

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 23 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360385

研究課題名(和文) 前翼式地面効果翼機の実海域飛行性能に関する研究

研究課題名(英文) A Study on the Flight Performance of a Canard-Configuration WIG in a Seaway

研究代表者

岩下 英嗣 (Hidetsugu, Iwashita)

広島大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：60223393

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,100,000円、(間接経費) 4,230,000円

研究成果の概要(和文)：地面効果翼機とは、翼が地面近傍を飛行した場合に揚抗比(揚力と抗力との比)が増大しすることを利用した特殊航空機・船舶であり、次世代高速大量海上輸送機器として期待されている。本研究では、その地面効果翼の空気力学的特性について理論的、実験的に探究するとともに、波浪中での耐航性能を高めることができる機体として前翼式地面効果翼機を提案しその特性を調べている。研究を通して理論計算法および風洞、水槽実験法を確立している。

研究成果の概要(英文)：WIG (Wing In Ground effect) is an unconventional airplane and/or ship which enable s the high-speed and mass sea-transportation in the future utilizing the high lift-to-drag ratio of the wing flying near the sea surface. In this study, the aerodynamic properties of the WIG are investigated from the theoretical and experimental points of view. A canard-configuration WIG which can improve the seakeeping performance in a seaway is proposed and made clear its aerodynamic properties. The theoretical calculation method and the experimental method in the wind tunnel and in the towing tank are also established through the study.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：地面効果 実海域 飛行性能 耐航性能 境界要素法

1. 研究開始当初の背景

地面効果翼機とは、翼と地面との空力干渉によりその揚抗比が増大することを利用して、少ない翼面積で高速に、すなわち高効率で輸送を行う特殊航空機(船舶)であり、1920年代辺りから航空分野で基礎的な研究が始められている。その後、1935年に地面効果翼機として開発されて以降、ソ連やドイツなどを中心にリピッシュ翼やタンデム翼など様々なコンセプトに基づく機体が提案され、小型レベルでの実機も生産されて来ているが、一般航空機のように機体形状が集約されるまでには至っていない。昨今特にアジア圏諸国において地面効果翼機の実現へ向けての研究開発が活発化して来ている。韓国では2006年春から5ヵ年計画で総予算201億円をかけた300tクラスの実機の開発が既に始まっているし、ベトナムやインドネシアでも本格的な実機開発がスタートしようとしている。我が国でもエアロトレインなど地面効果を利用した陸上輸送機の研究開発が勢力的に行われている。このように、次世代高効率新型輸送機への期待とニーズは環境問題の観点からも高まっており、地面効果翼機の実用化へ向けてその航空工学および船舶工学の視点からの研究が新たに切望されて来ている。

2. 研究の目的

本研究では、地面効果翼機に関してこれまでに行ってきた基礎的な研究(離水性を高める前翼式機体の提案と性能検証)を踏まえ、地面効果翼機の実海域飛行性能について探究するものであり、理論面、実験面での空力推定法の確立とデータ構築を目的として実施した。

3. 研究の方法

研究内容を4つの項目に分け、下記のように行っている。

(1) 地面効果翼機に作用する空力計測法の開発：静水面上を飛行する地面効果翼機の空力計測法として、境界層板を用いた計測法を構築する。風洞床面上に境界層を再スタートさせる境界層板を設け、境界層影響を極力小さくした状況で計測が行えるようにする方法である。境界層板は2次元CFD解析により設計し、設置後、床面上の流速分布を計測して予測値と合致することを確認する。

(2) 実海面上飛行時の耐空・耐航性能推定法の開発：地面効果を受ける翼や全機が実海面上を飛行した場合の空力推定法として、時間領域解法を新たに開発する。これにより時々刻々変化する翼後流面の発達を考慮しながら、後流の変形影響が空力に与える影響や自由表面との干渉影響について考察する。

(3) 推進器と機体との干渉流体力の確認：

地面効果翼機にマウントされる推進器と機体との空力干渉について確認するため、風洞にて推進器単独性能試験、および全機のパワー付き試験を実施して、推進器が全機空力に及ぼす干渉影響について調査する。

(4) 飛行シミュレーション検証用データベースの構築：(2)で開発した推定法の検証としては空気力のみでなく、圧力や流速場など局所的な物理量による検証が必要である。そこで、水中で模型を曳航し、地面効果翼が飛行する床面上の圧力分布を計測する方法を開発しデータ構築を行う。

