

港内係船船舶に対する近接構造物の 遮風効果把握のための実験的アプローチ

(財)沿岸開発技術研究センター 正会員 鈴木 博史
同 上 釣谷 康
三井造船(株)昭島研究所 正会員 井上 浩男
同 上 建設関連事業部 松永 栄一

1. まえがき

現在、在港船舶は台風接近時、港長の勧告に従い港外に退去・避難することとなっている。しかし、近年の船舶の隻数の増加・大型化に伴い、適当な避難水域が不足しており、荷役中断・港外避泊に伴う経済的損失とともに台風時の避泊に関する問題の発生が予想される。この問題は大都市沿岸域はもとより地方の沿岸域においても今後発生が予想されるものである。この問題に対処すべく台風時港内避泊の可能性についての調査研究が運輸省を中心として進められている。^{1), 2)}

本研究は、この港内避泊の問題に関連して港内設備等を遮風物として積極的に利用して船舶への作用空気力を軽減し、係船時の船舶の安全性を高め港内避泊の可能性を検討・判断する資料を得るために風洞実験による実験的アプローチを試みたものである。

具体的には、船舶及び遮風物を簡略化してモデル化し、遮風物の配置・風向等の違いにより変化する船舶への作用空気力を計測し、遮風物による風速低減効果を把握し評価を加えた。これまでもウィンドスクリーン・防風壁等を用いて風の影響を軽減する検討例^{3), 4)}がみられるが、実際の応用としてはまだ難しい面が多いと思われる。今回の研究は実際の適用を考慮して、既存の施設を遮風物として積極的に利用しようとするものである。遮風物の形状はもとより、船舶形状・港湾形状さらにはそれらの相対的位置・規模等によってもその特性は大きく異なることが予想されるが、極力遮風物の遮風低減効果を定量的に捉えることが出来るようその第一段階での試みとして、モデルの簡略化及び試験ケースの絞り込みをおこなって実験を行った。なお、モデルの簡略化を行っているため、空気力特性は絶対値としてではなく遮風物設置前後での相対値として整理・評価することとした。

2. 実験装置及び実験手法

2.1 風洞装置

風洞実験には、三井造船株式会社昭島研究所構造物用低速風洞(水平回流型、測定部寸法2.0m×3.0m×20.0m(B×H×L)、最大風速20m/s)を用いた。

2.2 乱流境界層発生装置

風洞測定部に接近流として必要な特性を持つ乱流境界層を相似した形で発生させるため、測定点の上・下流の測定胴床面に金網、ブロック、ウォール等の必要なラフネスを設けた。

2.3 風の特性計測

各測点(X, Y, Z)の風($U_x, y(Z)$)の特性(平均風速及び乱れ強さ)の把握には無指向性のサーミスタ風速計を用いた。なお、測定部の上流に床面ラフネスの影響を受けない標準点を設け、JIS型ピトー管により標準点風速(V_0)を求めた。

2.4 空気力計測・無次元化

船舶への作用空気力(三分力: F_x 、 F_y 、 M_z)の計測には小型三分力計を用いた。風路床下のターンテーブル上に固定され、その上に設けた擬似海面(地面盤)の中央から支持棒を出し船舶模型と直結できる構造とした。図1に模型等配置概要図を示す。作用空気力の無次元化に用いる風速としては、船舶模型がない状態で接近流特性の計測を行った際の船舶模型設置中心点で実船高さ10mに相当する代表点風速(U_{eq})を用いることを基本とした。図2に作用空気力の座標系及び空気力係数の算出法を示す。

