

漕艇中のオールに働く直圧力係数の過渡影響について

東京大学生産技術研究所

小林 寛, 木下 健

1 オールブレードの水中での動きについて

オールが水を捕らえて (Catch) から、水から抜ける (Finish) まで、漕いでいる漕手は自分の背後から前に向かってブレードが大きく移動したように見えるが、視点を陸の上に移すとほぼ定点で留まっているかのように見える。

さらに (見ることが出来たとして) 橋の上から見るなどすると、ブレードが水中をある軌跡を描いて運動していることが分かる。図.1 に一例を示す。

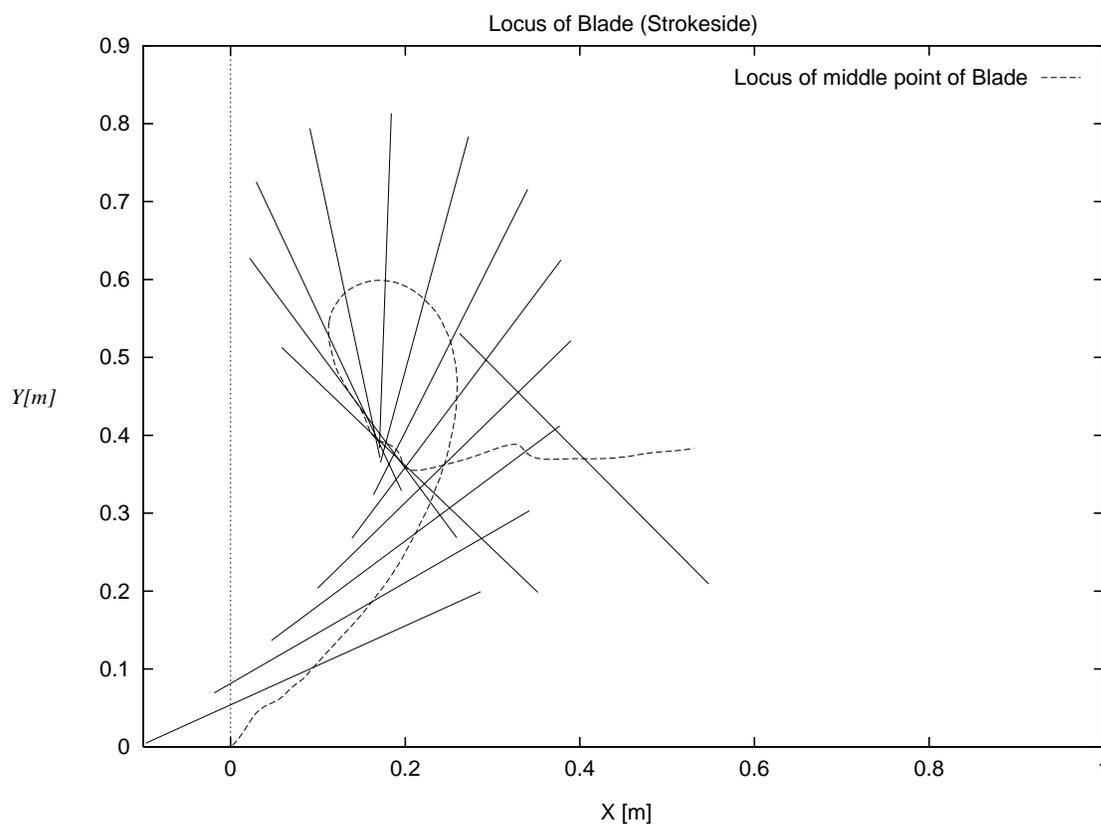


図 1: 水中でのブレードの軌跡 (Strokeside)

実線で示されたブレードと点線で示された軌跡により、ブレードが迎角を変えながら平板翼として水中を動いていることが分かる。

Catch 近辺では比較的浅い迎角であるが、Middle で 90° になり Finish に近づくに連れ逆側より流

れが入ってくる。図.2,3 にストローク中の迎角の変化および流速の変化を示す。ブレードの水中でのこの軌跡は、オール回転速度とハルの速度から求めることが可能であるため、流速に適当な流体力係数をかけることでブレードに加わる流体力を推定できることが出来ると考えた。

