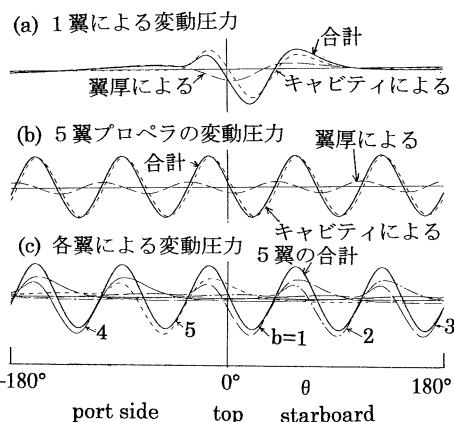


図-5 変動圧力の計算例

軸は変動圧力をプロペラ回転数とプロペラ直径で無次元化した変動圧力係数 $k_p = \Delta P / \rho n^2 D_p^2$ である。

図-6を見ると、前述のように、翼間干渉のため5翼の合計では、 $j=5, 10$  ( $k=1, 2$ )の成分のみが残っている。また、 $j=5$ の成分を見ると、5翼の合計は一翼のみの変動圧力の5倍になっている。

$j=5$ の成分について、翼厚による変動圧力とキャビティによるそれを比べると、後者は前者の5倍程度になっているが、一般的に知られているオーダーと同程度である。

図-5(a)を見ると、一翼による変動圧力の変化は $-30^\circ \sim 70^\circ$ で大きく、この外側ではなだらかな変化となっている。翼厚による変動圧力の場合は、この範囲に一つの谷があるだけであるが、キャビティによる変動圧力の場合は、二つの山

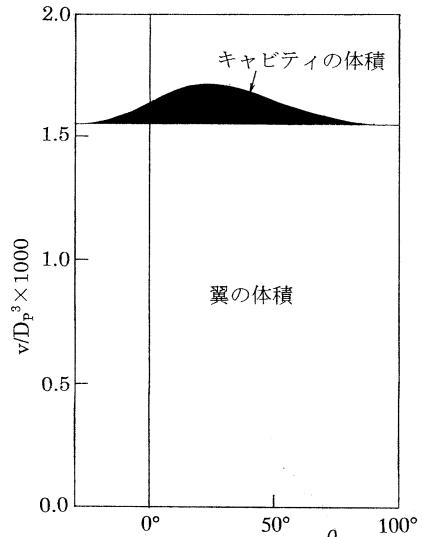


図-4 キャビティ体積と翼の体積

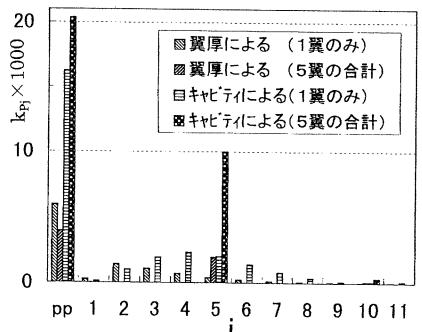


図-6 変動圧力の周波数成分等

と一つの谷があり周期の短い変動になっている。このことは、図-6の一翼のみの成分を見てもわかることで、翼厚による変動圧力の成分は次数 $j=2$ で最高になっており、 $j=3, 4, 5$ で漸減し $j=8$ 以降の成分はほとんど無い。

他方、キャビティによる変動圧力の成分は次数 $j=4$ より高次で最高になっており、 $j=11$ でもある程度の量がある。このことは、肉厚による変動圧力は翼周波数 $k$ が2次以上の成分には現われないと、高次成分はほとんどがキャビティの変化によるものであることを示している。

すなわち、キャビティによる変動圧力は、肉厚によるそれに比べてかなり大きく、かつ、高次成分のほとんどを占めるようになる。(つづく)





# プロペラによる変動圧力(その2)

前号(SRC News No.41)に引き続いてプロペラ翼面上のキャビテーションにより発生する変動圧力の性質について述べる。なお、章、図番号は前号に続いた番号としている。

## 6. チップクリアランス

プロペラのサーフェスフォースは、変動圧力が水中を伝わって外板に達することによって生ずる現象であるから、それを小さくするためにはプロペラと船体との距離(クリアランス)を大きくするのが良い、ということはすぐ分かる。

ここでは、船体とプロペラ先端との距離(チップクリアランス、図-8に示す $d_T$ )と変動圧力の関係について調べる。図-9にチップクリアランスを変えたときの変動圧力の変化を示す。なお、チップクリアランスは図-8の1)に示すように上方と船体との最短距離で表すことが多いが、ここでは同図2),3)に示すように、点Tの真上の点における変動圧力について調べる。計算の対象としたキャビティは、前号掲載の図-4である。

図-9の左側の図はプロペラの一翼のみによる変動圧力、右側の図は5翼プロペラの合計の変動圧力である。破線は翼厚による変動圧力、点線はキャビティによる変動圧力、実線はそれらの合計である。本図を見ると、チップクリアランスを大きくすると、確かに変動圧力は減少している。

図-10,11は、図-9と同じデータについて、周波数成分に分解したときの各成分の振幅のチップクリアランスによる変化の様子を示したものである。図-10は各成分の振幅の累積を示している。図-11においては、翼数Z=3~6のプロペラの翼周波数K=1~3に関わる成分のみ示し