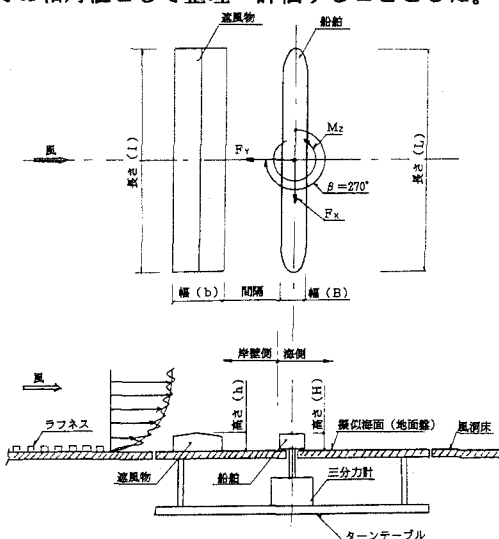


図1 模型等配置概要

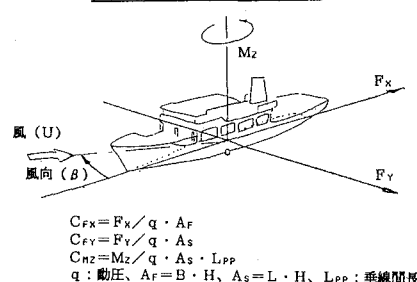


図2 作用空気力座標系(船体軸回り)及び空気力係数算出法

2.5 風向設定・計測

風向については、ターンテーブルにより模型及び三分力計を一体として鉛直軸回りに回転させて与えた。なお、実験の実施に当たってウレタン製の小型の旗を簡易風向計として各所に配置し流れの可視化を行い、流れ特性の変化状況の把握と作用空気力の特性評価の参考とした。

3. 実験模型

3.1 船舶模型

1万GTクラスの船舶を対象としたが、遮風効果の相対的な評価を第一の目的としたため、個別の船型による特異な特性が現れないよう大幅に簡略化した模型とした。具体的には、港湾基準の標準船型に示されている自動車運搬船の大きさを参考に縮尺1/200でそれぞれの数値を丸め、図3に示す大きさ・形状の模型とした。

なお、簡略化しない実際の船型の場合に特異性が現れるかどうかについて1ケースだけではあるが、実際の船舶の模型を用いての実験も行った。乾舷量が簡易模型の場合よりも大きく、幅、長さも簡易模型とは異なるため単純な評価・比較は難しいと思われるが、H. F. 船として区別し実験を行った。(H. F. 船の大きさ: $L:0.9434\text{m}$, $B:0.149\text{m}$, $H:0.107\text{m}$)

3.2 遮風物模型

船舶模型と同様に相対的な評価を行い易いように極力簡略化したものとした。遮風物の形状・配置などについては調査資料¹⁾などを参考に、船舶模型の大きさ(L, B, H)に対して、長さ: L , 幅: $2B$, 高さ: H , 船舶との間隔: $1.5B$ を基本形状・配置とした。遮風物については、その大きさ・配置をパラメータとして、図4に示す状態①～④の4状態を想定した。

3.3 その他の模型

今回の実験の目的が標準的・相対的な評価を意図したものであるため、港湾などについても特異性を持たせないように特定の港湾を対象とした模型化は行わないこととした。よって乱流境界層生成のための標準的なラフネスのみとした。また、岸壁と海面との高低差についても同様に模型化せずその影響はとりあえず無視することとした。