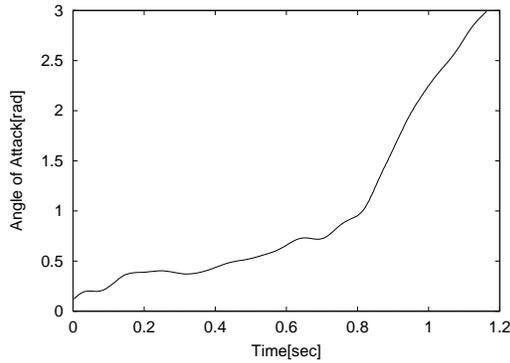


図 2: ストローク中の迎角の変化

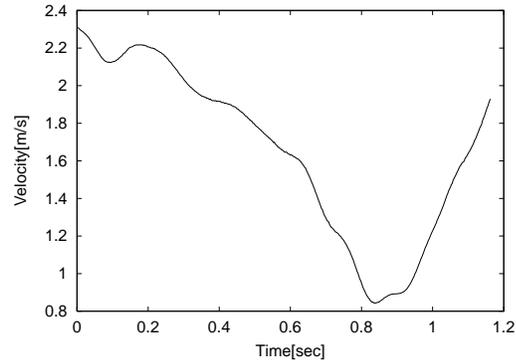


図 3: ストローク中の流速の変化

図.5 にオールの運動の様子を示す。ストローク中のアウトボードとインボードのモーメントが同じであると仮定すると、ブレードに加わる力は実測値であるインボードのモーメント $M_{in} = F_{handle} \cdot l_{in}$ を用いて表すことが出来る。

$$F_{blade} = \frac{M_{in}}{l_{out}} \quad (1)$$

一方ブレードの対水速度 V_b は、ハルの速度とオールの回転速度によって求めることが出来、それにより、ブレードに加わる力を無次元化できる。

$$C_n = \frac{F_{blade}}{\frac{1}{2}\rho V_b^2 S} \quad (2)$$

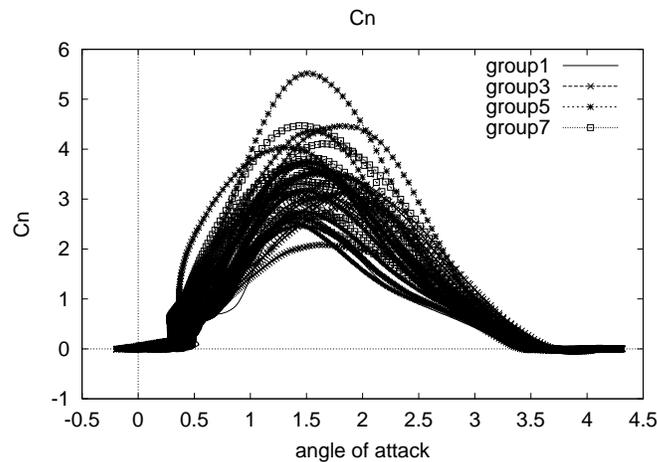


図 4: ストローク中の C_n の変化

C_n は、ストローク中に時々刻々変化していく。 C_n の変化を追ったものを 図.4 に示す。Group1,3,5,7 とあるのは計測の際に各々異なる RowingRate を設定した計測グループである。

このように、 C_n はピーク値および迎角に対するプロファイルとも、通常静的な状態と考えられるようなものにはならない。これらの流体力を見積もるためには、静的な流体力係数では不適切であると言える。

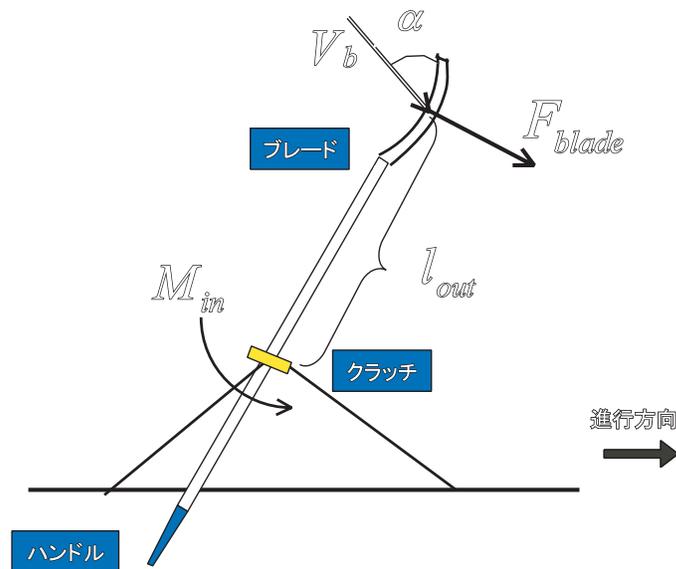


図 5: オールの運動 (Strokeside)