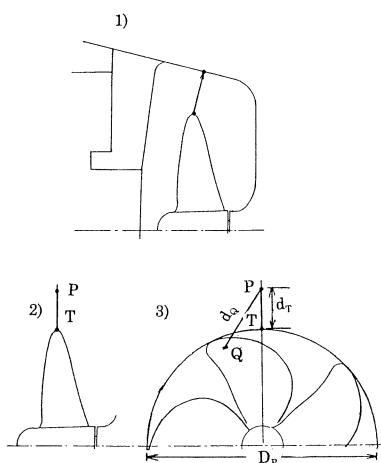


図-8 チップクリアランスの定義

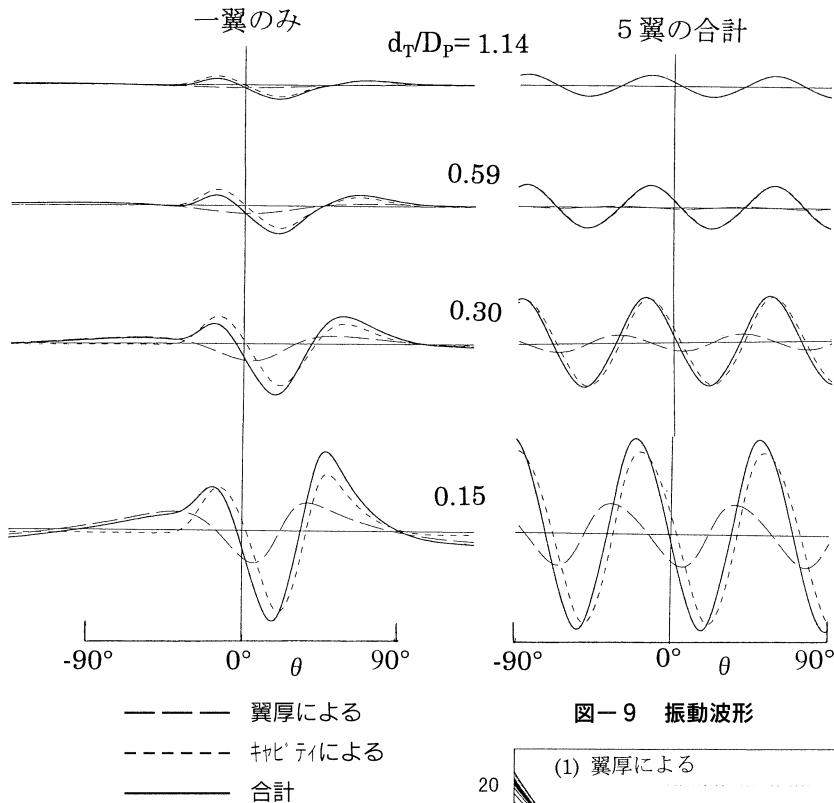


図-9 振動波形

ている。これらの図を見ると、チップクリアランスの増加に伴い、ほとんどの成分は減少している。また、翼数による変動圧力の減少率が大きいことが分かる。

**変動圧力はチップクリアランスの何乗に逆比例するか**

○ 式を見て言えること

変動圧力はチップクリアランスの何乗に逆比例するか

$$n ? \quad \Delta P \propto 1/d_T^n$$

は、昔から興味ある問題である。

前号の1式を見ると、被積分関数の第1項は $1/d_q$ すなわち $d_q$ に関する $n=1$ の項とキャビティ体積変化の項との積になつておらず、チップクリアランスが大きいときは $n=1$ になると予想される。第二項は、 $1/d_q^2$ すなわち $d_q$ に関する $n=2$ の項と $d_q$ の微分の項、およびキャビティ体積の項の積になつており複雑である。

なお、1式は翼面上に分布する点QとPとの距離 $d_q$ に関する式であり、チップクリアランスを図-8の点Tとの距離 $d_T$ で表した場合は、 $n$ は小さくなる。

