

称号及び氏名	博士（工学） 藤原 敏文
学位授与の日付	平成 18 年 3 月 31 日
論文名	「強風下における船舶の風圧推定と運航性能に関する研究」
論文審査委員	主査 池田 良穂 副査 馬場 信弘 副査 正岡 孝治 副査 上野 道雄

## 論文要旨

近年、超大型タンカーと同程度で全長が 340m を超え、水面上高さが約 60m というような大型クルーズ客船が建造される状況にある。また、コンテナ船についても 8000TEU から 10000TEU (Twenty-foot container Equivalent Unit) クラスで全長が 300m を超える船が就航する等、水面上構造物の巨大な船舶が次々と建造されている。このような船舶は、風から大きな影響を受けることが十分予想されるが、運航性能への影響は十分把握されていない状況にある。海上を航行する上で切り離すことのできない風の影響について、本論文では次の 2 項目に焦点を当てて論ずることとする。

- ・推定精度の高い新しい風圧力推定法の提案
- ・強風下実海域を航行する水面上巨大構造物船の運航性能評価

船体に作用する風圧力の推定に関しては、水面上の船体形状が複雑なため風の影響評価を行う場合に CFD (Computational Fluid Dynamics, 数値流体力学) や理論計算による推定が容易に行えない状況にある。このことから、風による運航性能評価等を行う際には、船体の外観形状から風圧力を推定できるいくつかの回帰分析による推定法が利用されてきた。これらの推定法は、概ね 1970 年以前の風洞実験データを利用して求められた方法であるが、1970 年頃からすると、船舶の用途の広がりから PCC(Pure Car Carrier, 自動車専用船)、LNG(Liquid Natural Gas, 液化天然ガス)船等の新しい船型の船が次々と建造されている。また、タンカーに関しても 1970 年以前に比べると大型化するとともに、風圧抵抗を減少させる目的からブリッジが小さくなる等、時代に応じて船型や上部構造物の大きさ、形状が変化している。したがって、現状利用可能な風圧力推定法では新形式船や大型タンカーの風圧力を推定した場合、信頼性の低いことが考えられる。1970 年以降の新しい船舶

を回帰分析の母集団に含めた風圧力推定法は存在しないことから、最近の大型タンカーや客船、PCC、LNG 船等も含めた様々な船舶に対する推定精度の検証が行われた推定法が望まれる。

さらに、従来の風圧力推定法は、線形重回帰式により表現されているが、推定式の構成については、船の外観形状を表す船型パラメータの相関を確認しながら提案者の判断で決定されている。このため、目的変数に対する船型パラメータの重要度、相互干渉の程度が判別できず、必ずしも最適なパラメータの組み合わせであるとの確証がないと共に客観的評価も行われていない。このことは推定精度に大きな影響を与えることになる。

また、従来の風圧力推定法では、前後力、横力、回頭モーメントの推定式が提案されているのみであり、横傾斜モーメントの推定方法は存在しなかった。船体が横傾斜した際の操縦運動への影響は、従来から指摘されており、水面上構造物が大きな船舶に対する強風・突風による横傾斜モーメントは、操縦運動を推定する際に重要な要素となる。安全上、船体復原性を評価する際にも風圧横傾斜モーメントは重要であり、推定方法が必要とされている。

現在のところ風圧力推定法としては、実験データの回帰分析による推定式とならざるを得ないと考えているが、広範な船舶に対して設計段階での実海域運航性能評価、事故による漂流時・停泊時等での風の影響評価が容易に可能で、推定精度が向上された風圧力推定式が必要とされている。

強風下での水面上巨大構造物船の運航性能評価は、船舶の安全性のみならず経済性の観点から重要である。このとき、船体に作用する風圧抵抗を正確に積算する必要があるが、実海域では風や波といった外乱の影響により、船は目標針路を保持するために当舵をとりながら斜航状態で航走している。以前から PCC を代表とした水面上船体構造の大きな船舶に対しては風の影響が大きいことが指摘されていた。さらに近年、実船の航行状態を GPS(Global Positioning System)により計測し、強風下で PCC の斜航角が非常に大きい実態について報告されている。すなわち、水面上の船体構造が大きい船に対しては直接的な風圧抵抗のみならず、風により誘起される船体の斜航や当て舵による抵抗も考慮する必要がある。遭遇海象下での航行状態の把握は、設計段階での性能予測、運航経済性予測及び運航管理を行う上で非常に重要である。

昨今、建造されることの多い大型クルーズ客船等の水面上巨大構造物船は建造実績数の多い全長約 200m の PCC と比較しても水面上/水面上下構造物比が大きく、風の強い荒天中、横傾斜し、斜航状態で当て舵を取りながら航行していることが予想される。現状においてこのような水面上巨大構造物船の航行状態、船速低下量等の運航性能が十分に検討されているとは言えない。

そこで本論文では、様々な船舶を対象として従来の手法よりも精度良く推定することが可能な新しい風圧力推定法の提案、並びに安全性及び経済性の観点から風の影響が顕著であるが採り上げられることがなかった大型クルーズ客船（以下、大型客船）、及びその比較

