

470 級の帆走性能解析

金沢工業大学 増山 豊

1 はじめに

470 級に乗っていないながら、この艇がある速度で走っている時の抵抗値がどのくらいなのかあまり注意を払っていない人や、先輩から言われたからと訳も分からずにハルやセンターボードを磨いている人はいないだろうか。この艇を何とか速く走らせたいと思いながら、どうしたらいいのかと悩んでいる 470 乗りの皆さんに、何らかの理論的な根拠となるものを提供したいというのがこの小論の目的である。

セーリングヨットの性能予測を行うためには、まず船体とセールに作用する力とモーメントを知る必要がある。さらにある風向風速の時にどれくらいの速度が出るのかを知るためには、これらの力とモーメントが釣り合う状態を求めなくてはならない。そこでまず、470 級に作用するこれらの力とモーメントを求める方法について説明し、次いでこれらの釣り合い状態の求め方について概要を述べる。また、この方法を用いていくつかの性能比較を試みてみたい。

なお以下に示す性能解析は Microsoft Excel を用いて行ったものである。Microsoft Excel には「ソルバー」と呼ばれる機能や、VBA というプログラミング機能が備わっているので、特殊なソフトウェアを用いなくても自動計算を行うことができる。この手法の詳細は JSAF のホームページに「Excel を用いた 470 級の帆走性能解析手法」という小論（以下、文献（1）と呼ぶ）を掲載しているので、興味のある方はダウンロードの上、計算を行ってみたい。

2 470 級艇の概要

470 級艇の諸元を表 1 に、帆装図を図 1、船体船図を図 2 に示す。帆装図は日本 470 協会のホームページ²⁾より引用した。また、船体線図や面積などは公表されていないので、後述の多田納久義氏³⁾らによる実艇からの推定値を示している。

表 1 470 級艇の諸元

全長	<i>LOA</i>	4.70 m	ラダーを含まず
水線長	<i>LWL</i>	4.39 m	ラダーを含まず
喫水線幅	<i>BWL</i>	1.32 m	
最大喫水深さ	<i>D</i>	1.085 m	センターボード下端まで
濡れ面積	<i>A_w</i>	5.28 m ²	ラダー、センターボードを含む（両面）
船体側面積	<i>A_p</i>	0.974 m ²	ラダー、センターボードを含む（片面）
セール面積	<i>S_A</i>	12.7 m ²	$\gamma_A < 100^\circ$ メイン：9.1m ² ジブ：3.6m ²
〃	<i>S_A</i>	19.1 m ²	$\gamma_A > 100^\circ$ メイン：9.1m ² スピン：10.0m ²
風圧中心前後位置	<i>G_{xce}</i>	0.04 m	船体中心より（図 1 の帆装図の面積中心）
風圧中心高さ	<i>G_{zce}</i>	2.63 m	喫水線高さより（ 〃 ）



図1 470級の帆装図

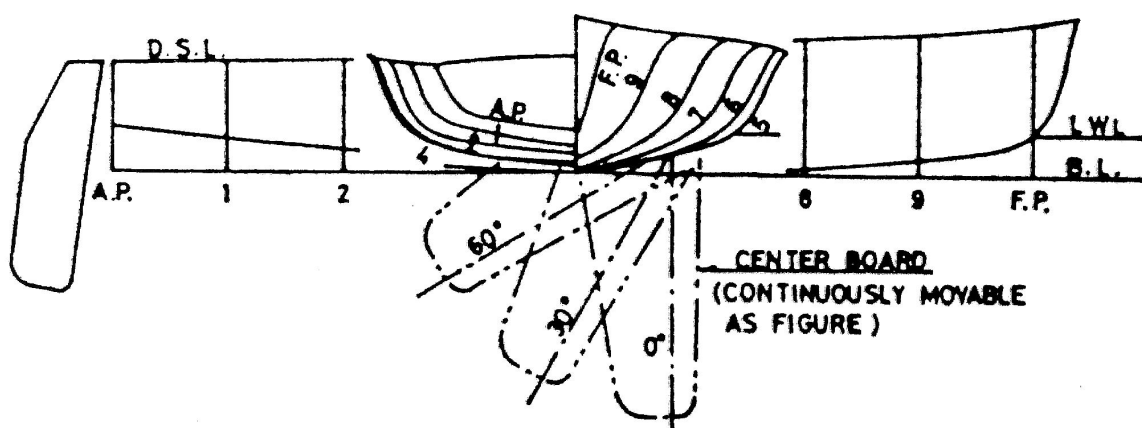


図2 470級の船体線図

3 直進抵抗

3-1 実測値と推定値

470 級が直進しているときの抵抗はどれくらいであろうか。これを知るために、金沢工業大学学生セーリング部部員の協力を得て、470 級の実船曳航試験を行なった。体重の合計が 140kgf 程度のスキッパーとクルーが乗艇し、ブーム、セール、アンカーなど帆走に必要な艀装品は全て搭載したヤマハ製の 470 級の艇を、モーターボートで曳航した。曳航点は本来はセールの風圧中心高さから引くべきであろうが、高速時の危険性を考慮してマストのコクピット床面から 1.5m の高さに曳航ロープを結びつけた。また同様の理由でラダーはセットしてスキッパーが操作しているものの、センターボードは上げた状態としている。曳航速度はハンディ GPS を用いて測定し、曳引抵抗は低速時はフルスケール 20kgf、高速時はフルスケール 50kgf のバネ秤を用いて、モーターボート側で測定した。海上は穏やかであったが、多少風があったためなるべく風に対して直角方向に走行するとともに、往復走行して計測を行なった。測定結果を図 3 に示す。図中の●点が実船曳航試験結果である。

また図中の曲線は、多田納久義氏³⁾が大阪大学の曳航水槽において実施された、1/2.5 スケール模型による結果から実船換算したものである。破線はセンターボードなし（上げ）の結果であり、速度 3.5m/s（約 6.8 ノット）以下の範囲で、同一条件で行なった実船曳航試験結果とよく一致しているものといえる。これ以上の速度になると実船曳航試験結果の方が大きな値を示すようであるが、これは実船曳航試験と模型試験の曳航高さの違いによるものと考えられる。すなわち、実船曳航試験では上述のようにコクピット床面から 1.5m の高さから曳航したが、模型試験の曳航点はほぼデッキ高さであった。このため実船曳航試験時の方が船首が沈む結果となり、より大きな抵抗になったものと考えられる。