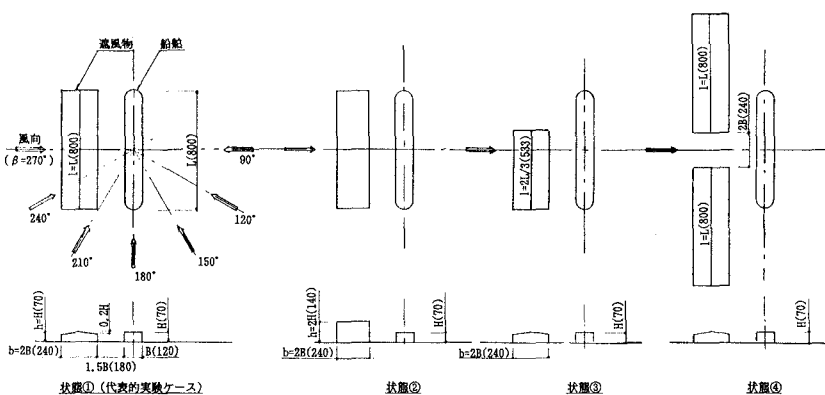


図3 模型概要

4. 実験状態

4.1 接近流特性

基本的な接近流特性としては、模型と同様に特定せず標準的な海上風型の乱流境界層とすることを目標とした。具体的にはべき指数(α)を1/8にあわせ、かつ地上付近の乱れの強さを10%程度となる乱流境界層を接近流の基本特性とした。

なお、流れ特性(プロファイル、乱れ強さ)の違いによる影響についても検討を加えるため、 $\alpha=1/12, 1/16$ さらに一様流についての実験も状態①について実施した。

4.2 風速

標準点風速(V_θ)が11m/sと14m/sの2風速での実験を標準として実施した。レイノルズ数の相似は考慮していないが、代表的な実験ケースについては4種類の風速で実験を行い、風速依存性についても確認を行った。

遮風物による風速低減効果については、作用空気力だけでなく船舶模型の無い状態で風の特性計測を行い、風速・風向・乱れ等の特性を把握した。

図4 遮風物設置状態

4.3 風向 (β)

陸風 (係船舶が岸壁から離れる方向に作用する風向: 270°) を基本とするが、風向依存性の特性把握のため代表的な実験ケースについては 30° ピッチ (一部 10° ピッチ) で風向を変えた実験を実施し特性把握を行った。

4.4 実験実施ケース

実験は以下に示す4段階に分けて実施した。

- 1) 乱流境界層の特性把握 (船舶, 遮風物無)
- 2) 船舶単独での作用空気力の計測 (遮風物無)
- 3) 遮風物を設置した状態での流れ特性の把握 (船舶無)
- 4) 遮風物と船舶とを設置した状態での作用空気力の計測

5. 実験結果及び考察

5.1 乱流境界層特性

風路内に発生させた乱流境界層の特性を図5~7に示す。船舶模型設置中心点(0)での特性で、乱流境界層Ⅰが $\alpha=1/8$ で乱れの強さも低層部で約10%となり海上風の標準的なものとして近似できており、今回の実験の基本としたものである。なお、いずれの乱流境界層でも特性について風速依存性は殆ど見られず、また測定中心位置の前後左右各500mmの点でも計測したが特性には大差ないものが得られた。

5.2 流れ特性の違いによる作用空気力特性

図8に各流れの状態に対して、それぞれの代表風速 (U_{99}) で無次元化した作用空気力係数を示す。 $\beta=270^\circ$ の C_{FY} に関しては、乱流境界層Ⅲ, Ⅱ, Ⅰの順で大きくなっており α が大きいほど空気力係数も大きくなる傾向にあることが判る。一樣流については風向により若干のばらつきはあるものの乱流境界層Ⅰと大差無いものとなっている。表1に流れの違いによる C_{FY} の変化率 (乱流境界層/一樣流) を示す。一樣流を $\alpha=0$ として考えることが許されるならば、乱流境界層での傾向と逆の結果が現れていることになる。空気力の無次元化に用いる風速の代表点高さの対象構造物高さとの関係及び乱れの存在等が原因ではないかと思われる。

船型の違いによる C_{FY} の変化率 (乱流境界層Ⅰ/一樣流) の違いを表1に併せ示す。簡略化した模型の場合と異なり、乱流境界層の結果の方が一樣流よりも大きくなる傾向を示している。無次元化する際の代表高さに比べ H, F, 船が相対的に高く、図9に示すように地上から高い点でより、高速の風を多く受けるように