2 平板に加わる動的流体力の計測

2.1 実験の目的

オールのブレードの水中での現象は、対水流速・アタックアングル・背面の流場などが時々刻々ダイナミックに変化するため、ブレードに働く流体力を静的な揚力・抗力係数だけから推定するのは不十分である。時々刻々迎角・流速が変化する場合の流体力の変化を調べ、知る必要がある。そこで、オールのブレードを模した平板を流れの中におき、アタックアングルを変えることで平板に働く力がどのような時間的変化を示すかを計測し、流速・アタックアングルの変化速度などをパラメータとして、ダイナミックな揚力・抗力変化の様子を明らかにすることを目的とする。

2.2 実験の方法

回流水槽開口部に強制動揺装置 (PMM) を取り付け、それにロードセル・試験平板を取り付ける。に概略を 図.6 に示す。

今回使用した PMM は、 $\pm 180^\circ$ の振幅でヨーイングさせることが可能である。平板が流速に対して直角な状態を中立として、 $\pm 90^\circ$ の振幅で振動させ $0^\circ \sim 180^\circ$ の角度の変化を得る。PMM には緩動時間 (始動から定常運動をするまでの時間) があるため、静止状態から角度の入力に対して即反応させることは不可能で、定常状態に入ってから計測を行う。

実験に供する平板は、シングルスカルのオールのブレードとほぼ同じ寸法の、 $350[mm] \times 200[mm]$ の板を用いる。

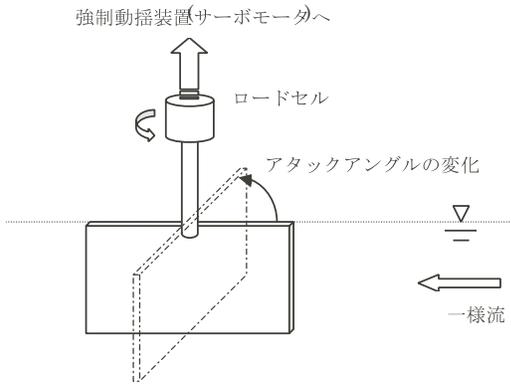


図 6: 実験装置概略

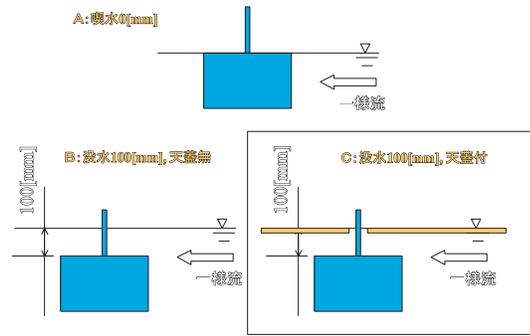


図 7: 平板の設定パターン

実験パラメータは、流速・回転角度の変化のさせ方(角度あるいは角速度)の2つ。しかし、流速は回流水槽の仕様上流速を変えることは出来ないで、0.8, 1.0, 1.2[m/s]の3パターンでそれぞれ固定して計測する。角速度は、PMM 制御装置に位置制御用の外部入力を与えることで制御する。

角度の変化は正弦波(正確には迎角が0°になる状態で若干静止させる)による周期入力、およびRowingBoatでの実験結果より得られたアタックアングルの変化による任意入力の2つ。前者の場合は、周波数を変えることによって周波数特性を見る。

平板の噴水は、当初は水線に合わせる予定であったが、激しいベンチレーションを起こすため、100[mm]沈めた。それでもまだベンチレーションを生じるケースがあったので、水面付近を広く板で覆いベンチレーションが起きないようにした状態で計測を行った。図.7にその3つのパターンを示す。以下特に記述がない場合は、右下の天蓋で覆った状態での計測結果である。

2.3 計測結果

2.3.1 静的な流体力

天蓋で覆った状態で、3つの流速についての静的な直圧力係数を図.8に示す。0.7[rad]($\approx 40^\circ$)付近で一旦ピークを示すようなグラフになる。