一方、図中の実線は破線のグラフにセンターボードの抵抗を加え、センターボードを下ろした状態として求めた全抵抗値である。ここではセンターボードの表面はツルツルとし表面摩擦抵抗だけを考慮している。艇速 3m/s（約 5.9 ノット）時のセンターボードの摩擦抵抗は、約 1.7kgf であり、全抵抗 17.5kgf の 10%程度であることがわかる。

ここで注目してもらいたいのは、かなり早く感じられる 3.5m/s（約 6.8 ノット）の速度であっても、全抵抗値は 25kgf 程度しかないということである。すなわち、20 リットル入りポリタンクの満タンの重さを少し上回る程度の値でしかないのである。また 2m/s（約 3.9 ノット）の速度であればわずか 5kgf 程度であることもわかる。これは水に浮かんだ実艇を手で曳航した経験のある人であれば、納得できる数値であろう。

3-2 摩擦抵抗と剰余抵抗

図中の下側に一点鎖線で示した曲線は、船体抵抗から船体表面に作用する摩擦抵抗を差し引いた値である。これは剰余抵抗と呼ばれ、船が波を造ることによって生ずる造波抵抗にほぼ匹敵するものである。図より速度 2m/s（約 3.9 ノット）以下では剰余抵抗はごくわずかで、ほとんどが一点鎖線の上側の摩擦抵抗であり、3.5m/s（約 6.8 ノット）であっても 1/3 以上が摩擦抵抗で占められていることがわかる。

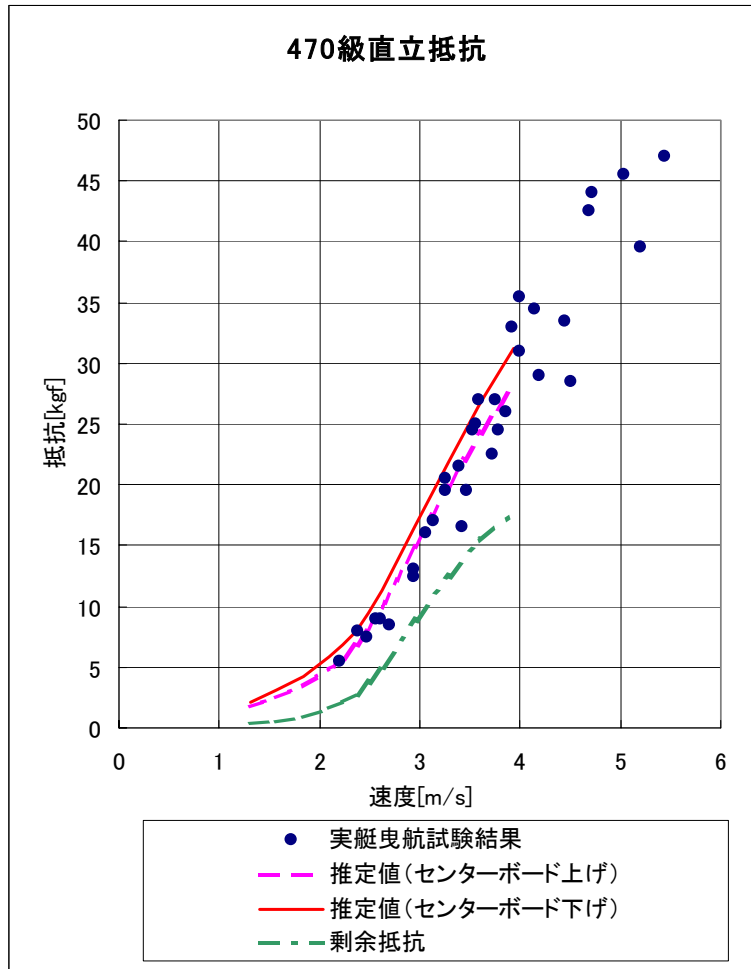


図3 470級の直立抵抗値

剰余抵抗は船型と排水量によってほぼ決まってしまうので、乗り手としては（乗艇位置を変えてピッチトリムを変える以外）如何ともしがたいが、摩擦抵抗は表面を磨くことによって減らすことができる。全抵抗に数%の違いがあれば、レースの勝敗を決するに十分であろう。すなわち数百グラムの違いである。レース前に船体やセンターボード、ラダーの表面を磨き上げることの重要性が理解頂けたであろうか。なお摩擦抵抗の影響の例として、ランニングでセンターボードを下ろしたままの場合と、上げた場合の速度の違いについて後述する。

4 横流れなどによる船体抵抗の変化

470級などのセーリングヨットのセールに作用する力は、追い風状態を除いて一般に船の進行方向と一致していない。このため船はヒールし、横流れ（リーウェイ）しながら、かつラダーを少しきった状態で帆走することになる。この場合船体に作用する抵抗は、上述の直進抵抗に比べて一般に大きなものになる。特にラダーに作用する抵抗は馬鹿にならないので、セールと船体のヨーモーメント（船首を回頭させようとするモーメント）を釣り合わせるために、大きな舵角を切ったまま帆走することは避けなければならない。

このように、船がヒールしたり、横流れしたり、あるいは舵角を切ったりしたときに船体に新

たに作用する力やモーメントは、水槽模型試験（斜航試験や舵角試験などと呼ばれる）などで求めることができる。ここで座標系と力やモーメント、ならびに角度の定義を図4に示しておく。図中の矢印の向きがプラス方向を表している。なおこれらの力やモーメントの求め方の詳細については文献（1）を参照頂きたい。

