

平成 30 年 5 月 22 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K13862

研究課題名(和文)非定常・非一様流風洞を用いた低レイノルズ数飛翔体ダイナミックスストールの研究

研究課題名(英文) Study on dynamic stall of a body in a low Reynolds number region using unsteady and non-uniform wind tunnel

研究代表者

福西 祐 (Fukunishi, Yu)

東北大学・工学研究科・教授

研究者番号：60189967

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：突風にさらされた物体周りの流れの特性を調べることが目標とし、突風環境を作り出す風洞の製作に主眼を置いた。まず単一ファンの簡易風洞を作成し、性能を検証した。送風ファンの失速が問題となったが、風洞外へ空気を排出する通気口を設けることで、風速の立ち上がり性能を改善できた。さらに単一ファンモデルを4個組み合わせ、マルチファン型突風風洞を作成し、その性能を評価した。その結果、従来のマルチファン型突風風洞において課題であった風速の立ち上がり時間はおよそ25%改善し、さらに突風発生後の主流乱れも大幅に減少させることができていた。

研究成果の概要(英文)：The present study was to develop a gust wind tunnel, which allowed us to investigate aerodynamics of a body under an unsteady flow. First, a simple wind tunnel model with one fan was developed and its performance was investigated. It was found that the stall of fans was the cause of the insufficient acceleration of the gust. The employment of an exhaust port improved the acceleration.

Four simple wind tunnel models were combined to make a multi-fan gust wind tunnel and its performance was investigated. As a result, it was found that the time needed to accelerate the main flow was reduced to approximately 75% of the previous wind tunnel. In addition, the freestream disturbance of the proposed gust wind tunnel was drastically reduced.

研究分野：流体工学

キーワード：風洞実験 非定常流

1. 研究開始当初の背景

小型飛翔体(Micro Air Vehicle)や昆虫など低速で飛行する飛行体の場合、大気中の乱れの影響が相対的に大きくなる。特に、事故時の原発や活動中の噴火口付近の観測などのために開発が急がれる小型無人飛翔体においては、大きな熱源の影響で複雑な対流が発生するなど、大スケールで多様に変化する流れ中を飛行する。これは、物体が速度勾配の方向および大きさが非定常に変化するせん断流中を飛行することに相当し、小型無人飛翔体には高い飛行安定性が要求される。

したがって、このような環境下での飛翔体の空力的な性能の評価が非常に重要となるが、通常的一定風速かつ一様な流れを作り出す風洞ではこの環境を再現できない。また、数値シミュレーションによる解析も考えられるが、非定常な流れの中にある物体周りのはく離を伴う流れの数値解析は容易ではなく、その信頼性も確実ではない。これらの理由から、飛翔体周りの流れを詳細に解析するための空間的・時間的に変動する流れを再現する新たな風洞の導入が望ましい。

2. 研究の目的

本研究課題では、非定常・非一様な主流にさらされた飛翔体の周りの流れ場を解析できるように突風環境を作り出せる風洞を提案および製作し、その性能評価と改善を目的としていた。

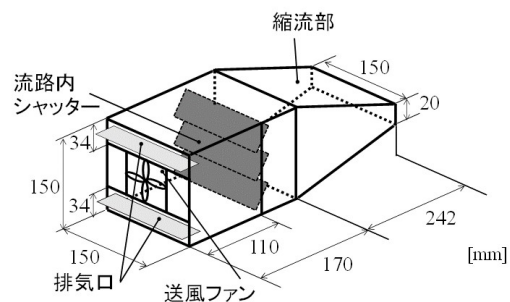
3. 研究の方法

本申請における突風風洞とは、低速または無風状態から瞬時に主流の速度を上げることが可能な風洞を意味する。過去の研究では、送風ファンが失速することにより、低速状態から高速状態へ移るのに時間がかかってしまうことが問題であった。そこで、本研究課題ではファンモーターの回転数とシャッターの開閉の組合せることで、風速を自由に制御でき、さらに排気流路を設けることでファンの失速を防ぐ風洞の製作を行った。これは過去の突風風洞において流路内のシャッターを閉じているときにそのユニット内部の圧力が高まりシャッターを通しての漏れが発生する、あるいは送風ファンのブレードが失速している不具合があり、それを回避するための策であった。