参考に噴水が0[mm]のときの係数も示した。こちらはピークが現れず迎角が $\pi/2$ になるまでほぼ単調に増加する。

2.3.2 動的な流体力の変化

天蓋で覆った状態の1.0[m/s]の一様流中で、平板を回転させたときの直圧力係数 $C_n = \frac{F_n}{\frac{1}{2}\rho V^2 S}$ を図.9に示す。

ここで分類されている周波数は、PMMのYAWを正弦振動させた周波数である。例えば0.2[Hz]では、YAWアングルが正弦波を描いて変化する周期が5[sec]ということであり、0°から180°まで回転するのに2.5[sec]を要する。実際には上記にもあるように、0°と180°の地点でしばしば静止するような信号を入力している。各々の周波数につき数十回計測を行い、平均流速が $\pm\sigma$ (σ :標準偏差)の範囲内のものの平均値を表示している。

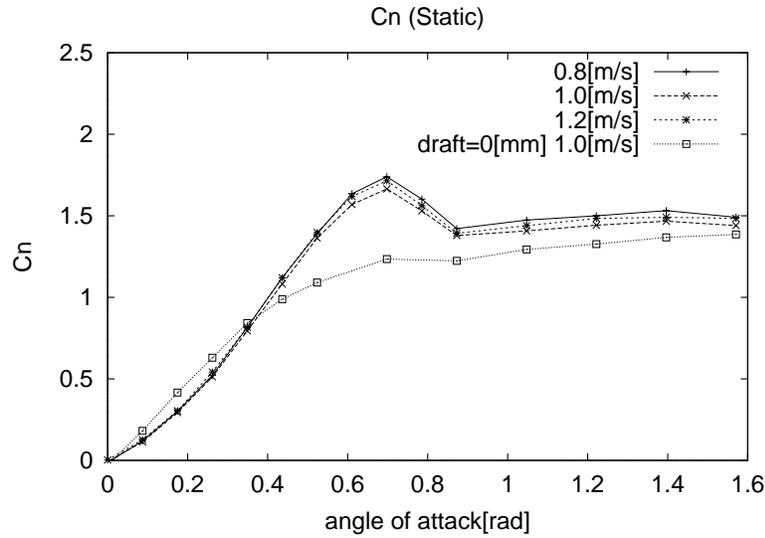


図 8: 静的状態での直圧力係数 C_n

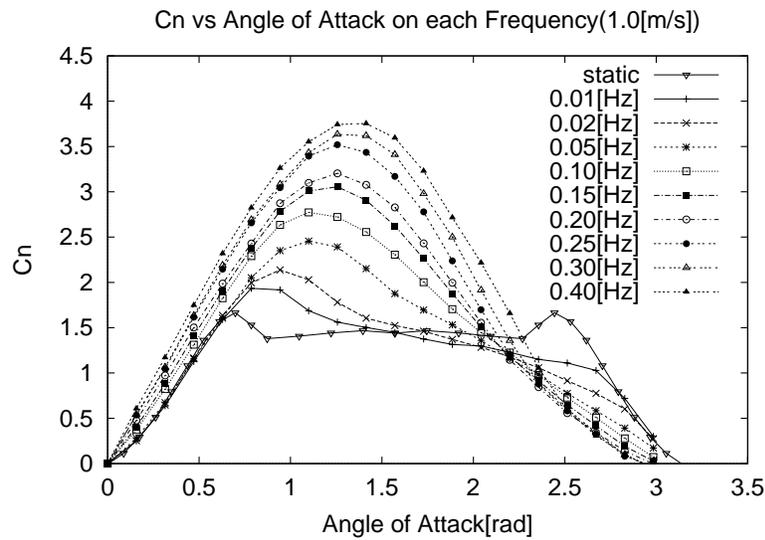


図 9: 一様流 1.0[m/s] 中の直圧力係数 C_n

2.3.3 計測したモーメントによるレバーで補正した場合

平板をまわすことで、相対流速および迎角は回転速度に応じて変化する。ここでは、鉛直軸周りのモーメントとコードに直角方向の流体力から着力点を求め、そのレバーを用いることによって相対流速と迎角を導いている。その関係を 図.10 に示す。

これにより、着力点は 図.11 のようになり、これを考慮に入れて、直圧力係数の変化を調べると 図.12 のようになる。着力点のグラフで迎角が 3[rad] に近いところでは、モーメントの値を除している流体力の値が微量になっているため、そのまま計算してしまうと値が発散してしまうため、ゼロになるようにしている。