ここで一つの例として、上記の舵角 δ による抵抗変化を求めてみよう。 $V_B = 3\text{m/s}$ の場合について $\delta = 0^\circ \sim 10^\circ$ の範囲で実船レベルで求めた結果を図5に示す。なお図において負の値は、船体前後方向（x軸方向）において後ろ向き（抵抗）の値を示している。図より $\delta = 6^\circ$ で抵抗値の増加分は 2kgf 、 $\delta = 10^\circ$ であれば 5.6kgf となることが分かる。これは $V_B = 3\text{m/s}$ 時の直進時の全抵抗が約 17kgf であることを考えると、いかに大きな抵抗になるかが分かるであろう。艇体とセールのバランスが悪くいつも大きな舵角を切りながら走っている人は、マストレーキやセールトリムを変えて舵角が小さくなるように工夫した方がよい。またタッキング時に、急に大きな舵角を切ることも同様の抵抗増加につながる。最初はあまり大きな舵角を切らず、艇が回頭をはじめてから大きく切る方がよいと考えられる。

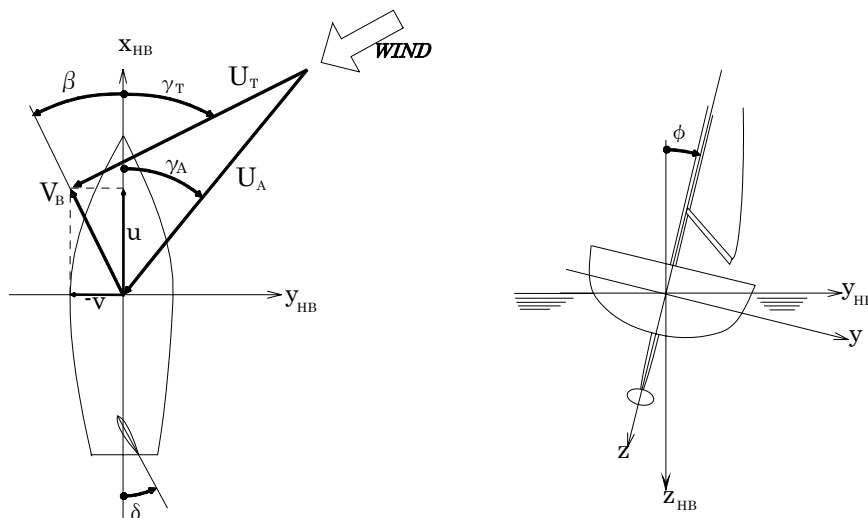


図4 座標系ならびに力、モーメント、角度の定義

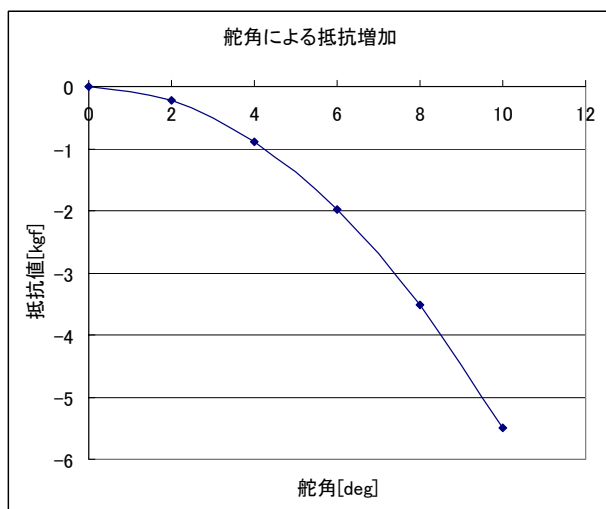


図5 舵角による抵抗増加

5 セールに作用する流体力

470級のセールに関しては上述の多田納氏らが模型風洞実験を行い、特に流体力の着点について貴重な知見が得られている。通常帆装図の図面上の面積中心をCE (Center of Effort) と呼び、この点に流体力が作用するものとして設計が行われている。しかしながら実際の着点の位置は風向によって変化することが知られており、上述のヨーモーメントやヒールモーメントに影響を与えるので、これを明らかにすることは重要である。ここではこの着点データと、筆者らが先に行ったFlying Fifteen級のセール風洞試験結果⁴⁾をもとにセール流体力を求めることにする。なおFlying Fifteen級と470級のセール形状はほぼ同一と見なすことができる。

船体x軸方向のセール推進力係数を Xs' 、y軸方向の横押し力係数を Ys' とする。 Xs' と Ys' についての風洞実験結果を図6に示す。横軸は相対風向(後述) γ_A を表しており、 $\gamma_A=100^\circ$ 付近でメイン+ジブから、メイン+スピネカーに切り替わるものとしている。

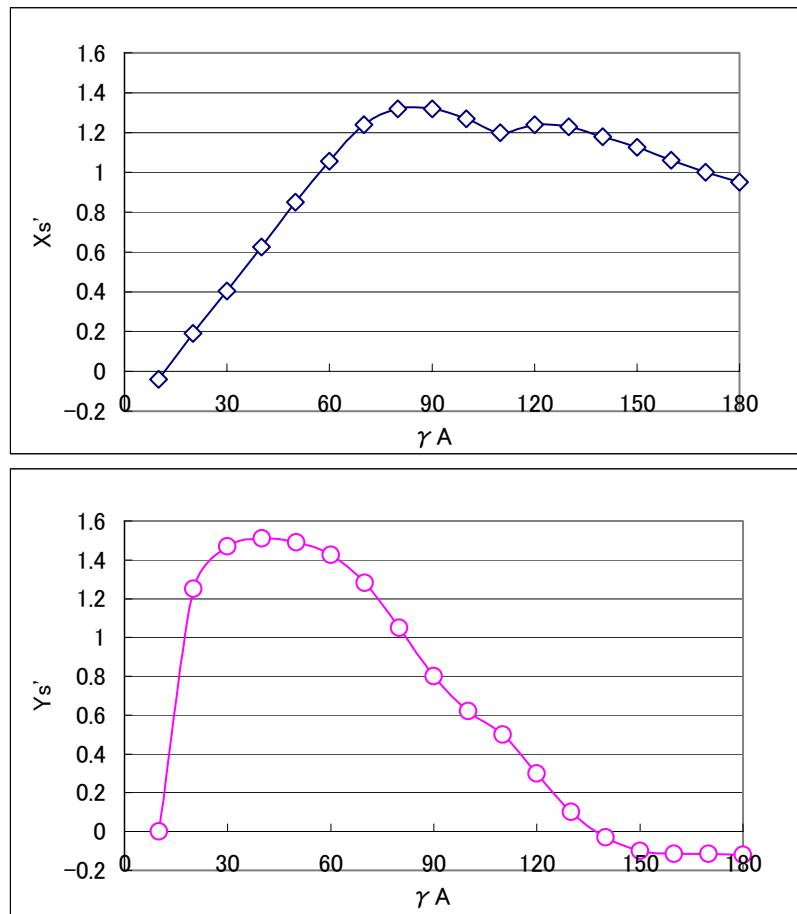


図6 セール流体力係数(Xs' , Ys')