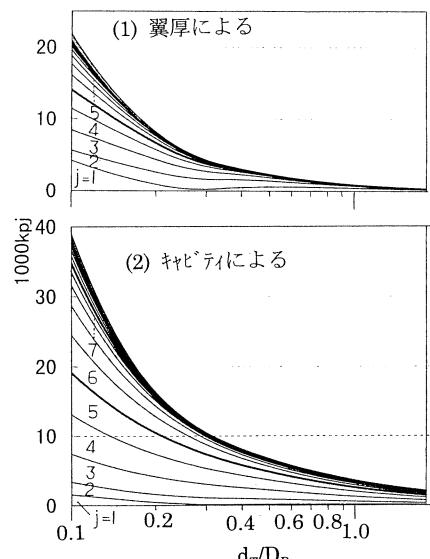


図-10 各次数成分の累積

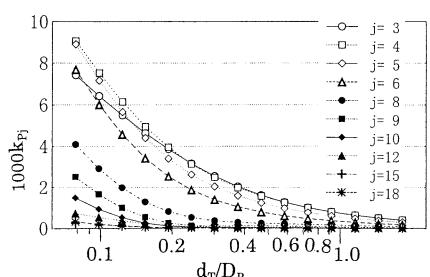


図-11 主な次数の振幅の変化

## ○ 計算例

図-9~10の例について、変動圧力のピーク値のnを計算した結果が図-12である。本例では、翼厚による変動圧力のnは、チップクリアランスが小さいときは $n=1.3$ となっているがチップクリアランスが大きくなるに従い増大している。キャビティによる変動圧力のnは、チップクリアランスが小さいときは複雑であるがチップクリアランスが大きいときは $n=1$ に収斂しているように見える。合計の変動圧力のnもチップクリアランスが大きいときは $n=1$ に収斂しているように見えるが、これは、翼厚による変動圧力の減衰が大きいためと考えられる。

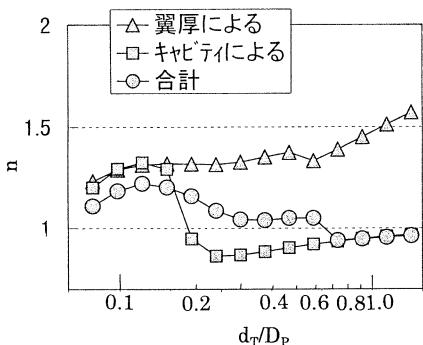


図-12 ピークピークのnの変化

次に、同じデータに関して、実用上重要な各周波数成分のnについて調べる。図-13がそれで、1は翼厚による変動圧力に関するn、2はキャビティによる変動圧力、3はそれらを合計した変動圧力のnである。

本図によると、翼厚による変動圧力に関するnは、チップクリアランスが大きくなるに伴い大きくなる。また、次数jが大きいほど大きくなることが分かる。これは、翼数が大きいプロペラおよび翼周波数の高次成分では、翼厚による変動圧力の減衰が大きいことを示している。キャビティによる変動圧力に関しては、3~6翼プロペラの翼周波数一次成分であるj=3~6の成分のnは、チップクリアランスの増大に伴い $n=1$ に収斂している。チップクリアランスが小さい場合も1に近い値となっている。高次成分の場合もチップクリアランスの増大に伴い $n=1$ に収斂しているようであるが、チップクリアランスが小さい場合の変動圧力の変化は複雑でマイナス(チップクリアランスの増大に伴い変動圧力が増加する)になる場合もある。

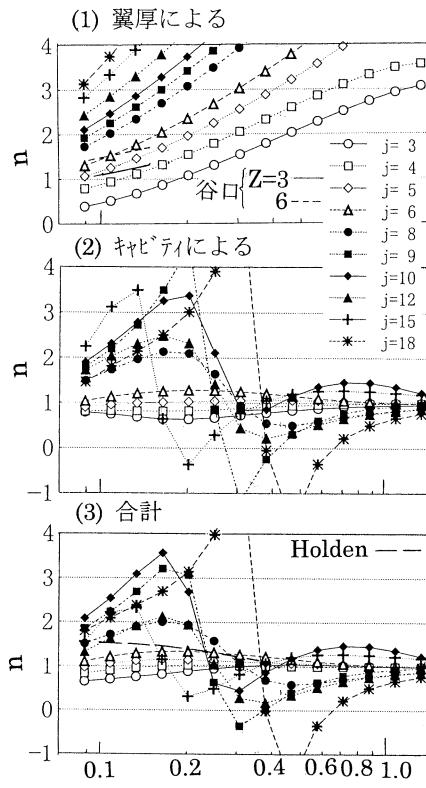


図-13 主な次数のnの変化

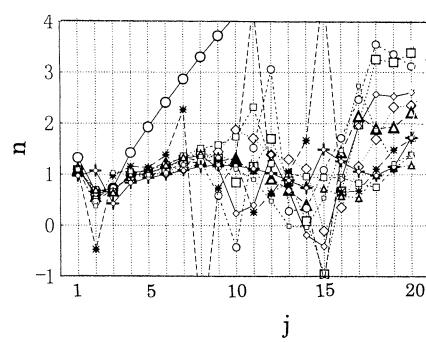


図-14 キャビティパターン等を変えたときのn

表-1 nの平均値

Z \ k	1st	2nd	3rd
3	0.98±0.09	1.32±0.33	1.05±0.65
4	1.03±0.07	1.19±0.30	0.77±0.36
5	1.12±0.11	1.44±1.11	1.03±0.44
6	1.32±0.33	0.77±0.36	1.87±0.86

Z: 翼数 k: 翼周波数ベースの次数

合計の変動圧力の場合は、キャビティによる変動圧力の場合とほとんど同じ傾向である。

以上の例に加えて、キャビティパターン等をいろいろ変えた12ケースについて

計算を追加してみた。その結果が図-14である。これは通常のチップクリアランスである $d_q/D_p=0.2\sim0.5$ のnの平均値を次数jベースに示したものである。同一のプロペラのデータは線で結んである。 $\bigcirc$ 印はキャビテーションが発生していないプロペラ、他は発生しているプロペラのnである。幸いにして翼周波数一次成分キャビティに対応するj=3~6の場合はキャビティパターン等による違いは小さいが、高次成分ではバラバラとなっている。