4. 研究成果

研究方法に記した4つの項目ごとに得られた成果を示す。

(1) 地面効果翼機に作用する空力計測法の開発：境界層厚みを低減するために設計・製作した境界層板(L×B×t×H=3750×2700×15×105)をFig.1に示す。2次元CFDにより境界層板中央部での境界層が最も小さくなる様、前縁形状を設計している。機械切削されているため、製作誤差はほとんどない。Fig.2に境界層板上のPoint1~Point4における流速分布の結果を示す。CFDによる計算結果と計測結果は非常に良い精度で一致することが分かった。模型のサイズ等を考慮し、境界層厚さが2cmであるpoint3に翼の後縁が来るよう模型を設置して実験を行っている。

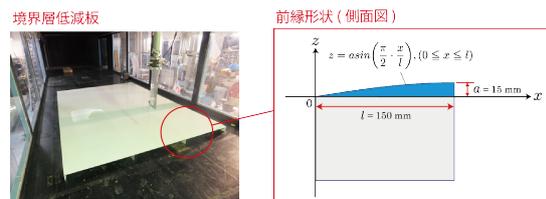


Fig.1 製作した境界層板

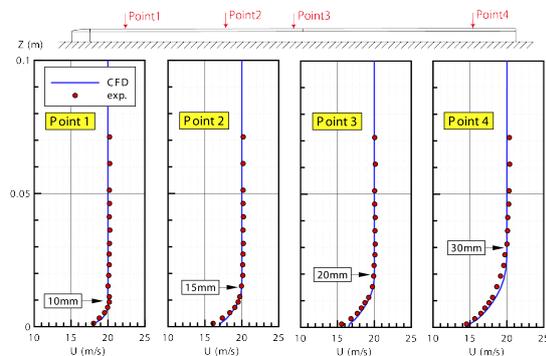


Fig.2 境界層板上の風速分布

(2) 実海面上飛行時の耐空・耐航性能推定法の開発：時間領域境界要素法を用いて、時々刻々後流の流速を計算することによって後流変形を追尾した。Fig.3に翼端付付き主翼の後流変形を示す。飛行高度は飛行高度h(m)とコード長c(m)との比として表しており、左

が $h/c=0.35$, 右が $h/c=1.00$ の解析結果である。翼端部から支配的な渦が発生すると共に、翼端板下面からも小さな渦が発生していることが分かる。地面効果内における後流変形の特徴は、後流は地面に阻まれ翼幅方向に拡散しながら流出するという点である。

Fig. 4 に主翼単体での翼中央部と翼端部における2次元圧力について、後流が変形したときと主流に沿って平行に流出させたときの計算結果を比較したものを示す。翼端の後縁部においてわずかな相違が見られるが、中央部においては相違が無く、複雑な後流変形が空力に及ぼす影響は小さいことが分かった。

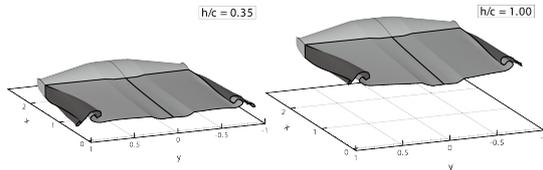


Fig. 3 翼端板付き主翼の後流変形

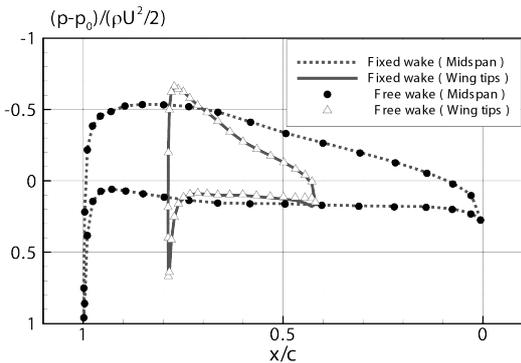


Fig. 4 後流変形による圧力分布の相違

全機の後流変形を Fig. 5 に示す。主翼からの吹き降ろしを受け、水平尾翼から roll-down が発生していること、前翼の

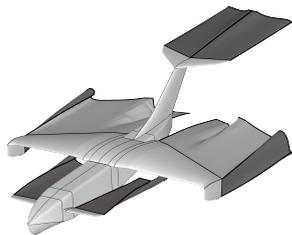


Fig. 5 全機の後流変形

後流と主翼の後流が干渉していることが確認できるが、全機のような複雑な後流変形を伴う場合においても、それが空力に及ぼす影響は小さいことが判明した。

(3) 推進器と機体との干渉流体力の確認：Fig. 6 に全機パワー付き風洞試験の様子を示す。推進器として搭載するダクトファンを稼働させた状態で風洞試験を行うことにより、自航状態での空力性能と推進器との干渉影響について調査した。