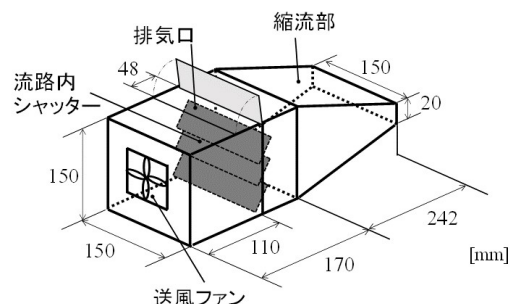
まず考案したアイデアを組み込んだ単一ファンの小型試作機を作成し、期待される性能が得られることを確認した後、複数ユニットを組み合わせ、マルチファン型の突風風洞を製作し、性能を評価した。

4. 研究成果

図1に示すように単一ファンを有する簡易ユニットモデルを作成した。このモデルは送風機であるファンと流れをせき止めるための流路内シャッターを持ち、ファンと流路内シャッターの間に開閉可能な排気口を持つ



(a) ファンと同一面内に排気口を設けたモデル



(b) 風洞側壁に排気口を設けたモデル

図1 簡易風洞モデル(初年度)

つものである。排気口の位置と性能との関係を検証するために排気口がファンと同一面に設けたモデルおよび風洞側壁に設けたモデルの2つを製作した。突風を発生させる機構は次の通りである。まず流路内シャッターを閉じ、排気口を開いた状態でファンにより空気を送り出す。このとき空気は排気口から排出され、風洞下流の試験部へは流れない。この状態から短時間のうちに流路内シャッターを開き、同時に排気口を閉じることにより、流路を風洞下流側へと切り替え、試験部に突風を発生させる。

試験部における流速を熱線流速計で計測し、その性能を評価した。実験結果の一例を図2に示す。横軸は時刻であり、流路内のシャッターを開放した瞬間を0と定義した。縦軸は風洞出口における速度である。このように流路を流路内のシャッターを開放することにより、風洞出口位置において流速が加速

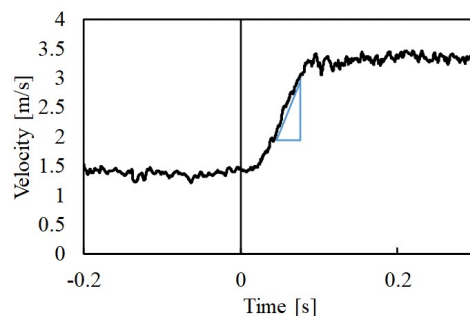


図2 実験結果の一例(排気口無し)

し、シャッター開放前よりも速い速度で定常となった。風速の加速に要する時間と突風前後の速度差を用いて、風速の加速度を算出し、突風環境の性能評価を行った。また、参考値として排気口を開閉しない実験も併せて行った。それらのモデルを用いて行った実験結果を表1にまとめる。

表1 排気口の位置と加速度との関係

排気口位置	加速度[m/s ²]	
	開閉あり	開閉なし
ファン側	17.8	14.9
風洞側面	45.3	24.2

表1の通り、排気口を開閉させる場合、研究当初の狙い通り主流風速の加速度が高くなり、排気口の有効性を確認することができた。さらに、排気口はファン側に設けるよりも風洞側面の流路内シャッター付近に設けた方が性能の向上が見込まれることが明らかとなった。

しかしながら排気口を簡易ユニットモデルの側壁に設けるとマルチファン型風洞を作成する際に排気口同士が干渉する問題があった。そのため、次年度以降は図3のようにファンと流路内シャッターの間にディフューザー一部を設け、その側壁に排気口を設けた。この改良型簡易風洞モデルを用いて行った実験の結果を図4に示す。簡易ユニットモデルでは、加速度は突風風洞の性能を示す加速度は21.5m/s²となり、主流の加速性能は十分であると判断した。

次に、この改良型簡易ユニットモデル4つを組み合わせることにより、マルチファン型突風風洞を作成した(図5)。送風の機構およびシャッター部は簡易ユニットモデルと同じ

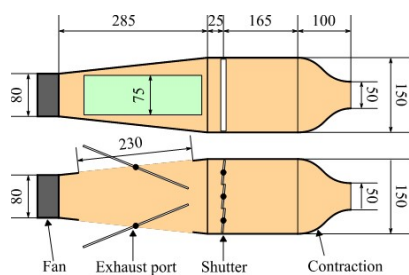


図3 改良型簡易ユニットモデル
(次年度以降)