図面上の面積中心 (CE) からの着点のずれを実船スケール[m]で表したものを図 7 に示す。 Δx_{ce} は前後方向のずれを表しており、正の値はCEより前方であることを示している。相対風向 γ_A が 50° 以下のクローズホールドからクローズリーチにかけてはCEよりも 10cm程度前にあることや、アビームでは逆にCEよりも後ろへ移動することがわかる。また、 γ_A が 140° 以上で大きくプラスに変わるのは、スピネカーを風上側に展開した効果を考慮したものである。

一方、 Δz_{ce} は上下方向のずれを表しており、正の値はCEより上方であることを示している。この値はほとんどが負の値となっており、実際の着点位置がCEよりも 20cmから 30cm程度下にあることを示している。通常のセイルトリムではツイストがあるため、セイルの上部が開いており、これによって上部に作用する流体力が低くなるためと考えられる。 γ_A が 140° 以上では Δx_{ce} の場合と同様にプラスに変わるが、これもスピネカーによる効果を考慮したものである。

ところで、海上を吹いている風の風向・風速を、真風向 γ_T ・真風速 U_T と呼ぶが、この中を船が走るとき、船上で受ける風はこれとは異なってくる。これを相対風向 γ_A ・相対風速 U_A と呼んでいる。これらの関係は、図 4 に示す「風速三角形」より次式で表される。

$$U_A = \sqrt{U_T^2 + V_B^2 + 2U_T V_B \cos(\gamma_T + \beta)} \quad (1)$$

$$\gamma_A = \sin^{-1}\{U_T \sin(\gamma_T + \beta) / U_A\} - \beta$$

したがってセイルに作用する力とモーメントを求めるには、(1)式から相対風向 γ_A を求めた上で図 6、7 から流体力係数と着点位置を求め、さらに相対風速 U_A を用いて計算しなければならない。

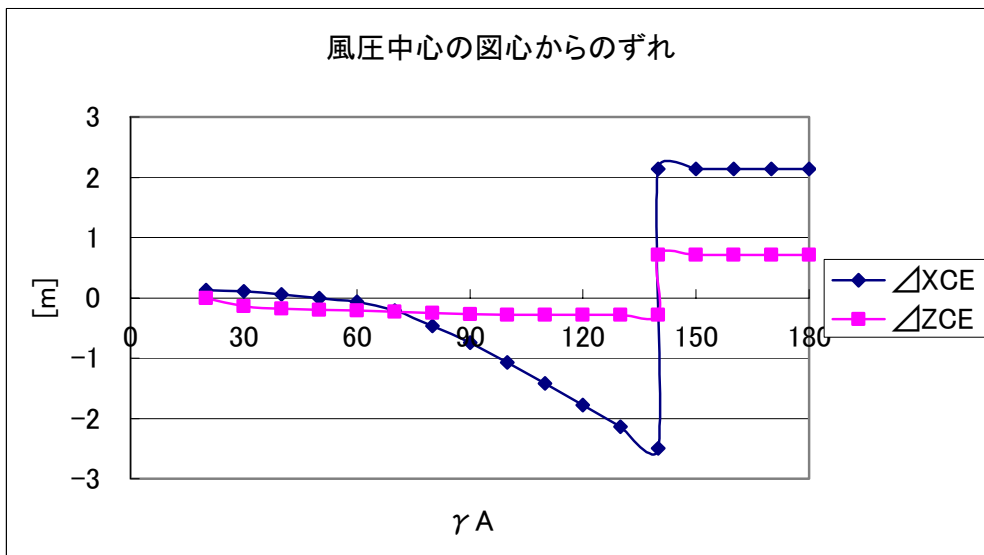


図 7 セール流体力の図面上の面積中心 (CE) からの着点のずれ (実艇スケール)

6 定常帆走性能の推定式

定常帆走性能というのは、ある真風向・真風速のもとで得られる船の帆走性能のことであり、艇速、リーウェイ角、舵角、ヒール角などが一つに定まる状態である。この状態は、船体とセールに作用する力とモーメントが各々釣り合ったときに得られる。

一般に、セーリングヨットの釣り合いは、前後方向（ x 軸方向）と、横方向（ y 軸方向）の力の釣り合いと、ヒールモーメント（ x 軸まわり）と、ヨーモーメント（ z 軸まわり）の釣り合いの、合計4つの釣り合いを考えている。しかしながら470級のようなディングでは、トラピーズなどによって艇体をほぼ水平に保っているの、ここではヒールモーメントに関してはすでに釣り合っているものとして考慮しないことにする。（実際にはヒール角 10° の艇体復原モーメントとトラピーズによる復原モーメントの合計と比較することにし、これらのモーメントよりもセールによるヒールモーメントの方が大きくなる風速の場合は、限界値を示すことにする。）

したがって、前後方向（ x 軸方向）の力、横方向（ y 軸方向）の力、ヨーモーメント（ z 軸まわり）の3つの釣り合いについて考えることにする。このため計算式は3元連立方程式となり、未知数は、艇速 V_B 、リーウェイ角 β 、舵角 δ の3つとなる。すなわち、この3元連立方程式を解くことによって、艇速、リーウェイ角、舵角の3つが決定され、定常帆走状態を求めることができるという訳である。ただこの方程式は未知数によって複雑に変化するので非線形と呼ばれ、これを解くには一般にパソコンを用いて“ニュートン・ラプソン法”などのプログラミングをしなければならない。これが速度予測プログラム（VPP）と呼ばれるものである。しかしながらExcelには“ソルバー”と呼ばれる便利な機能が装備されているので、プログラミングなしに解くことができる。これらの詳細については文献（1）に紹介しているので参照頂きたい。