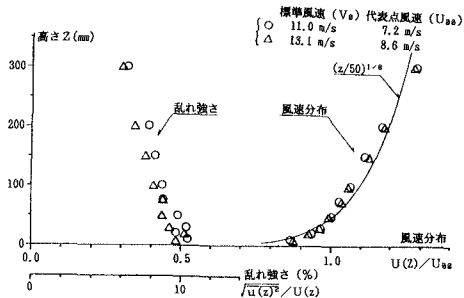


図5 乱流境界層Ⅰの特性

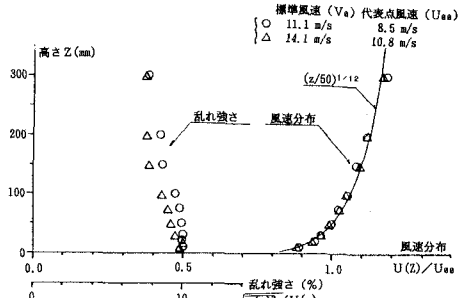


図6 乱流境界層Ⅱの特性

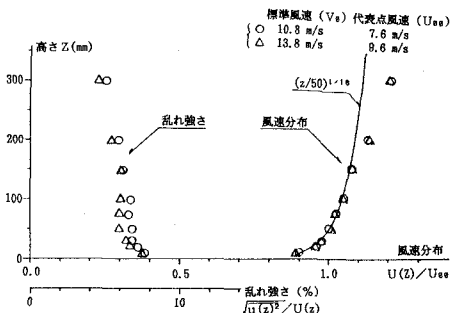


図7 乱流境界層Ⅲの特性

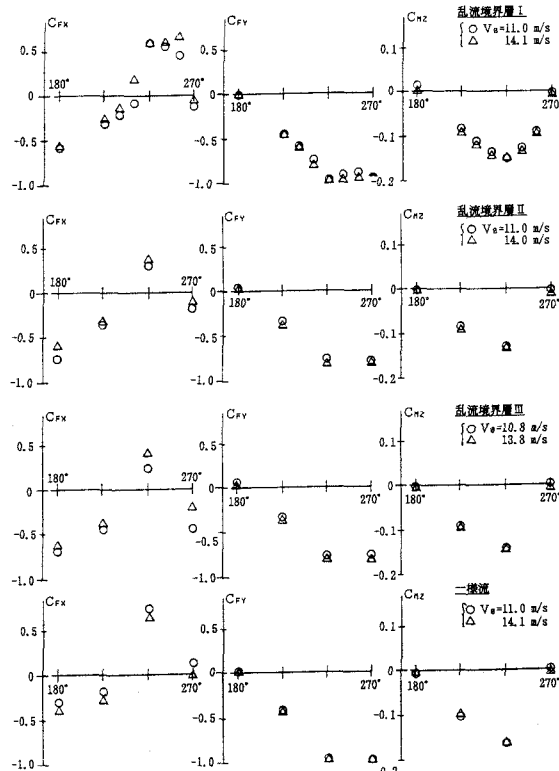


図8 流れ特性の違いによる空気力特性比較 (遮風物無)

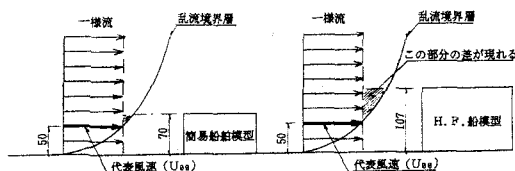


図9 模型に作用する風速の比較

表1 C_{FY} 変化率
($\beta=270^\circ$, 遮風物無)

標準風速 V_s	11 m/s	14 m/s
乱流境界層Ⅰ/一樣流	0.98	0.99
" Ⅱ/一樣流	0.81	0.82
" Ⅲ/一樣流	0.77	0.83
H, Y, 船, Ⅰ/一樣流	1.24	1.22