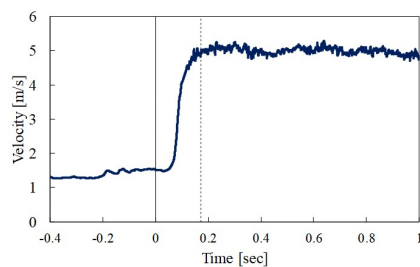
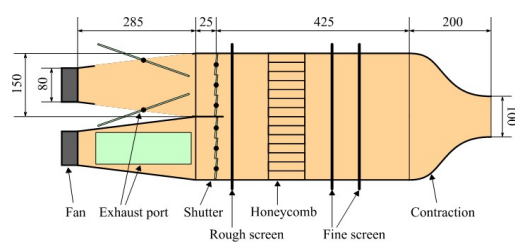
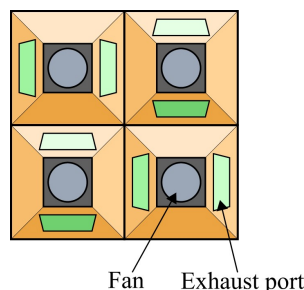


図4 改良型簡易ユニットモデルの
試験部における流速



(a) 正面図



(b) 左側面図

であるが、主流乱れを低減するために整流部は粗い金網1枚と細かい金網2枚およびハニカム格子を設けた。ノズル部は縮流比9とした。排気口の開放スペースを確保し排気効率を高めるために、隣り合うディフューザー部同士は互いに90°回転させて組み合わせた。

マルチファン型の突風風洞の試験部における速度応答を計測した結果を図6に示す。参考値として本課題以前に作成した改良前の突風風洞の実験結果も併せて掲載した。この結果を図4の簡易ユニットモデルにおける測定結果と比較すると、速度勾配の値は7.6 m/s²と、簡易ユニットモデルの35%にまで低下した。その要因を考えると、立ち上がり後の流速が1.7 m/s低下しており、これは整流部において空気の漏れがあったためであると考えられ、装置のさらなる改善によってこの下げ幅は縮小できるものと考えられる。また、立ち上がり時間が増加しているが、これは整流部を加えたことにより風洞全体の長さが延長された結果であると考えられる。このように簡易ユニットモデルと比べて風速の低下があるものの、従来マルチファン型突風風洞において課題であった風速の立ち上がり時間はおおよそ25%改善することができた。また整流部を設けたことにより細かな速

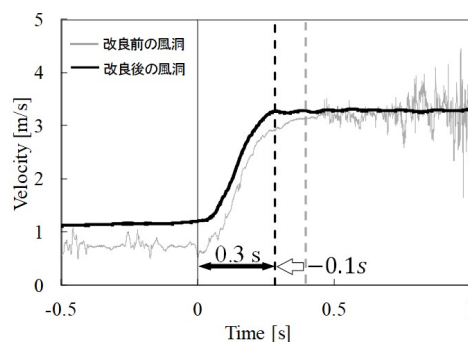


図6 風洞の性能測定結果

度変動が大幅に抑えられた。当初の目的は果たしたと評価している。

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)

[学会発表] (計 4 件)

1. 小型突風風洞の集積化によるマルチファン型突風風洞の開発

柳澤 幸澄, 西尾 悠, 伊澤 精一郎, 福西 祐
日本機械学会東北支部第 53 期総会・講演会
講演論文集, No2018-1 104, 2018, p.7.

2. 風速の立ち上がり性能に優れたマルチファンタイプ突風風洞の開発

岡田 健佑, 西尾 悠, 伊澤 精一郎, 福西 祐
日本機械学会東北支部第 52 期総会・講演会
講演論文集, No2017-1 115, 2017, 2 pages.

3. 小型突風風洞における風速の立ち上がり性能の向上

工藤 慎吾, 西尾 悠, 伊澤 精一郎, 福西 祐
日本機械学会東北支部第 51 期総会・講演会
講演論文集, No2016-1 122, 2016, 2 pages.

4. 遺伝的アルゴリズムによる突風環境下における翼型の最適設計

大塚 範人, 西尾 悠, 伊澤 精一郎, 福西 祐
日本機械学会東北支部第 51 期秋季講演会
講演論文集, No2015-2 105, 2015, 2 pages.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福西 祐 (Fukunishi Yu)
東北大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：60189967

(2) 研究分担者

伊澤 精一郎 (Izawa Seiichiro)
東北大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：90333856

西尾 悠 (Nishio Yu)
東北大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：70712743