7 470級の帆走性能

7-1 計算結果表

図8にVPP計算結果を示す。真風速は5m/sで、スターボードタックで真風向を 30° から 180° まで 10° 毎に変化させて計算を行った結果である。本計算例では、セールのトリム状態は図1の帆装図に合わせるとともに、クローズホールドからランニングまでセンターボードは完全に下ろしたままの状態として計算している。クローズホールドでセンターボードが下りきっていない場合や、ランニングでセンターボードを上げた場合との比較については後述する。

表中の、4列目にある「トラピーズ距離」とあるのは、艇をヒール角 10° 以内に保つために必要なトラピーズ量であり、船体中心線からクルーの重心（ほぼへその位置）までの距離で示している。ここではクルーの体重を70kgf、フルトラピーズ距離を1.7mとしているが、全風向でトラピーズ距離は1.7m以下となっているので、ヒール角は 10° 以内に保つことができるものといえる。（なお、表中では力の単位を [N（ニュートン）] で表しているが、これを[kgf]に換算するには、9.81で割ればよい。すなわち、1kgf = 9.81Nである。）

真風向 γ_T (deg)	X軸方 向速度 (m/s)	リーウエイ角 β (deg)	トラピーズ距離 (m)	舵角 δ (deg)	艇速 VB (m/s)	艇速 VB (knot)	$\gamma_T + \beta$ (deg)	相対風 速 UA (m/s)	相対風 向 γ_A (deg)	VB/UT	セール 推進力 (N)	セール 横押力 (N)	セール ヨーモー メント (Nm)	セール ヒール モーメント (Nm)
30	2.04	4.63	0.80	0.30	2.05	3.98	34.63	6.79	20.12	0.410	53.5	-392.8	-63.6	-1090.8
40	2.53	4.08	1.39	0.19	2.54	4.93	44.08	7.05	25.49	0.508	106.1	-529.3	-78.9	-1448.5
50	2.91	3.51	1.66	0.11	2.91	5.66	53.51	7.13	30.82	0.583	161.5	-598.0	-82.6	-1615.7
60	3.20	2.95	1.68	0.04	3.20	6.23	62.95	7.06	36.16	0.641	211.3	-607.6	-75.7	-1623.2
70	3.41	2.44	1.49	-0.05	3.41	6.63	72.44	6.85	41.67	0.682	248.6	-569.5	-59.5	-1506.0
80	3.52	1.98	1.15	-0.16	3.52	6.84	81.98	6.50	47.61	0.703	268.8	-496.5	-35.6	-1300.6
90	3.52	1.58	0.73	-0.28	3.52	6.85	91.58	6.04	54.32	0.704	269.8	-402.9	-6.8	-1046.2
100	3.43	1.23	0.30	-0.44	3.43	6.66	101.23	5.48	62.20	0.685	252.7	-304.3	23.3	-784.0
110	3.26	0.91	-0.09	-0.64	3.26	6.33	110.91	4.90	71.60	0.651	221.7	-214.6	50.3	-549.2
120	3.04	0.63	-0.40	-0.84	3.04	5.91	120.63	4.33	82.86	0.608	183.7	-141.0	69.4	-359.2
130	2.81	0.37	-0.65	-0.97	2.81	5.46	130.37	3.83	96.83	0.561	146.0	-82.7	75.2	-210.0
140	2.91	0.21	-0.71	-1.24	2.91	5.67	140.21	3.33	106.38	0.583	163.4	-70.3	107.8	-174.1
150	2.67	0.04	-0.91	-0.67	2.67	5.20	150.04	3.00	123.63	0.535	125.8	-21.7	50.5	-53.6
160	2.50	-0.07	-1.02	-0.19	2.50	4.86	159.93	2.79	141.91	0.500	102.3	5.1	13.5	18.7
170	2.39	-0.15	-1.05	-0.38	2.39	4.64	169.85	2.68	160.69	0.478	88.3	9.3	24.9	34.4
180	2.30	-0.18	-1.06	-0.46	2.30	4.47	179.82	2.70	179.50	0.460	78.7	10.5	28.0	38.8

図8 V P P 計算結果表 (真風速 5m/s)

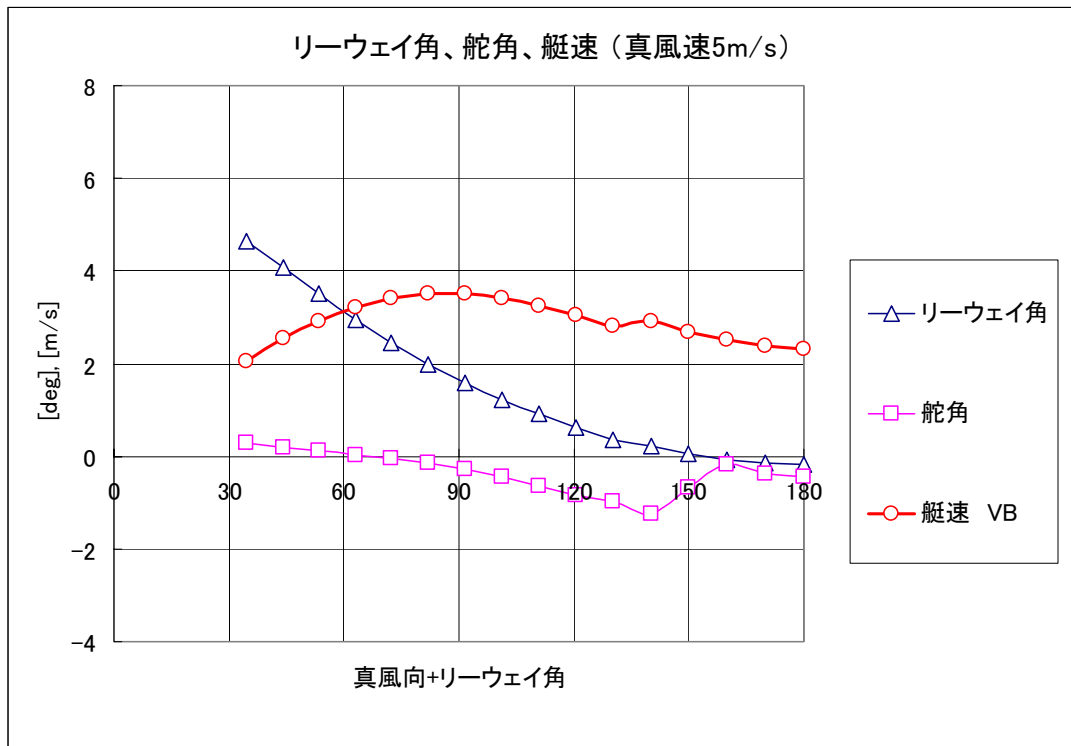


図9 V P P 計算結果グラフ (真風速 5m/s)

