



〈連載(359)〉

風による抵抗増加 (その2) —横風中での抵抗増加—



大阪府立大学 名誉教授
池田 良穂

前号では、正面から風を受けて航行する時の水面上船体に働く空気抵抗について解説したが、風による抵抗増加はこれだけではない。

例えば横風でさえ抵抗増加を引き起こす。これは水面上船体に働く風抵抗によって横漂流が発生して、水面下船体に斜めに水流があたることになり、これが船体に揚力を発生させて抵抗増加にもつながるためだ。この量がかなりの量になることは、GPS

により実際に航行中の船体の進行方向ベクトルが正確に求められるようになり、船体の進行方向と船首方位とが異なることが判明¹⁾したために確かめられた。すなわち、横風中では船が斜めに角度をもって斜航しながら進んでいることが分かったのである。この斜航角は、実際のPCCでの計測によると表1¹⁾に示すように、最大23度となり、5度を越える事例も少なくないことが判る。

Relative Wind		Vessel Speed [kts]	GPS ① [deg]	Heading ② [deg]	DRIFT ①-② [deg]
Speed [m/s]	Direction [deg]				
23	35	8.1	56.0	33.0	23.0
17	90	6.8	51.0	60.0	-9.0
19	90	8.2	58.0	54.0	4.0
18	90	8.8	51.0	54.0	-3.0
18	90	9.1	58.0	53.0	5.0
19	85	9.1	53.0	57.0	-4.0
15	85	11.1	63.0	55.0	8.0
15	10	19.1	80.0	82.5	-2.5
16	15	20.5	83.0	86.5	-3.5
24	10	21.3	28.0	32.0	-4.0
15	60	21.5	47.0	49.0	-2.0
15	20	21.8	63.0	59.0	4.0
23	30	18.0	268.0	273.0	-5.0
23	40	19.3	115.0	114.5	0.5
18	30	20.3	282.0	284.0	-2.0

表1 実海域で計測されたPCCの斜航角 (DRIFT)¹⁾



写真1 横風による斜航によって抵抗増加を起こしやすい自動車運搬船(PCC)

船が斜航するとスピードが落ちることは、舵を切って旋回する時に実感ができる。旋回半径にもよるが、8%~60%もの船速低下が起こることが知られている²⁾。ただし、これには舵に働く抵抗も含まれているので、船体自身が斜航したことによる影響だけではない。斜航した時のコンテナ船の抵抗増加の計測結果¹⁾によると、図2に示すように斜航角5度で10%を超え、10度近くなると30~40%となることがわかる。これだけ抵抗は増え、船速が減少することになる。

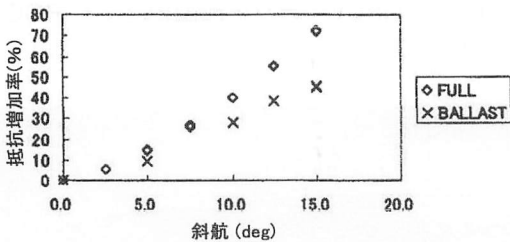


図2 コンテナ船の斜航時の抵抗増加率の模型実験値¹⁾

船体が斜航しながら進むときに働く水からの流体力は揚力と抗力に分解できる。この2つの力の船長方向の分力が船体抵抗となり、横方向の分力は横流れを抑える抵抗になる。

風による横流れに起因する抵抗増加を低減するためには、①水面上船体に働く風圧力を減らすことと、②水面下船体に働く横漂流抵抗を増加させて斜航角を小さくすること、そして③斜航時の水面下船体に働く水による船長方向の抵抗を小さくすること、という3つの方法がある。いずれか1つの方法を徹底してもよいし、3つの方法を組み合わせることで風による横流れによる抵抗増加を減少させることができる。以下、それぞれについて考えてみよう。

最初の①横風の中で水面上船体に働く風圧力を減らすことは、PCC等の側面積の大きい船ではなかなか難しい。風が一方から吹く場合には、流線形の断面にすることが最も効果的だが、風がどちら側から吹くかわからないので、両向きの風に対して流線形にすることはできないからだ。

一方、断面の角を丸めることで多少の抵抗低減ができる。図3に示す四角柱での実験結果では、角の丸みの半径(図中のr)を幅(h)の20%以上にすると抵抗が半減することがわかっている³⁾。しかし、現実の船の横断面を考えると、かなりの大きさの丸味をつける必要があり、内部空間は狭く使いにくくなり、また建造の手間もかかる。

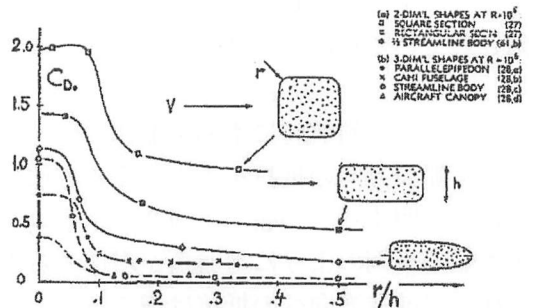


図3 四角柱の角の丸味による抵抗係数の変化³⁾

四角い断面の多い陸上のビルでは、角に小さな段を付けることで風圧抵抗を減らすことが行われており、これを隅切りと言う。これは、隅切り部を剥離渦が埋めることにより、あたかも角に丸味を付けたと同様の効果を得る手法である。適切な隅切りをすることで、風圧抵抗はほぼ半減することが分かっている⁴⁾。