$\bigcirc$ 印のデータを除く11ケースのデータの平均値と標準偏差を表-1に示すが、一次成分では翼数の増大に伴いnが大きくなっているが、平均値は $n=1.1$ である。高次成分では、平均的には $n=1.2$ となっているが、ばらつきが大きく一般的傾向は認められない。

変動圧力はチップクリアランスの何乗に逆比例するかは、昔から興味ある問題で、谷口(1)が示したキャビテーションがない状態での実験結果では、 $n=0.6\sim1.6$ で、チップクリアランスが大きくなるに従い、また翼数が大きくなるに従い大きくなっている(図-13の1参照)。また、よく使用されるHolden(2)のキャビテーション発生時の式では、原式を本報告の記号の定義に変更すると

$$n = 1.63 - 1.4(d_q/D_p) \quad d_q/D_p < 0.45 \\ 1.00 \quad > 0.45$$

で、チップクリアランスが小さいときに大きくなり、通常のチップクリアランスで $n=1.2\sim1.3$ となっている(図13の3参照)。他の文献でも $n=1$ 程度となっている。(つづく)

## 参考文献

- (1) 谷口中他：‘プロペラによる船体振動研究の展望’，三菱重工技報 vol1.5, No.4 (1968)
- (2) K.O.Holden : ‘Excitation forces and afterbody vibrations induced by marine propeller blade cavitation’ , Norwegian Maritime Research No.1(1979)



# プロペラによる変動圧力(その3)

前号(SRC News No.42)に引き続いてプロペラ翼面上のキャビテーションにより発生する変動圧力の性質について述べる。なお、章、図番号は前号に続いた番号としている。

## 7. スキー

プロペラのスキーを大きくすることによってプロペラ起振力を減少させるアイデアは昔からあったようであるが、米国におけるハイスキュープロペラ(Highly Skewed Propeller)実用化の報告が1970年代前半に発表されて以来、我が国でも本格的に研究が進められ、現在ではハイスキュープロペラは特別のプロペラではなくなっている。

当初、ハイスキュープロペラはプロペラ起振力の内、shaft vibrating forceを小さくする方法として試みられたが、その後、どちらかというとプロペラ起振力としてはより重要なサーフェスフォースを小さくする方法としてとらえられ、現在に至っている。

### ○位相のずれ

ハイスキュープロペラは、プロペラの各半径位置の翼が船尾伴流の低流速領域を通過するタイミング(位相)のずれを利用するプロペラである。図-15はその様子を計算例で示したもので、下図はスキュー角 $\theta_s = 0^\circ$ の例、上図は $\theta_s = 50^\circ$ の例である。

キャビティ形状等は前々号の図-4と同じであるが、各半径位置のキャビティ形状はスキューによって変わらないものとして計算した。一般にスキューを変えるとプロペラ周りの流れも変わり、スキュー以外のプロペラ形状を同一に保つたとしてもキャビティ形状は変化するが、キャビティ形状の理論計算による推定が実際上困難な現状から、各半径位置のキャビティ形状は変わらないと仮定した。よって、実際のプロペラの場合は、ここ

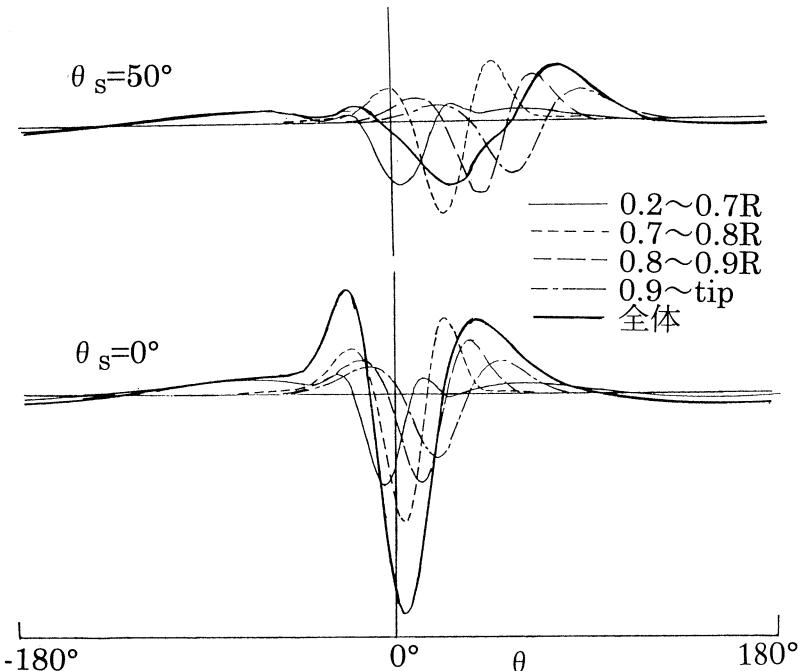


図-15 各翼素が発する変動圧力

で示す計算例とは異なると思われる。

図-15は一翼が発生する変動圧力を示しているが、図中の細い実線、点線等は各半径位置からの寄与による変動圧力で、太い実線はそれらの合計である。本図から、ハイスキュープロペラが各半径位置からの変動圧力の位相ずれを利用して合計の変動圧力を小さくしている様子が良く分かる。