7-2 リーウェイ角、舵角、艇速などの変化

図8の計算結果をグラフにしたものを図9に示す。横軸は真風向+リーウェイ角(= $\gamma_T + \beta$)で、風に対して艇が実際に進んでいく方向を表している。この結果より、クローズホールド状態の $\gamma_T = 30^\circ \sim 40^\circ$ では、リーウェイ角は 5° から 4° 程度、舵角は 0.3° から 0.2° 程度であることが分かる。舵角が(プラス) 0.3° から 0.2° ということは、ティラーを若干押し気味(リーヘルム)ということであるが、ほとんどセンターライン上とってよいであろう。 $\gamma_T = 70^\circ$ 以上で舵角はマイナス(ウエザーヘルム)になるが、それでもほとんど -1° 以内であり、この帆装図のセッティングによるバランスはかなり良いものと考えられる。

艇速は $\gamma_T = 30^\circ$ の 2.05m/s (3.98kt) から、 90° の 3.52m/s (6.85kt) まで増大し、 90° 時が最大速度となる。ところで $\gamma_T = 90^\circ$ といっても、艇上で受ける風の向き(相対風向)は、図8の“相対風向”欄を見ればわかるように $\gamma_A = 54.3^\circ$ と、かなり前から吹いてくることに注意を要する。艇上でアビーム($\gamma_A = 90^\circ$)と感じる時はすでに真風向 γ_T が 120° から 130° になっており、速度の遅い領域に入っている。 $\gamma_T > 140^\circ$ では $\gamma_A > 100^\circ$ となるので、ジブの代わりにスピネカーを展開し、セール面積が増えるものとして計算しているので速度が上がっている。なお本計算例である真風速 5m/s 時でも、艇速は最大で 3.5m/s 程度であることがわかった。これは図3からわかるように、艇体の抵抗(=セールの推進力)が約 25kgf までの領域であり、摩擦抵抗がかなりの割合を占めている状態であることをあらためて強調しておきたい。

7-3 ポーラーダイアグラム

クローズホールドとランニングでは、艇速と上り角(または下り角)を組み合わせ得られる V_{mg} (Speed Made Good) が大切である。すなわち艇速そのものではなく、風の吹いてくる(もしくは吹いていく)方向への実質的な移動速度である。この性能は、艇速の違いを風に対する方向とともに示した、ポーラーダイアグラムを描くことによって知ることができる。図10に真風速 5m/s 時のポーラーダイアグラムを示す。風は 0° の方向から吹くものとし、各々の方向へ向う時の艇速を $[\text{m/s}]$ で表している。ここで、進行方向(真風向とのなす角)にリーウェイ角を含める(すなわち $\gamma_T + \beta$ で表す)ことが重要である。

V_{mg} は、風向に対する垂線と、ポーラー曲線との接点で得られる。上りの V_{mg} をみると、図中のA点となり、 $\gamma_T + \beta = 45^\circ$ の方向で、 $V_{mg} = 1.8\text{m/s}$ 程度であることがわかる。また図8より、この時の相対風向は 28° 、相対風速は 7.1m/s 程度であることもわかる。なおここで、リーウェイ角 β は乗り手が感ずることなく下されていく角度なので、風位からコンパスで V_{mg} となる方向を目指すには、上記の 45° ではなく β (= 約 4°) を差し引いた角度、すなわち 41° を目指さなければならないことに注意を要する。これ以上、上っても下しても V_{mg} は悪くなる。

一方、下りの V_{mg} は図中のB点となり、 $\gamma_T + \beta = 160^\circ$ の方向で得られ、 $V_{mg} = 2.4\text{m/s}$ 程度であることがわかる。下りの場合はリーウェイ角は小さいので、上りの時のような問題はない。ただ下りではスピネカーの性能がかなり影響するので、相対風向 120° 近くで性能のよいスピネカーを用いる場合は、もう少し上っても良いかもしれない。

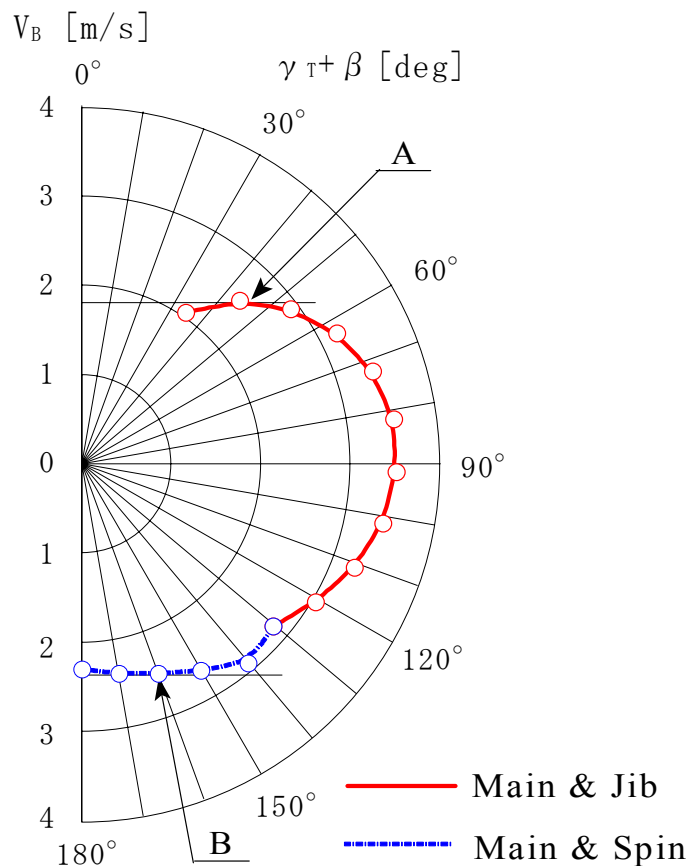


図 10 ポーラーダイアグラム (真風速 5m/s)