推進器を稼働させたとき、圧力中心は 2 cm 後方に移動し、揚抗比は約 2% 向上した。推進機と機体の干渉影響として、主翼の揚力は推進機の吸入効果により約 37% 向上しており、推進機の噴流により、水平尾翼の揚力は約 99% 増加していることが分かった。通常では、

推進器を作動させると機体には推力による頭下げモーメントが作用し、圧力中心の移動量が大きくなるため、安定性に影響を及ぼす可能性がある。しかしながら、推進器の噴流によって、水平尾翼の下向き揚力が大きくなるため、圧力中心の移動量が小さく留まっていることが分かった。設計した機体形状は推進機稼働時でも良い性能であることが判明した。

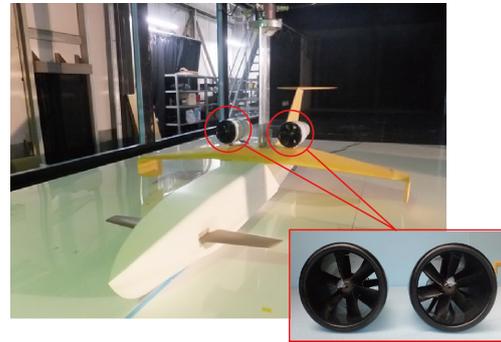


Fig. 6 全機パワー付き風洞試験

(4) 飛行シミュレーション検証用データベースの構築：WIG による造波は自由表面上の圧力分布であるといった知見から、水槽影響試験を行い、翼が地面上を飛行したときの地面に作用する圧力を水中で計測する。Fig. 7 に矩形翼が $h/c=0.35$ で定常飛行した時の地面に誘起する圧力分布の計算例を示す。翼下面 ($x/c=0.75$)、翼後方 ($x/c=-7.50$) での y 軸断面における圧力であり、点線が自由後流、実線が固定後流を表している。翼下面では圧力の相違はないが、自由後流の場合、翼後方では圧力が固定後流に比べ約 33% 増加していることが分かる。この現象は、後流面が地面と近づくことによって空気が圧縮され、圧力が増加しているためだと考えられる。計算結果を検証するために、模型の水槽曳航試験により圧力場を計測している。

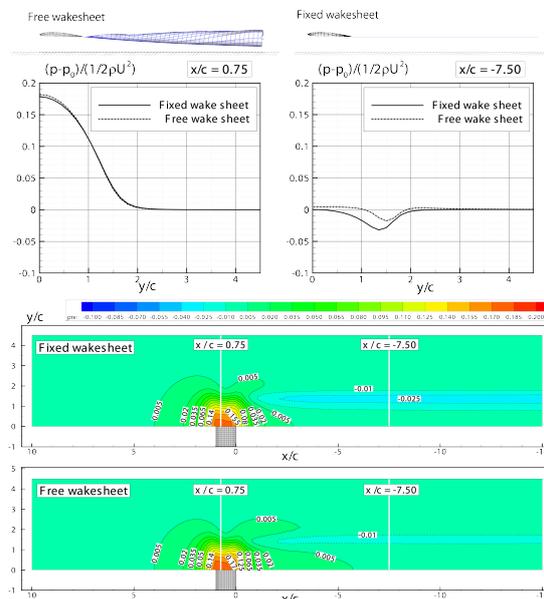


Fig. 7 矩形翼飛行時の地面上圧力分布

水槽曳航試験の模式図を Fig. 8 に示す。実験は九州大学応用力学研究所、深海機器力学実験装置にて行った。水中に地面板を設置し、計 16 本の圧力計を地面板に埋め込んでいる。地面板の幅方向に埋め込んだ圧力計にて定常圧力を計測、長手方向に設置した圧力計で Heave 動揺時の非定常圧力を計測する。新たに開発した非定常圧力計測法は、船舶工学分野において大楠によって開発された非定常波の計測法 **Multifold method** を圧力の解析に応用してたものである。実験は、矩形翼と翼端板付き主翼について行い、飛行シミュレーション検証用データベースの構築を行っている。こうしたデータは世界初のものであり価値が高い。