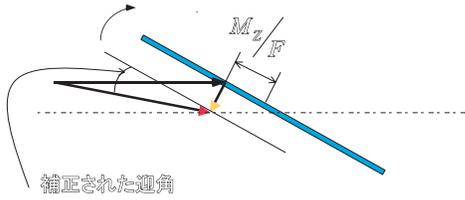


図 10: 回転することによる流速及び迎角の変化

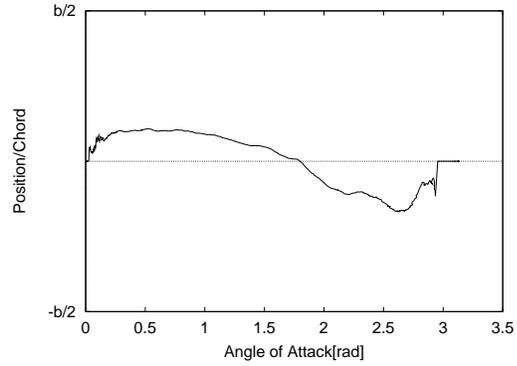


図 11: モーメントより求められる着点の影響を考慮した直圧力係数の変化

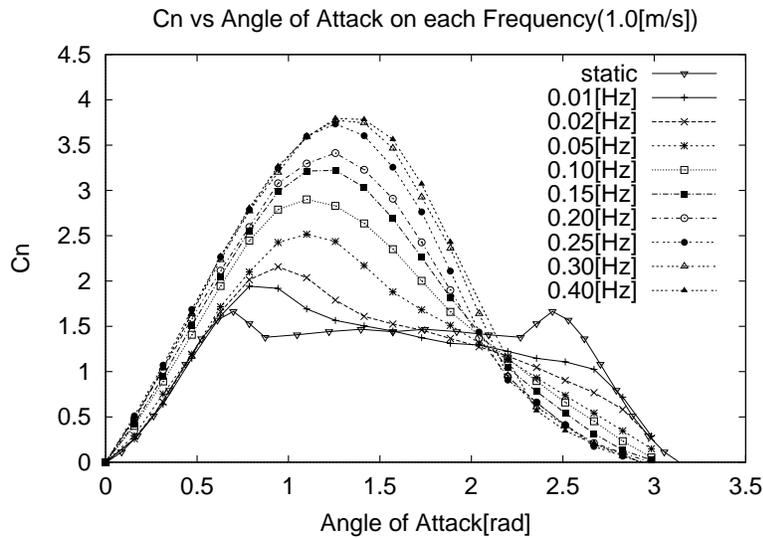


図 12: モーメントより求められる着点の影響を考慮した直圧力係数の変化

2.3.4 ベンチレーションによる影響

噴水が 0[mm] の場合は常に水面から泡を吸い込み、没水させていても天蓋が無い場合は時々シャフト伝いに泡を吸い込む場面が見られた。

流速が 1.0[m/s] の場合について、噴水が 0[mm] の場合・没水 100[mm] で天蓋が無い状態・没水 100[mm] で天蓋をつけた状態のそれぞれの C_n の変化の様子を図.13 ~ 15 に示す。

2.3.5 流速の違いによる変化

天蓋を覆った状態で、流速を 0.8[m/s], 1.0[m/s], 1.2[m/s] の 3 種類において実験を行った。先述の流速と迎角の修正を施した上で、各流速における直圧力係数の変化の様子を図.16 ~ 18 に示す。