### ○スキューとスキュー分布

プロペラのスキューに関しては未だ万国共通の定義がない。論文や船級協会規

則におけるスキューに関する記述はその定義から始めるのが正確である。

本文においては、翼根部の翼弦中央を通る線を基準線(generator line)とし、螺旋面に沿ったプロペラチップの角度をスキュー角 $\theta_s$ としている。

また、どのような定義であれ、一つの数値でスキューを定義するには無理がある。図-15の $\theta_s = 0^\circ$ 、 $50^\circ$ の例は、図-16の(1)、(4)のスキュー分布に関する計算結果であるが、同じく $\theta_s = 50^\circ$ といつても同図の(4)と(5)とでは、プロペラ起振力からみて(本文の対象外であるが、プロペラ翼の強度においても)大きく異なる。ここでは、仮に実線のスキュー分布をF&B(forward & backward)スキュー、点線の分布を直線的スキューと呼ぶ。これら二種のスキュー分布に関する計算例を図-17に示す。これは、 $\theta_s = 50^\circ$ のプロペラに関する変動圧力の各周波数成分の振幅であるが、比較のため $\theta_s = 0^\circ$ のプロペラの変動圧力も示してある。3~6翼の一次

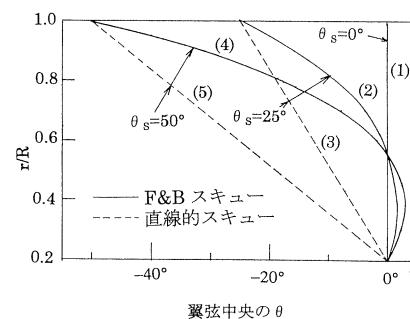


図-16 スキーの定義

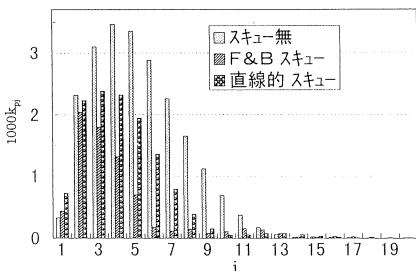


図-17 スキー分布による変動圧力の比較

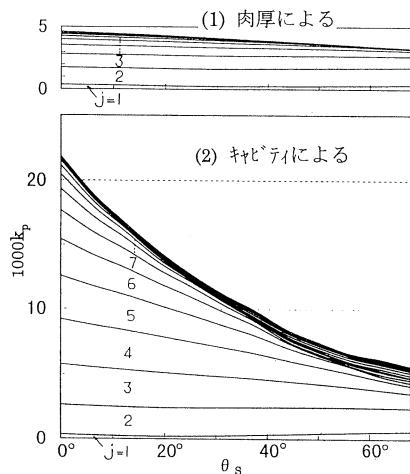


図-18 各周波数成分の累積

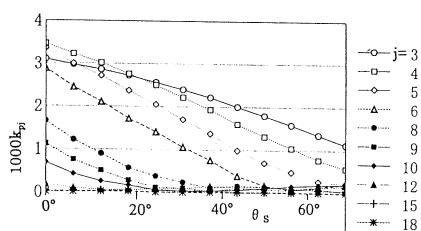


図-19 主な周波数成分のスキーによる変化（肉厚による変動圧力とキャビティによる変動圧力の合計）

成分に当たる  $j = 3 \sim 6$  の成分をみると、直線的スキーに比べて、F&B スキーの場合の変動圧力が  $1/2$  程度になっている。また、 $j = 10 \sim 12$  では、大小関係が逆転している。

### ○スキーと変動圧力

F&B スキーの場合についてスキー一角  $\theta_s$  を系統的に変えた場合の計算例として、変動圧力の各周波数成分の振幅の累積を図-18に示す。また、図-19には、3~6 翼プロペラの翼周波数1~3次成分に関わる成分の振幅を示す。

これらの図をみると、全体としては、 $\theta_s = 0^\circ$  の場合に比べて、 $\theta_s = 20^\circ$  で 25%、 $\theta_s = 20^\circ$  で 45%、 $\theta_s = 60^\circ$  で 65%、変動圧力が減少しているが、減少の度合いは周波数成分によって異なっている。すなわち、この計算例では、翼周波数一次成分に関わる  $j = 3 \sim 6$  の成分の場合、翼数が大きくなるに伴いスキーによる変動圧力減少率が大きくなっている。高次成分に関わる  $j = 8 \sim 10$  の成分の場合は、スキーが小さい内はスキーによる変動圧力減少効果が大きいが、スキーが  $\theta_s = 20^\circ \sim 20^\circ$  以上ではスキーの効果が無くなっている。翼周波数成分にはならないが、 $j=1$  の成分はスキーの増加に伴い増加している。また、翼厚による変動圧力はスキーによる減少効果が小さい。

以上のこととは、一つの計算例に過ぎないので、キャビティ形状等をいろいろ変えて同様の計算をしてみた。その平均値を図-20に示す。縦軸は変動圧力そのものではなく、 $\theta_s = 0^\circ$  の場合の変動圧力に対する比である。