として PCC を対象に運航評価の検討を行う。

第 1 章では本研究の背景並びに目的を述べると共に、研究内容の概要について示す。

第 2 章では広範な船舶に適用可能で合理的かつ推定精度の向上された風圧力推定法の提案を行う。設計時、運航時等、様々な状況で対象船に対して容易に風圧力が推定できるよう、船長、船幅、正面・側面水面上船体投影面積等の船体外観形状のみを計算で使用する。推定式は、物理現象に基づく合理的な式構成となるように成分分離型モデルを使って表現する。このとき、船体に作用する風圧力は主流抗力、クロスフロー抗力、揚力、誘導抗力により構成されると仮定した。各構成要素については、多変量回帰分析の一手法である逐次法を使って、船体外観形状から得られる船型パラメータを使った線形重回帰式で表現する。推定精度を向上させるための手段として逐次法を利用することにより、各構成要素値を推定するための最良なパラメータの組み合わせを選択することが可能である。回帰分析を行うためにサンプルとして様々な船型の風洞実験データを 71 隻分収集した。最終的に求められた推定法は、従来の手法よりも精度良く推定できることを確認した。また、成分分離型モデルを用いることにより、推定式を構成する要素の物理的意味合いが明確になった。さらに、今後の研究の進展から構成要素を個別に検討することが可能である。

第 3 章では、大型客船、PCC を対象として強風下での航行状態、推進性能への影響を推定した。風圧力の計算は、第 2 章で示した新しい推定法を利用する。さらに、従来の方法とは異なり、実海域で遭遇するであろう鉛直方向に風速差のある想定風を初めて採り入れることにより、風影響の評価方法をより改善した。船の定常航行状態を求めるために、前進、横流れ、旋回及び横傾斜の 4 自由度 MMG モデル（数学モデル検討グループの操縦運動モデル）を使用し、運航実態に近い解を得た。本検討により、強風下での大型客船、PCC の定常航行状態、すなわち、船速低下量、偏角、横傾斜角、当て舵量が示され、風速、風向角により抵抗増加特性が大きく異なることが明らかになった。また、一般的には斜め追い風のような後方からの風向に対して風が推進力として作用すると考えられるが、強風下では、当て舵の影響により真追い風を除く広い風向角で抵抗が増加し、極端な場合は直進航行不能な状況に陥ることを明らかにした。さらに今回対象とした大型客船は、強風下、斜め向い風といった限られた風速・風向下ではあるものの抵抗増加が一時的に減少する結果が示された。これらの結論は、船の安全性や運航経済性の観点から非常に重要であると考えられる。

第 4 章では、前章の風のみでの運航性能評価をさらに発展させ、風及び波を伴う実海域環境下での大型客船、PCC の運航性能を推定する。結果として、先と同様に、風浪下の運航性能の把握は、正面風浪のみでは不十分であり、斜航、当て舵等の影響を含めた上で、風速、風向角に応じて評価する必要があることを示した。また、運航性能に及ぼす風・波の影響度合いを明らかにすると共に、荒天下、斜め後方からの風浪では、船速低下や偏角、横傾斜角といった航行状態に対して風が波よりも大きな影響を及ぼすことを明らかにした。

さらに、風速・風向角による抵抗増加量の差が顕著である風浪下運航特性を利用するこ

とにより、目的地に対して燃料消費削減を可能とする経済性最適航路が存在すると考えられることから、最適航路探索の一手法である動的計画法を使い、様々な海象下での最適航路選択による運航時間短縮量を明らかにした。

第5章では、本論の結論を述べる。

## 審査結果の要旨

本論文は、最近の大型でかつ水面上船体が巨大な船舶の運航に及ぼす風の影響に関して、実験的、理論的に研究し、その風圧力特性、強風下における船舶の運航特性を明らかにし、さらに荒天下における最適航路の選択法についても提案したものである。得られた成果は、次のとおりである。

(1) 水面上巨大構造物船を含む船舶に適用可能で、合理的かつ推定精度の向上された風圧力推定法を多数の風洞試験結果を用いて導出した。この推定法は、物理現象に基づく合理的な成分分離型モデルを用いており、従来の推定法に比べ、多様な形状の船体の風圧力をより精度良く推定することができることを示した。

(2) この風圧力推定式を用いて、水面上構造の大きい大型客船および自動車運搬船について、強風下での航行シミュレーションを行い、風が運航性能へ及ぼす影響を把握した。

このシミュレーションにおいては、前進、横流れ、旋回の3自由度の従来型数学モデルに、横傾斜の影響を加えた4自由度の新しいモデルを使っている。本シミュレーションにより、強風下での船速低下量、偏角、横傾斜角、当て舵量を求め、その結果から、風速、風向角により抵抗増加特性が大きく異なるとの新しい知見を得た。また、一般的に船の推進力となると考えられてきた斜め後方からの風でも、強風時には、当て舵の影響により抵抗が増加し、場合によっては直進航行不能に陥ることもあるなどの新しい事象を発見した。

(3) 風および波が並存する実海域環境下での、船舶の抵抗増加について検討し、広い風向角に対して、斜航および当て舵による抵抗増加を含めて評価する必要があることを示した。特に、荒天下における斜め後方からの風波では、風が波よりも大きな影響を及ぼすことがあるとの知見を得た。

(4) これらの手法を船舶の運航最適化問題に適用し、あらゆる海象下において最適航路の選択を可能とし、その運航時間短縮量を明らかにした。

これらの研究成果は、大きな水面上構造物をもつ最近の大型船の安全性および経済性を向上する上で極めて有益で、本分野の学術および産業上の発展に寄与ところ大である。また、申請者が自立して研究活動を行うのに必要な能力と学識を有することを証したものである。