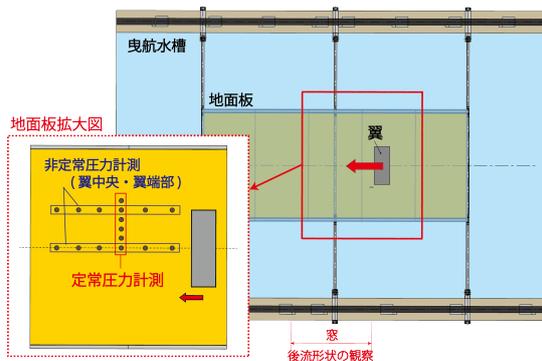


Fig. 8 水中曳航試験図

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕 (計 7 件)

1. Ito Y., Iwashita H., A Study on the Aerodynamic Properties of a Canard - Configuration WISES, Proceedings of 29th International Workshop on Water Waves and Floating Bodies, 査読有, 2014, pp89-92
2. 岩下英嗣, 伊藤悠真, 双発型人力飛行機の設計・製作活動, 日本設計工学会誌, 48 巻, 9 号, 査読無, 2013, pp397-402
3. 岩下英嗣, 洋上エネルギープラントへの輸送用航空機に関する研究, 九州大学応用力学研究所全国共同利用研究成果報告書, 第 16 号, 査読無, 2013, pp295-301
4. 岩下英嗣, 高効率大量輸送のための特殊航空機に関する研究, 九州大学応用力学研究所全国共同利用研究成果報告書, 第 15 号, 査読無, 2012, pp199-209
5. 岩下英嗣, Elangovan, M., 柏木正, 笹川拓真, 波浪中を前進する船の非定常波形解析について, 日本船舶海洋工学会論文集, 13 巻, 査読有, 2011, pp95-106
6. 柳原大輔, 岩下英嗣, 渡邊幸夫, 繊維強化ゴムを用いたパッシブピッチ角制御機構付き水平軸型風車の性能予測, 日本機械学会論文集(B編), 77 巻, 784 号, 査読有, 2011, pp2379-2390

7. Yanagihara D., Iwashita H., Watanabe Y., A Passive Pitch-Angle Control of Blades for the HAWT Using Fiber-Reinforced Rubber, Journal of Environment and Engineering, The Japan Society of Mechanical Engineering, Vol.6, No. 4, 査読有, 2011, pp869-881

〔学会発表〕 (計 6 件)

1. 伊藤悠真, 岩下英嗣, 地面効果内を飛行する 3 次元翼と全機空力に関する自由表面干渉影響と後流影響について, 日本船舶海洋工学会平成 26 年春期講演会, 2014 年 5 月 26-27 日, 仙台国際センター
2. 徳永紘平, 岩下英嗣, 海流発電用ローターブレードの性能解析に関する研究, 海洋エネルギーに関するテクノロジー, 2013 年 1 月 10-11 日, 九州大学応用力学研究所
3. 徳永紘平, 岩下英嗣, 水平軸型タービンによる海流発電システムに関する研究, 海洋エネルギーに関するテクノロジー, 2013 年 1 月 25-26 日, 九州大学応用力学研究所
4. 伊藤悠真, 岩下英嗣, 地面効果内で飛行する翼及び全機空力特性に関する研究, 日本船舶海洋工学会平成 25 年春期講演会, 2013 年 5 月 27-28 日, 広島国際会議場
5. 徳永紘平, 岩下英嗣, 白澤克年, 新竹 積, 海流発電タービンの発電特性に関する研究, 日本船舶海洋工学会平成 25 年春期講演会, 2013 年 5 月 27-28 日, 広島国際会議場
6. 岩下英嗣, 谷口弘樹, 田邊晃弥, 他 3 名, 前翼式地面効果翼機の空力解析について, 第 49 回飛行機シンポジウム, 2011 年 10 月 26 日-28 日, 石川県金沢歌劇座

〔図書〕 (計 1 件)

1. 柏木正, 岩下英嗣, 成山堂書店, 船舶運動耐航性能編, 船舶海洋工学シリーズ④, 2012 年発刊, 299 ページ(pp153-206)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩下 英嗣 (IWASHITA HIDETSUGU)
 広島大学・大学院工学研究院・教授
 研究者番号: 60223393