なるためと考えられ、乱流境界層中で
の空気力係数の評価には代表風速等の
取り方にも注意を要することが判る。

なお、図8において $\beta=240^\circ$ 付近で
 C_{FX} が正になる結果となっているが、
模型を前後対称として大幅な簡略化を
行ったためと思われる、この結果をその
まま実船に適用するには問題が残ると
思われる。

5.3 遮風物設置状態での流れ特性

図10に各遮風物設置状態での代表点
の流れ特性を遮風物の無い状態での代
表点風速との比及び代表風向で示す。
船舶の無い状態での計測であり、遮風
物に対して船舶がかなりの大きさを持つことから、船舶がある時の実際の
の作用風速とは特性が異なることはと思われるが空気力特性評価の参考
にはなるものと思われる。

状態①では風速は70%まで低下しており遮風効果の期待できることが
伺われる。また、状態②では風速は40%近くまで低下しており、高層建
築物下流側では大幅な遮風効果の期待できることが判る。なお、図は省
略したが風向が 270° でなくても今回のように比較的近接した遮風物がある
場合には、遮風物によりいずれも代表点での風速は低減しており効果
が期待できることも判った。

5.4 遮風物設置状態での船舶への作用空気力特性

図11に遮風物の違いによる C_{FY} の低減
率（（遮風物有－遮風物無）／遮風物無）
の比較を示す。状態①では作用空気力は
半分以下になることが判る。状態②では
作用空気力はほぼゼロで逆向きになっ
ている。流れ計測では風速の大幅低下は見
られるものの逆風向とはなっていないが、
船舶の存在により実際の作用風向は逆に
なっているものと思われる。

遮風低減率の風向依存性について図12
に示す。特異な風向（ $C_{FX}:240^\circ$ 、 C_{FY} ：
 180° 等）を除けば低減率の変化は連続的である。

流れ特性の違いによる C_{FY} 低減率の変化を表2に示す。船舶のみで
の結果と同様にⅢ、Ⅱ、Ⅰの順で低減率も小さくなっており、乱流境界
層のべき指数の違いの影響は大きいものと思われる。

船型の違いによる C_{FY} 低減率の違いを表3に示す。低減率は20～30
%にとどまり効果は少なくなっている。遮風物との間隔をH、F、船舶
の1.5倍とすると低減率は少し低下する傾向にある。この船型の違い
による低減効果の低下は遮風物と船舶との相対的な高さ関係にあるの
ではないかと思われる。

6. まとめ及び今後の課題

遮風構造物を設置した状態での作用空気力低減効果について定量的
な把握を目標として、その第一段階として簡易模型による実験的なア
プローチを試みた。得られた結果の主なものを以下にまとめる。

- 1) 陸風（ $\beta=270^\circ$ ）での C_{FY} の遮風低減率は、状態①で50%、②で
ほぼ100%、③で35%、④で20%となりかなりの効果が期待できる。
- 2) 風向による遮風効果の変化は、特異な風向を除けばほぼ連続的で

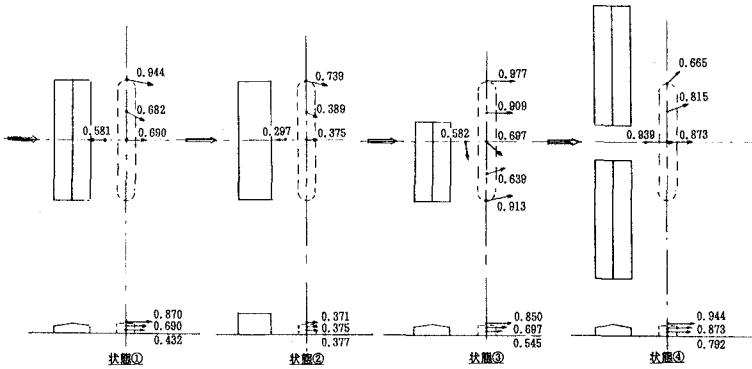


図10 遮風物設置時の風速・風向特性
($U_{00}(7.2 \text{ m/s})$ との比、 $\beta=270^\circ$)