本図から、F&B スキーの場合の傾向をみると、 $j = 3 \sim 6$  ではスキーを大きくすると変動圧力は小さくなる。 $j = 6$  の場合、 $\theta_s = 50^\circ$  では 10%程度まで小さくなっている。 $j = 8 \sim 10$  では最初は変動圧力が急激に減少するが、 $\theta_s \approx 30^\circ$  を越えるとスキーの効果は無くなってしまう。更に高次な成分の場合、キャビティ形状等によってスキーの効果が大幅に変わり、スキーによる効果がはつきりしなくなる。

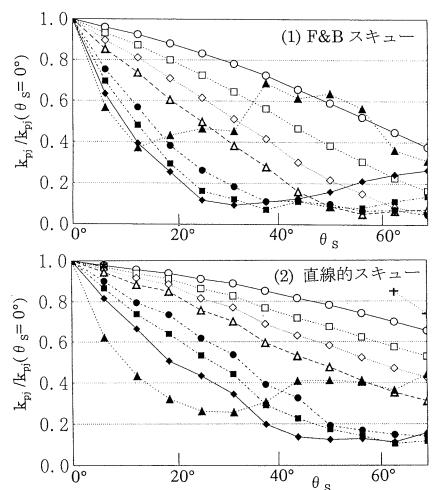
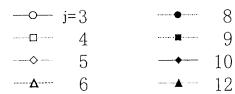


図-20 スキーによる変動圧力減少（9ケースの平均）

直線的スキーの場合を F&B スキーの場合と比べると、全体としてスキーによる変動圧力減少効果は半分程度になっている。また、大きなスキー角の場合の  $j = 8 \sim 10$  の高次成分でも、スキーによる減少効果が認められる。

(つづく)



## プロペラによる変動圧力(その4)

### 8. キャビティの大きさ・発生範囲

キャビティの平面形状と角度による変化が同一で、キャビティの厚みのみが異なる場合は簡単で、式(1)から、キャビティによる変動圧力はキャビティの厚みに比例することになる。

キャビティの平面形状が異なる場合や角度による変化が異なる場合の変動圧力は、(1)式を見ても分からぬ。(1)式で実際に計算してみる必要がある。ここでは、3個の計算例を示す。

一つ目は図-21で、キャビティの発生範囲が同一で平面形状が異なる場合の例である。本図の右上には、 $0.9R$ のキャビティ長さ $|c|$ と翼弦長 $|F|$ の比と一翼による変動圧力の波形を示してある。棒グラフは、一翼による変動圧力の各周波数成分である。(1)のキャビティ長さは(2)の2倍とした。キャビティ厚みは同じにしたのでキャビティ体積も2倍である。全体として(1)の変動圧力成分が大きい。キャビティが大きいと変動圧力も大きい、という経験と合っている。

しかし、 $j=8, 12$ の成分(4翼プロペラの翼周波数2,3次成分)では逆になつてゐる。なおプロペラの翼断面形状を改良しキャビティを小さくしたとき、翼周波数の1次成分は減少するが2次以上の高次成分が逆に増大してしまうケースがあり、図-21の計算例がこれと同じ原因に基づくものか否かは不明であるが、現象は似ている。

図-22は、キャビティが発生する範囲を変えた計算例である。キャビティ長さの最大値は同一にした。(1)はプロペラに流入する流れの円周方向勾配が大きく、従つてキャビティの翼角度 $\theta$ に関する変化率が大きい場合を想定している。この計算例の変動圧力波形をみると、波形の広がりはあまり違わず振幅のみが変化しているよう見える。各周波数成分を見ても同じで、 $j \geq 3$ ではすべての成分で(1)の場合の