7-4 クローズホールド性能へのセンターボードの下し方の影響

図 8~10 は全ての真風向に対して、センターボードを完全に下した状態 (図 2 の 0° の状態) で計算した結果であった。ではクローズホールドで、センターボードを下しきれずに 30° 斜めになった場合 (図 2 の 30°) はどうであろうか。0° と 30° の違いを図 11、12 に示す。図 11 に示すように、30° の場合はリーウェイ角が 6° を越えるとともに、舵角が 2° 以上 (のリーヘルム) になることがわかる。これによって図 12 のポーラーダイアグラムでも目に見える程度の差が出ており、Vmg で 0.06m/s 程遅くなることが示されている。これはわずかのように見えるかもしれないが、1 分間で 0.8 艇身ほどの差が付くことを意味しており、かなり大きな差といえるのではないであろうか。

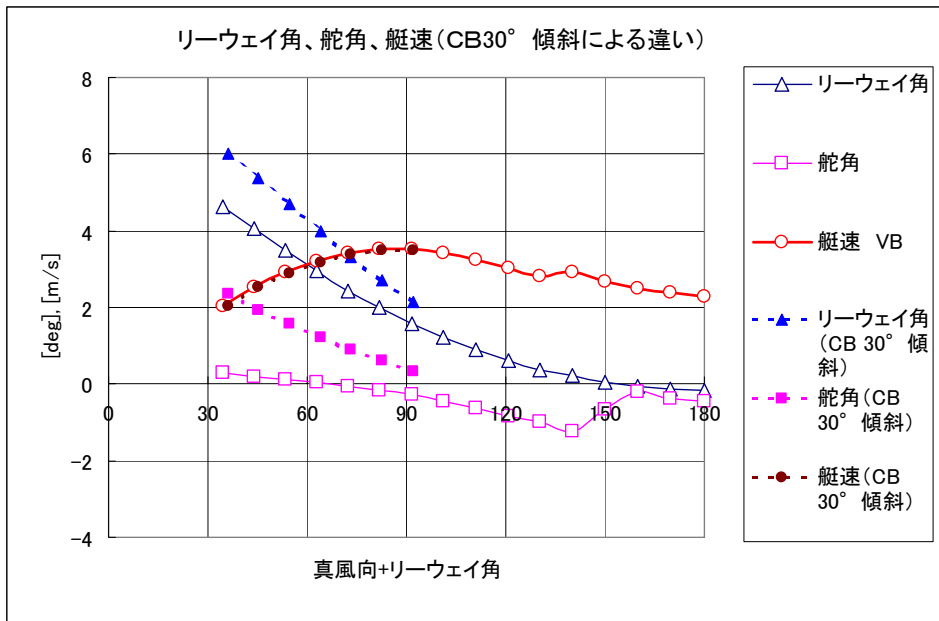


図 11 クローズホールドでセンターボードが 30° 傾斜した場合の影響 (真風速 5m/s)

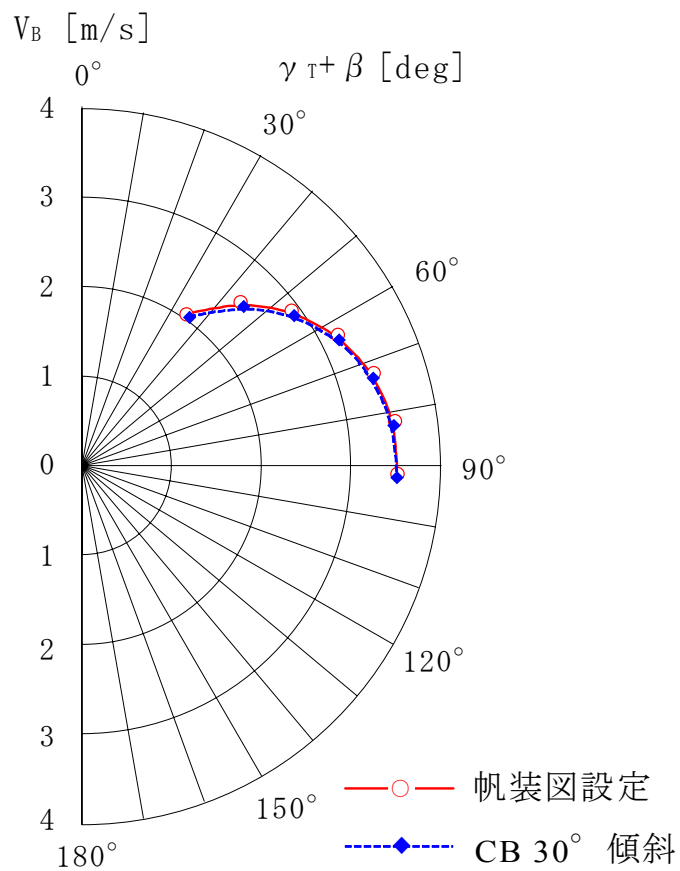


図 12 クローズホールドでセンターボードが 30° 傾斜した場合の影響 (真風速 5m/s)

7-5 ランニング性能へのセンターボードの上げ方の影響

ランニングではセンターボードを上げて帆走するが、下げたままの場合（図 10）との違いを図 13 に示す。ここでは図 10 の結果から、単純にセンターボードの表面に作用する摩擦抵抗を差し引いて比較している。要はセンターボードの摩擦抵抗がどれくらい艇速に影響を与えているかの目安を与えるものといえる。この場合は下りの V_{mg} で、センターボードを上げた方が 0.06m/s 程速くなることがわかる。