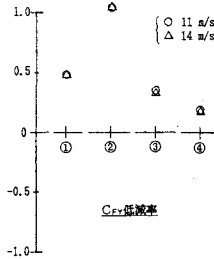


図11 状態別 C_{FY} 低減率（ $\beta=270^\circ$ ）

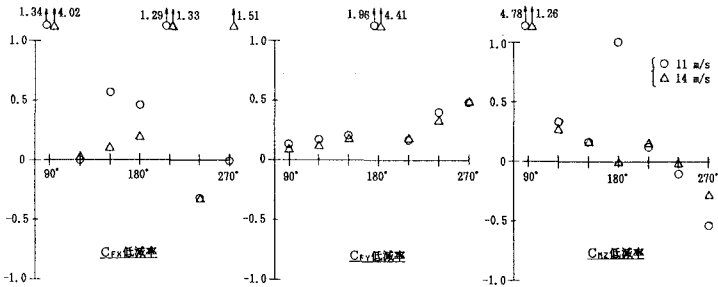


図12 風向別空気力係数低減率（状態①）

標準風速	V_0	11 m/s	14 m/s
乱流境界層Ⅰ		0.48	0.49
Ⅱ		0.54	0.51
Ⅲ		0.63	0.61

表2 乱流境界層の違いによる C_{FY} の
遮風低減率比較（状態①、 $\beta=270^\circ$ ）

標準風速	V_0	11 m/s	14 m/s
遮風物間隔：標準		0.30	0.27
Ⅱ：船舶の1.5倍		0.22	0.23

表3 H、F、船における C_{FY} 低減率
(乱流境界層Ⅰ、状態①、 $\beta=270^\circ$)

ある。

- 3) 遮風物の上流側に船舶がある場合でも作用空気力の低減は（下流側ほどではないが）期待できる。
- 4) 船舶と遮風物との高さ関係が遮風効果に大きく影響する。
- 5) 乱流境界層の特性の違いが遮風効果に現れ、 α が大きいほど遮風効果は低減する。
- 6) α が大きいほど船舶単独の状態で作作用空気力係数は大きくなる。
- 7) 空気力係数の無次元化には乱流境界層中の代表高さ（地上10m）を用いており、船舶高さ及び遮風物との大小関係によっては空気力係数及び遮風低減率は変化する。

なお、本研究は第一段階のものとして取りまとめたものであり、今後の課題としては、以下の項目があげられる。

- 8) 乱流境界層の特性により、空気力係数及び低減率が変化するから実際の運用には接近流としての特性を推定する必要がある。
- 9) C_{FX} 、 C_{M2} は風向によっては空気力が小さく評価が難しいものも見られた。目的に応じた実験手法の改良も必要である。
- 10) 今回の結果を用いて係留船舶の動揺シミュレーションも実施予定であり、空気力の低減効果のこれらの寄与率が大きければ、より精度よい定量的・総合的な作用空気力の把握を行い、遮風効果を期待した台風時港内係船の検討を進める必要がある。

最後に、この実験的アプローチは（財）日本船舶振興会の補助事業として行われている「台風時港内避泊のための係船技術に関する研究」の研究会活動の一部として行われたものであることを記して、関係各位に謝意を表す。

・参考文献

- 1) 運輸省第二港湾建設局企画課：昭和63年度 東京湾港内避泊安全対策調査報告書、平成元年3月。
- 2) （財）沿岸開発技術研究センター：台風時港内避泊のための係船技術に関する研究報告書、平成元年3月。
- 3) 加藤 始、佐野喜久雄：風洞におけるウインドスクリーンの模型実験、港湾技術研究所報告、第11巻第1号、1972、PP.23～66。
- 4) 上田 茂、白石 悟、小熊康文：強風下の係船船舶の動揺とこれに対する防風壁の効果について、第32回海岸工学講演会論文集、1985、PP.672～676。