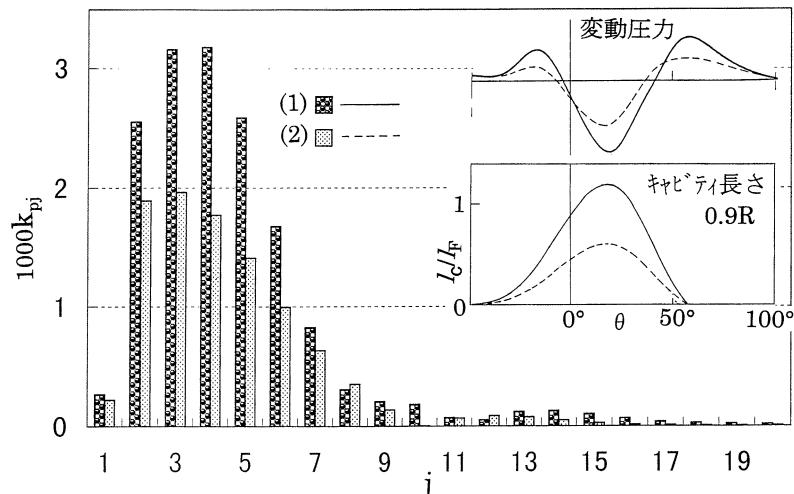


図-21 キャビティ長さの違い

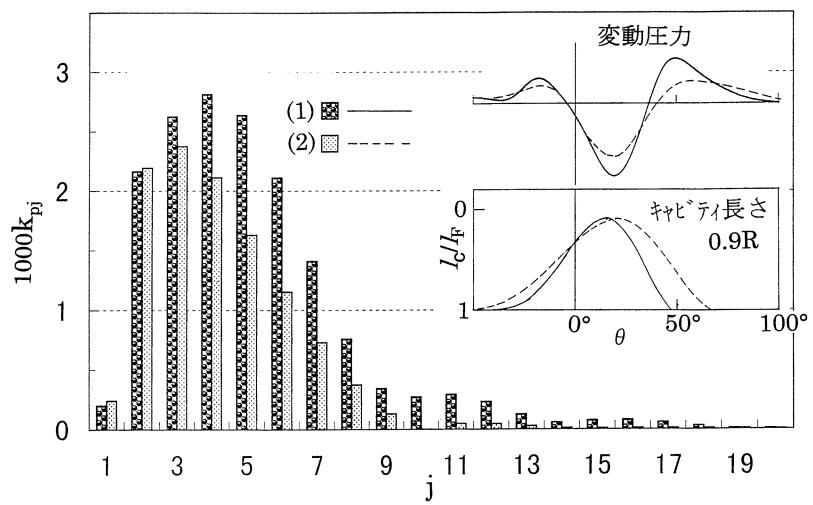


図-22 発生範囲の違い

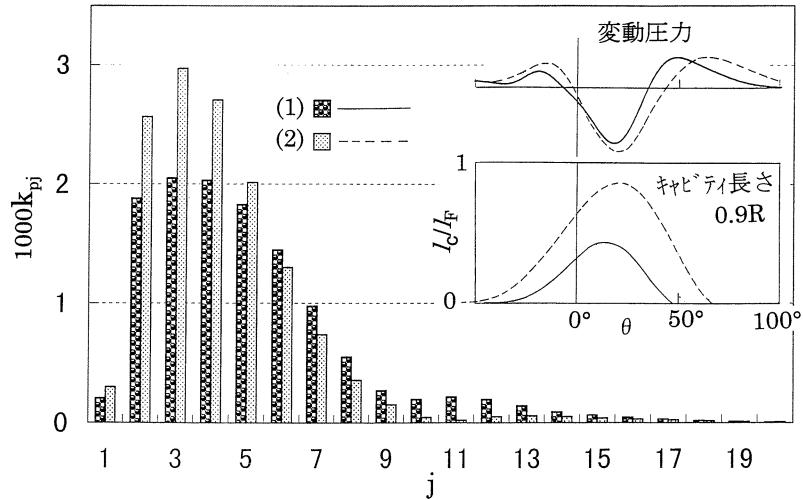


図-23 キャビティ長さおよび発生範囲が違う場合

振幅が大きい。この傾向は高次になるほど著しい。

又、図-22は、プロペラ起振力から見た船尾流れの重要性を良く示している。すなわち、プロペラに流入する流れの円周方向勾配が大きいとプロペラ起振力が増大して大きな振動の原因となり、プロペラ形状の改良のみではカバーしきれないこともある。

最後の計算例である図-23は、上記2個の計算例の組み合わせである。すなわち(1)は(2)に比べて、キャビティは小さいが発生範囲が狭い。変動圧力の各成分を見ると、 $j \leq 5$ では(1)の場合が小さいが、 $j \geq 6$ の高次成分では逆に大きくなっている。

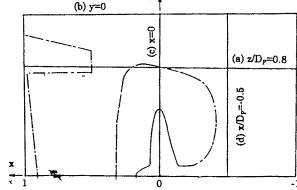


図-24 圧力変動計算

る。直感的には(1)の場合の変動圧力が小さくなりそうであるが、(1)のキャビティの変化率が大きいので高次成分では大きくなっている。

## 9. 変動圧力の全体的様子

いままでプロペラチップ直上の変動圧力の計算例を示してきたが、ここでは、図-24に示すより広範囲の領域における変動圧力分布の計算例を示す。ただし、プロペラの周りには主船体や舵が存在し、そこに伝搬された圧力変動は反射されるが、その影響を考慮した計算は大変なので、ここに示す計算例はプロペラ翼面における反射も含めてすべての反射の影響は無視している。

計算例を図-25, 26に等高線の形式で示す。ともに一翼が発生する変動圧力に関するもので、図-25はピーク/ピークの圧力係数、図-26は $j=5$ の周波数成分の振幅の圧力係数である。5翼プロペラの翼