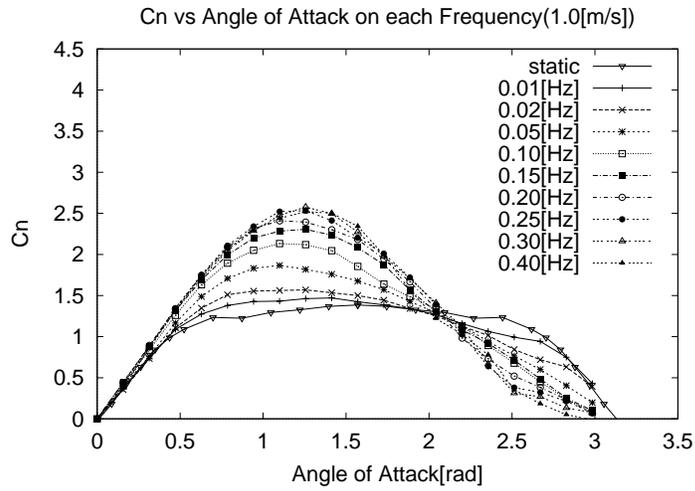


図 13: 噴水が 0[mm] の場合

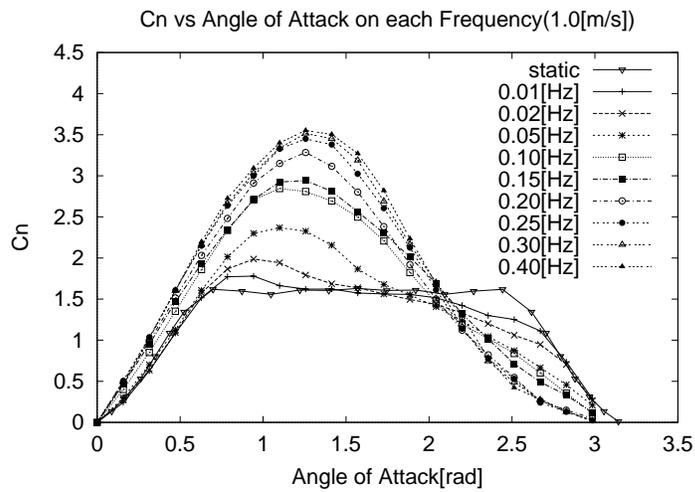


図 14: 没水 100[mm] で天蓋が無い状態

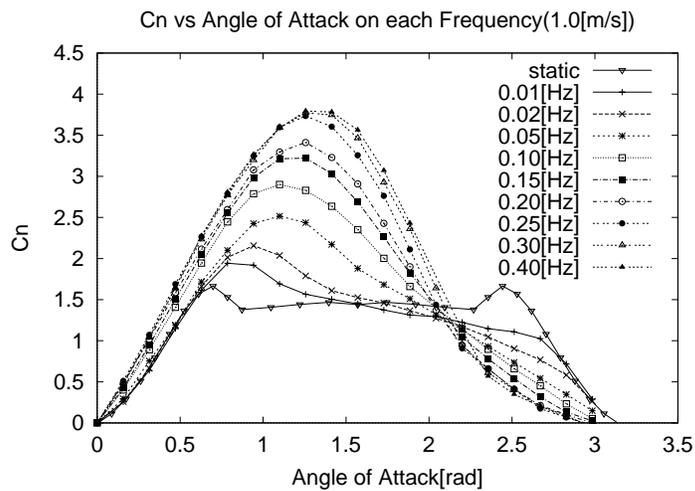


図 15: 没水 100[mm] で天蓋をつけた状態

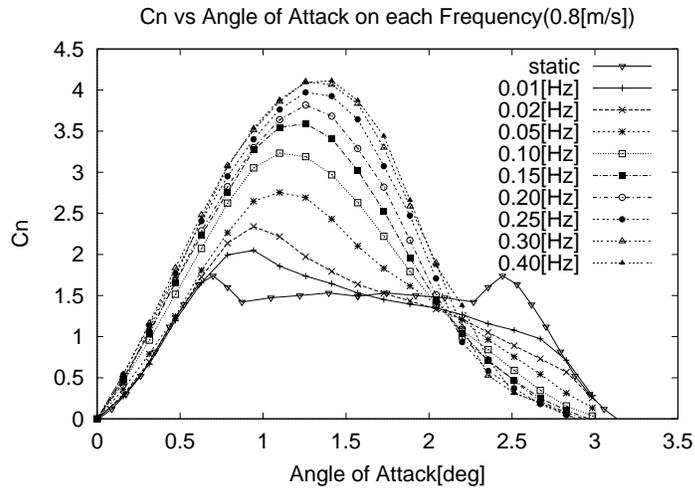


图 16: 流速 0.8[m/s]

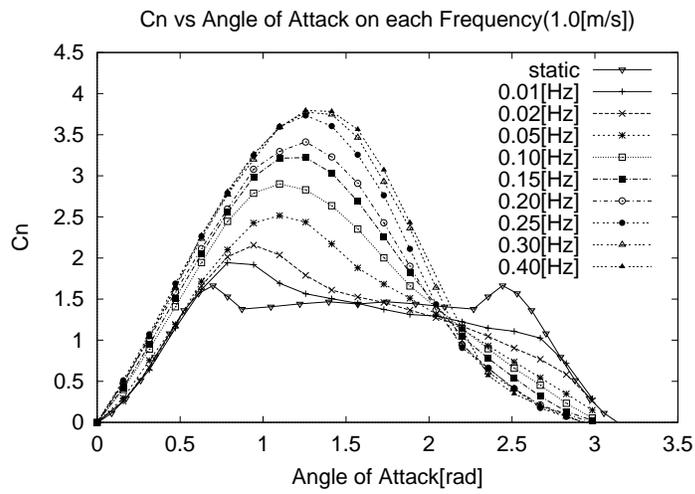


图 17: 流速 1.0[m/s]