この隅切りの風圧力低減効果については、ユニバーサル造船および商船三井が研究して、PCC船型において実用化をしており、2003年のシップ・オブ・ザ・イヤーを受賞した商船三井のPCC「Courageous Ace」は、この考え方を導入して横風の風圧力を低減させたパイオニアである。

次の②水面下船体に働く横漂流抵抗を増加させて斜航角を小さくする対策については、帆による風圧力を推進力として使う帆船やヨットでは古くから行われている。帆に働く風圧力は、特に横風の時には前進方向の分力だけでなく、横方向の分力も大きくなり、それが船を横流れさせる。特に喫水が浅く扁平な船型ほど横漂流抵抗は小さくなり、大きな横漂流をして斜航角が大きくなる。これを止めるため、多くの帆船では船底の中心線上に板状のバーキールや、小型ヨットでは翼状のセンターキールが装備されている(写真2参照)。

最後に、③斜航時に水面下船体に働く水による船長方向の抵抗を小さくする方法について説明する。一般に、図2に示すコンテナ船の事例のように斜航角が増加するのに従って前進方向への抵抗は増える。これは翼の揚力発生に伴う誘導抵抗と同種の現

象であり、減らすのは難しいと考えられていた。

しかし、アメリカズカップに使われていた単胴ヨット船型の模型の斜航試験を実施したところ、斜航しても15度くらいまでほとんど抵抗は増えず、わずかながら斜航角の増加に伴って抵抗が減少することがわかった⁵⁾。このような特殊な船型では、横風によって多少の斜航をしても抵抗増加は発生しないことになる。このヨット船型を大型PCCにて適用する研究開発も行われている⁵⁾。この船型は、図4に示すように、波浪中での抵抗増加も在来型PCCに比べると大幅に小さいことが分かっている。

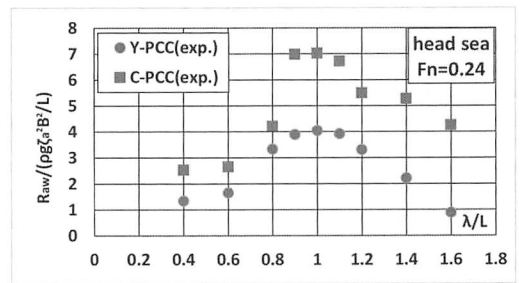


図4 199mPCCの縦波中の抵抗増加係数の模型実験結果(Y-PCC：ヨット船型PCC、C-PCC：在来型PCC)⁵⁾



写真2 蒲郡に展示されているアメリカズカップ用ヨット。大きなセンターキールが取り付けられている。

以上紹介したように、風による抵抗増加は、正面から風を受ける時だけでなく、横風中でさえ大きくなることもある。特に水面上構造が大きな船舶では要注意である。波による抵抗増加だけでなく、荒天時には風による抵抗増加にも十分な注意が必要となる。

実験的に風による抵抗を知るためには、風洞を使った模型実験が一般的であるが、市販のCFDソフトによっても計算ができる時代になっており、空気抵抗および揚力等の特性を知ることができる。

特にCFDによっては、コンテナ船のデッキ上コンテナの隙間を通る風による抵抗増加のような複雑な現象もコンピュータ上で再現できるようになった。このような新しい設計開発ツールの進展により、荒天中

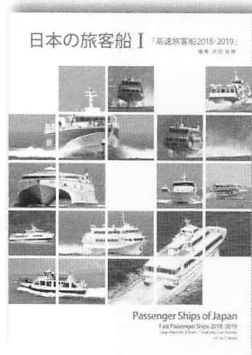
でもスピードの落ちない斬新な形状の船舶が登場することが期待される。

《参考文献》

- 1) 田中良和、船の経済運航とライフサイクルバリュー、実海域における船舶性能に関するシンポジウム、日本造船学会、2003
- 2) 関西造船協会: 9.1.3 旋回による速力低下、造船設計便覧(第4版)、p.445
- 3) S. F. Hoerner: Fluid Dynamic Drag、自費出版、1965、p.3-13
- 4) 何天翼他: 船の上部構造物の風圧抵抗に及ぼす隅切り及びテールの影響、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第16号、2013.4
- 5) 三宅成司郎他: PCCへのヨット船型適用に関する研究(第2報)、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第21号、2015.9

日本船舶海洋工学会関西支部長賞受賞 /

日本の旅客船I & II 好評発売中!



日本の旅客船 I
「高速旅客船 2018・2019」
編集 池田良穂
頒価 4,200円税込・送料込

高速旅客船 272 隻をカラー写真と技術データで紹介!
日本の高速旅客船を網羅した1冊です!(大型船26ノット以上・小型船20ノット以上)



日本の旅客船 II
「クルーズ客船 & 長・中距離航路船 2019」
編集 池田良穂
頒価 4,600円税込・送料込

日本で活躍する客船138隻を1隻1ページのカラー写真と技術データ・航路図で紹介! クルーズ及び長中距離航路に就航する客船を網羅的に紹介。

ご購入は
こちら▶

お振込み後の
郵送となります

郵便振替口座の振込用紙に、ご住所、お名前、連絡先、冊数をご記入の上、下記口座にお振込みください。追って郵送させていただきます。

郵便振替口座 00930-8-322203
口座名称 日本クルーズ&フェリー学会
※振込手数料は自己負担にてお願いします

日本の旅客船 I / 頒価 4,200円
日本の旅客船 II / 頒価 4,600円
(税込・送料込)