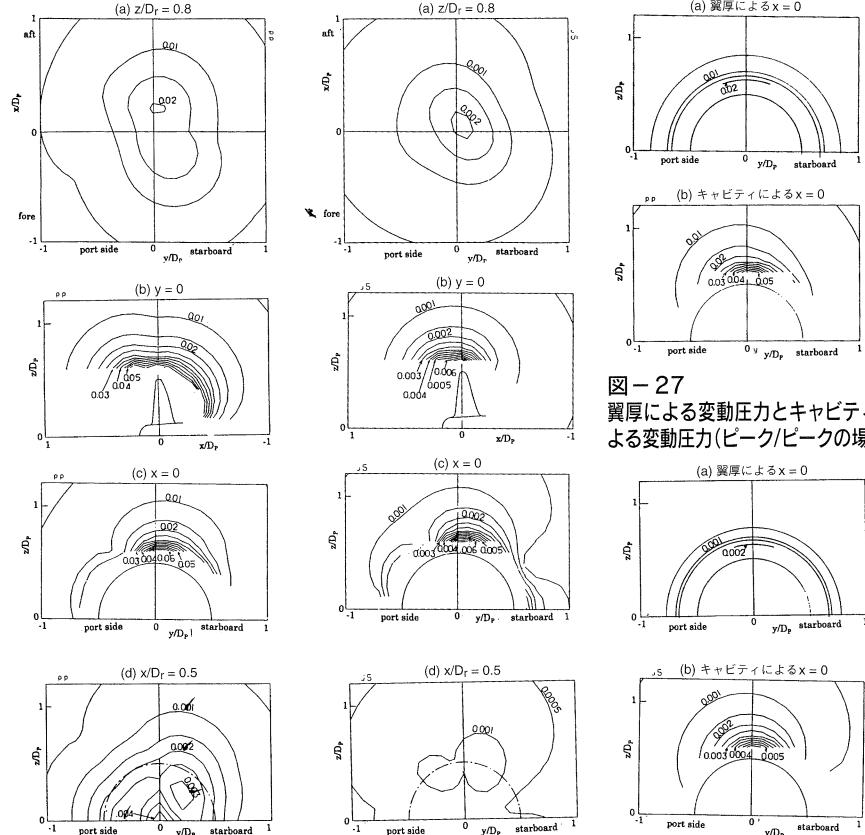


図-25 ピーク/ピークの分布

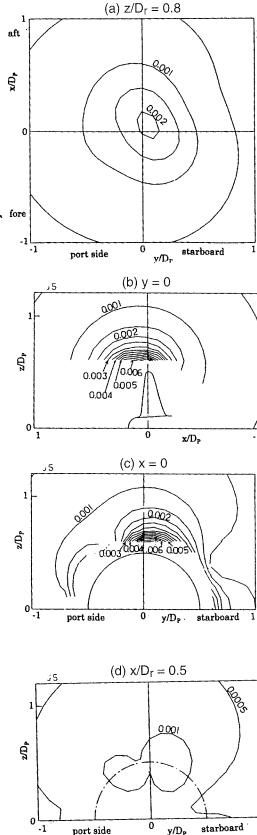


図-26  $j=5$ の成分の分布

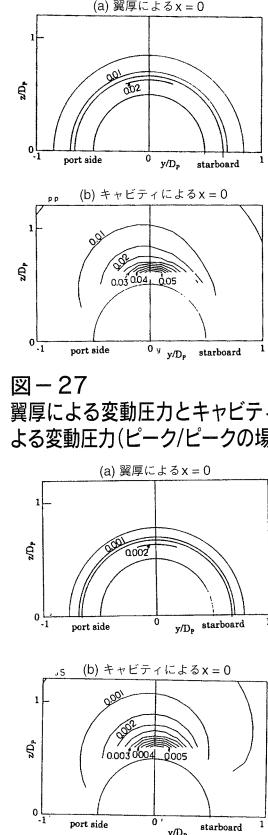


図-27  
翼厚による変動圧力とキャビティによる変動圧力(ピーク/ピークの場合)

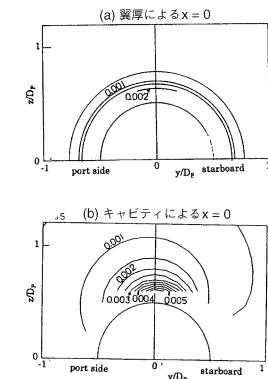


図-28  
翼厚による変動圧力とキャビティによる変動圧力( $j=5$ の場合)

周波数一次成分は、図-26の値の5倍となる。座標系は図-24に示してある。

(a)  $z/DP=0.8$ における分布を見ると、ピーク/ピークの場合は $x$ 方向に長い楕円状の分布となっている。 $j=5$ の成分の場合にはほぼ円になっている。中心は少し右舷側に寄っている。

(b)  $y=0$ における分布でも、ピーク/ピークの場合は $x$ 方向に長い楕円状の分布となつており、 $j=5$ の成分の場合はほぼ円になつていて、中心位置は、少し後縁側に寄つているように見える。

(c)  $x=0$ における分布を見ると、複雑な形状となつていて、図-27, 28に示すように、翼厚による変動圧力はプロペラ軸を中心とする同心円状になる。他方、キャビティによる変動圧力はおおよそプロペラチップ付近を中心とする円ないし楕円状

の分布となつていて、ともに単純な形状の等高線となつていて、両者の中心が異なつていて、その和の等高線は複雑な形状になる。

(d)  $x/DP=-0.5$ のプロペラ前方における等高線を見ると、変動圧力が小さくなつていて、中心が少し右舷側に寄つた分布形状となつていて。

## 10. おわりに

理論式をもとにプロペラによる変動圧力の性質を紹介してきました。プロペラによるキャビテーション現象は船の設計上重要なテーマです。今後の研究の進展を期待します。

