HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Drag reduction induced by void waves propagating in turbulent boundary layers [an abstract of entire text]
Author(s)	田中, 泰爾
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第15362号
Issue Date	2023-03-23
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/89410
Type	doctoral thesis
File Information	Taiji_Tanaka_summary.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文全文の要約

博士の専攻分野の名称　博士（工学）　　氏名　田中泰爾

学位論文題名

Drag reduction induced by void waves propagating in turbulent boundary layers

(乱流境界層を伝播するボイド波による抵抗低減効果)

世界的な海運需要の拡大に比例して船舶による温室効果ガス排出量が増加を続けており，世界全体の年間総排出量の約 3%を占めるようになっている．国際排出削減目標に応える次世代船舶の開発において，船体抵抗の約 80%を占める海水と船体壁面との摩擦抵抗を低減する技術が求められる．様々な技術提案の中で，乱流境界層に気泡を注入することにより摩擦抵抗を低減する空気潤滑法が実用的な手段として注目される．本学位論文は，空気潤滑法の性能向上と物理メカニズムの解明に関する一連の成果をまとめている．

第 1 章では研究の背景と目的について説明する．空気潤滑法は船舶への実装が行われているが，その効果は 10%前後の正味省エネルギー性能改善に留まっている．さらなる性能改善のため，1973 年の最初の文献発表から続く研究成果を比較し，課題を検討した．近年，空気流量を周期変動させる間欠的気泡注入法により，従来の空気流量を一定にする連続的気泡注入法と比較して高い抵抗低減作用を得られることが発見された．間欠的気泡注入は流れに局所ボイド率の時間変動，すなわちボイド波を与える．ボイド波が生み出す抵抗低減効果と，その移流発達を解明することが求められる．

学位論文前半においては，間欠的気泡注入に関する先行研究が小スケールの実験室環境において行われていたことから，実際の船舶と同等規模の環境における機能を調査した．段階的に実験条件を実船へと近づける過程として，複数の成果をまとめている．第 2 章では長さ 4 m の模型船を用いて，船底に生じた乱流境界層におけるボイド波の空間発達を調査した．1 次元移流拡散方程式に基づくモデルを用いた評価により，ボイド波が気泡注入の位置から数十メートル以上下流まで持続可能であることが示された．抵抗低減を促進するボイド波の持続距離は大型の船舶に対する間欠的気泡注入の利用において重要であり，この実験結果は実装性を支持するものである．第 3 章では船舶と同等の流速に設定した高速水平チャネル中に対して間欠的気泡注入を行った．注入周波数を変化させた調査の結果，2.0 Hz において最大の抵抗低減効果を獲得した．この条件において，時間平均の抵抗低減率は従来手法（連続的気泡注入）の 2 倍になり，空気流量当たり倍の性能を得られた．この結果により，気泡の微細化と分散が促進される高速条件下における間欠的気泡注入の適用性を示した．第 4 章では長さ 36 m の模型船を 8.0 m/s で曳航する大規模実験において連続的気泡注入を行い，次章との比較データを収集した．第 5 章では同様の準実船規模の環境における間欠手気泡注入の試験を行っている．間欠的気泡注入は船底面の摩擦抵抗を 24%低減し，連

続的気泡注入より 5%高い効果を生じた．両注入方法とも，気泡注入位置から下流に向けて局所の抵抗低減効果は減衰する．実験データに基づき提案した式による評価は，連続的気泡注入は 10 m 以内で上流側の高い効果が失われている一方，間欠的気泡注入は 100 m 以上の下流持続性が見られると示した．この抵抗低減効果の長い持続性が船体全体における抵抗低減性能を向上させる．

学位論文後半はここまでの研究成果を踏まえて生じた課題について調査している．第 6 章では第 4 章・第 5 章の大規模試験の結果を利用し，実船における空気吹き出し動力を含めた正味省エネルギー性能について試算を行った．これにより空気流量の時間変動による吹き出し動力の増加を加味しても，間欠的気泡注入が従来と比較して高い性能を発揮するという推定結果を得た．第 7 章では 36 m の長い流下距離において現れる間欠的気泡注入が引き起こす壁面摩擦の変調に注目している．第 5 章の大規模試験で得られた局所壁面せん断応力の波形に対する解析により，気泡群の通過に対して時間差をもって抵抗低減効果が応答する様子が確認された．せん断応力の周期平均波形は気泡群の後半部分において特に高い抵抗低減効果が生じていることを示した．第 8 章では複数の実験において観測された間欠的気泡注入における局所壁面せん断応力の時間変動について理解するため，局所ボイド率の急減を与えた水平チャネルにおける乱流構造の時間変化を調査した．顕著な乱流変調は気泡群の末端において観測される．この時，乱流強度とレイノルズせん断応力がそれぞれ 40%，90%低下し，乱流の抑制が強力に働いていた．このような時間応答の詳細な解明がボイド波を利用する壁面摩擦抵抗低減技術の開発を推進させると期待される．

第 9 章は全ての成果についてまとめ，船舶の摩擦抵抗低減技術の中核となるボイド波を用いる手法について今後の重要課題と展望について論じている．