いずれにしてもクローズホールドではセンターボードをきっちりと下し、ランニングでは上げるという作業が、スピードの面から重要であることがご理解頂けたであろうか。

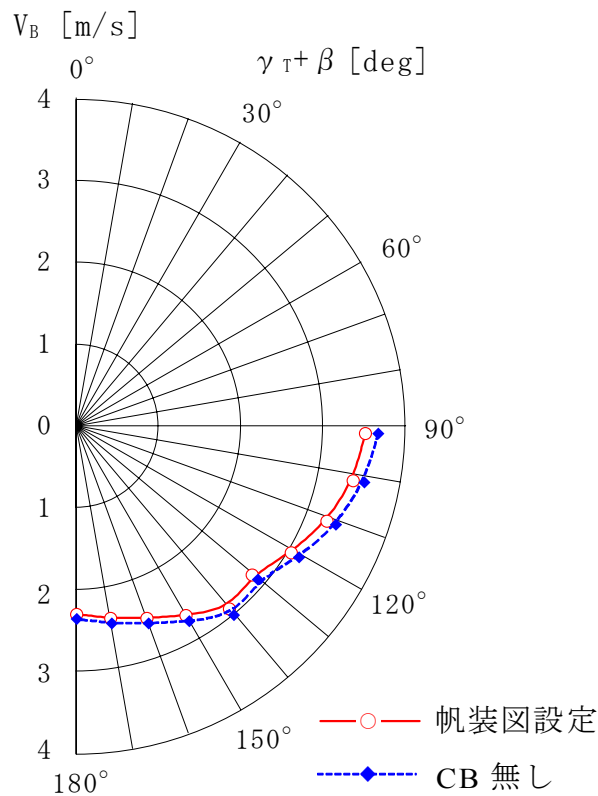


図 13 ランニングでセンターボードを上げた場合の効果（真風速 5m/s ）

7-6 真風速の違いによる帆走性能比較

真風速を 4m/s と 6m/s に変化させた時の帆走性能の違いを図 14 に示す。真風速が 4m/s では最高速度は 3m/s (5.8kt) でありであるが、6m/s になるとかなりスピードアップすることがわかる。ただし真風速 6m/s の場合は、真風向が 40° から 80° (相対風向で 26° から 48°) にかけてトラピーズ距離が 1.7m を越えることが示されるので、セールから風を逃がさないと艇をフラットに保つことができない。したがってこれらの範囲では、実際はもう少し遅くなるものと考えられる。ただ真風向が 90° (相対風向 54°) 以上になると艇をフラットに保つことが可能で、速度も 4.21m/s (8.18kt) となり、クルーザーを追い抜くほどになる。

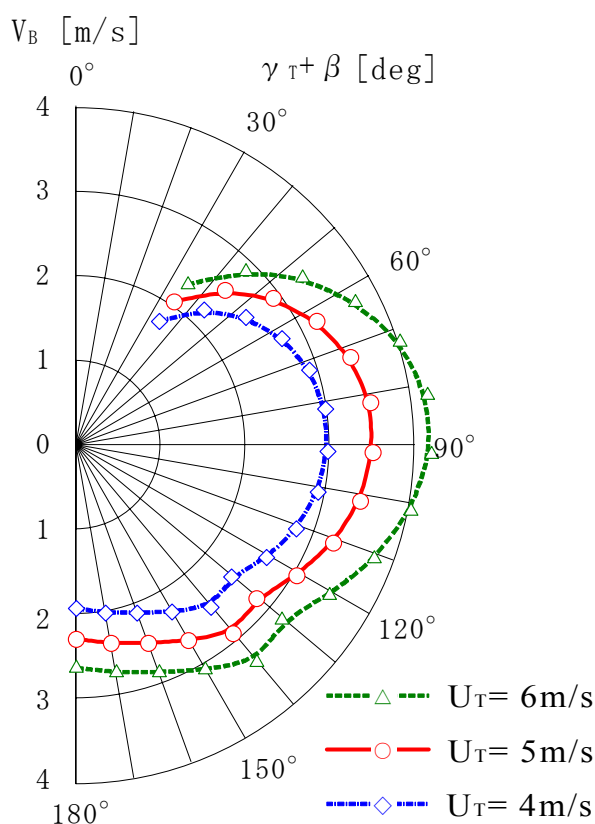


図 14 真風速の違いによる性能変化 (真風速 4m/s~6m/s)

8 おわりに

以上、470 級を対象に、帆走性能推定計算 (VPP) の考え方について述べるとともに、いくつかの性能解析例を示した。ここではおもに艇体部の影響について検討した。艇体に作用する抵抗やモーメントが、どのように帆走性能に影響を与えるかについてご理解頂けたのではないかと思う。なおセール形状変化による影響などについては、より詳細な検討が必要であり、今後機会があれば取り組んでみたいと考えている。

なお、本計算ではあくまで模型を用いた風洞実験や水槽実験データをもとにしているため、乗り手の皆さんが感じておられる実態と合わない点があるのではないかと危惧している。このような点については今後ぜひご指摘頂くとともに、470 級の実船帆走データがあれば比較させて頂いて、より洗練されたものにしていきたいと願っている。

また上述のように、パソコンに標準装備されていると言ってよい、Excel を用いることによって解析を行うことが可能なため、ぜひ 470 級に乗っている人自身で VPP を計算し、自艇の調整や走らせ方の改良に役立てて頂ければ幸いである。

最後に、貴重な 470 級の風洞実験や水槽実験データを提供頂いた、多田納久義氏に深甚の謝意を表します。

参考文献

- (1) 増山 豊：Excel を用いた 470 級の帆走性能解析手法、<http://www.jsaf.or.jp>
- (2) 日本 470 級協会ホームページ：<http://www.jsaf.or.jp/470/>
- (3) 多田納久義：“帆走の船舶流体力学的研究(第 6 報)セーリングヨットの設計に対する応用”、関西造船協会誌、第 193 号、(1984)、pp.7-16.
- (4) 増山 豊、多田納久義：“帆走の船舶流体力学的研究 (第 4 報) 帆の風洞実験について”、関西造船協会誌、第 185 号、(1982)、pp.107-115.