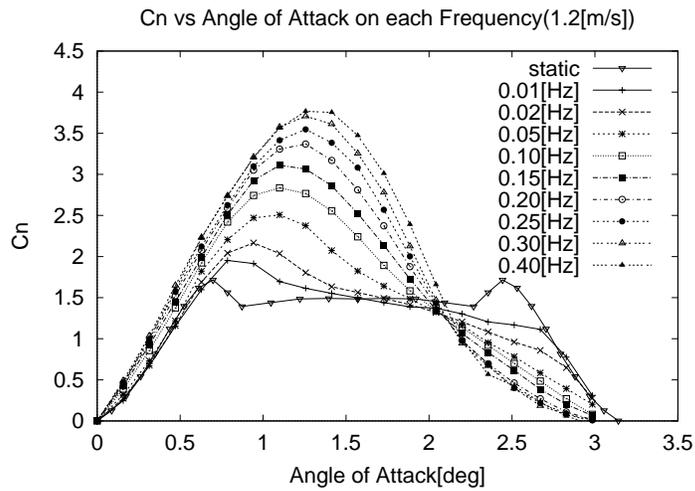


图 18: 流速 1.2[m/s]

2.4 実艇実験のデータとの比較

実艇実験から、ストローク中の迎角の変化を求めているので、その迎角変化を今回の計測値に当てはめ C_n を推定し、実艇実験でオールのパディングより求めた C_n との比較を試みた。

迎角が $0^\circ \sim 180^\circ$ まで変化する時間を求め、それに応じた C_n の変化を今回の実験のそれぞれの流速について外挿により求めた。

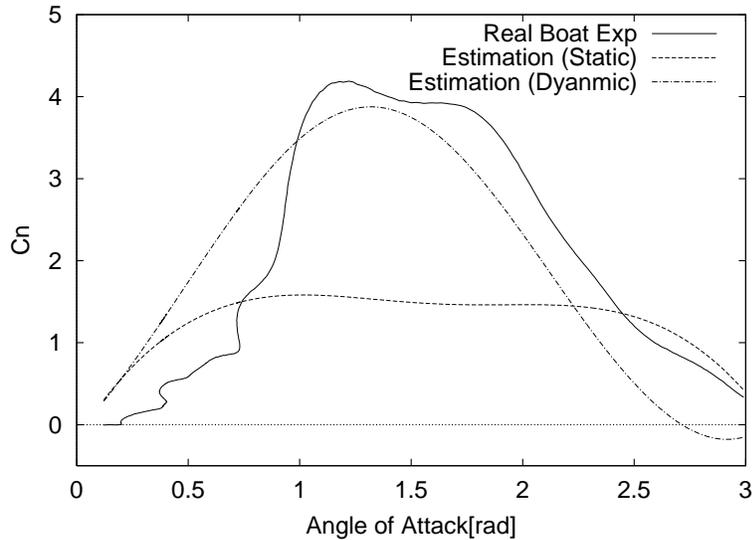


図 19: 実艇実験との C_n 値の比較

静的状態での C_n は明らかに実艇実験のそれと食い違っている。それに比べて、今回の計測により動的な影響を含めて推定した C_n は改善されて実艇実験に近づいているが、迎角が小さいときまたは大きいときにずれているのが分かる。

3 結論

- 回転する平板のような、時々刻々迎角が変化する場合は、定常な状態よりも倍程度の力が加わる場合があること、また迎角に対する変化の様子も大きく異なる事が分かった。
- 直圧力係数 C_n は、基本的には平板の回転が早くなるほど大きくなる。
- 喫水 $0[\text{mm}]$ などで大きく C_n の値が減じられるのは、ベンチレーションが影響を及ぼしているものと思われる。
- 今回の計測値を用いて、オールブレードの迎角の変化から C_n を推定したところ、静的な推定値を用いるよりも実際の C_n に近い推定を行うことができたが、迎角が小さいときおよび大きいときに問題がある。