

小型突風風洞の製作と性能評価

西尾 悠^{*1}, 伊澤 精一郎^{*2}, 福西 祐^{*3}

Development and Performance Evaluation of Small Gust Wind Tunnel

Yu NISHIO^{*1}, Seiichiro IZAWA^{*2}, Yu FUKUNISHI^{*3}

ABSTRACT : This study develops a gust wind tunnel, which allows us to investigate aerodynamic characteristics of a body under an unsteady flow. First, a simple wind tunnel model with one fan is developed, and its performance is investigated. It is found that the stall of fans is the cause of the insufficient acceleration of the gust. The employment of exhaust ports improves the acceleration. Four simple wind tunnel models are combined to make a multi-fan gust wind tunnel, and its performance is investigated. As a result, it is found that the acceleration of the gust increases by approximately 20 % of the previous wind tunnel. In addition, the freestream disturbance of the proposed gust wind tunnel is drastically reduced.

Keywords : Gust wind tunnel, Experiment apparatus, Unsteady aerodynamics

(Received December 3, 2018)

1. 緒言

自然界の風は速さや向きを時々刻々と変える。突風もその例の一つである。ドローンに代表される小型無人飛行体や昆虫などは低速で飛行するため、大気中の風の変化の影響が旅客機などの大型の飛行体よりも相対的に大きくなる。そのため突風などの突発的な飛行環境の変化に弱い。しかし小型無人飛行体は重大事故時の原子力発電所や活動中の噴火口付近の観測などへの応用が期待されているという背景から、大きな熱源の影響で複雑な対流が発生する場合など、大スケールでかつ複雑に変化する流れの中を飛行することが要求されている。これは飛行体が非定常に変化する主流中を飛行することに相当し、小型無人飛行体にはこれらの環境下において高い飛行安定性能が必要となる。したがって、このような環境下での飛行体の空力的な性能の評価が非常に重要となるが、一般に広く使われる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、その信頼性も確かではない。これらの理由から、飛行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。

非定常な流れを引き起こす風洞は過去にも使用されてきたが、それらの多くは主として建物や土木建築物に突風が当たる際の力を評価する目的のものであった^{1),2)}。例えば竹内ら³⁾は、下流に翼列が設置された風洞を用い、翼列を開閉することで突風環境を作製し、建物の非定常空気力の評価を行っている。また一般的な微小な速度変動を主流中に導入する装置である乱流格子では作れないような大規模な速度変動を発生させる手段として、小園らは99個のサーボファンを用いて非定常かつ非一様な流れを作り出すマルチファン風洞を作製した⁴⁾。しかし、この種の風洞の風速の変動幅は比較的小さく、突風とは言い難い。

航空機を対象とした研究機関でも同様に突風を再現する風洞を作製している。松下ら⁵⁾や廣末ら⁶⁾は2m×2mの大型試験部を持つ突風風洞を作製し、その性能評価および実際の運用を報告している。しかしながら風速の変動量は主流速度の1割程度である点、また周期的な変動を作ることを主目的としている点から非定常主流ではあるが突風とは言い難い。

*1 : システムデザイン学科助教(nishio@st.seikei.ac.jp)

*2 : 東北大学工学研究科准教授

*3 : 東北大学工学研究科教授

国外に目を向けても、同様に主流を変動させる風洞は存在するものの^{7),8)}、突発的に主流速度を変化させることのできる風洞は数が限られているのが現状である。

そこで本研究では、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な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た。

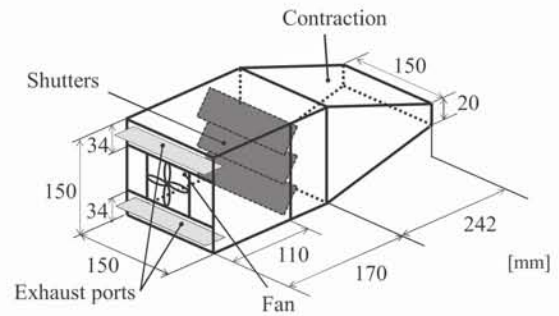
2. 突風風洞実験装置の概略

本研究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。我々の研究グループでは過去にシャッターの開閉によって突風を作製する小型風洞の製作を試みたが⁹⁾、シャッターを閉めることにより送風ファンが失速し、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。他の突風風洞を見ても試験部の上流または下流にシャッターを設ける機構の風洞が多く^{1),3)}、同様の問題が存在していると考えられる。そこで、シャッターを閉じた状態においてファンの失速を防ぐためにファンの近くに排気口を設けた風洞の製作を行った。以降では排気口を組み込んだ単一ファンの簡易風洞モデルを作製し、期待される性能が得られることを確認した後、複数の単一ファンの風洞を組み合わせ、マルチファン型の突風風洞を製作し性能評価を行った。

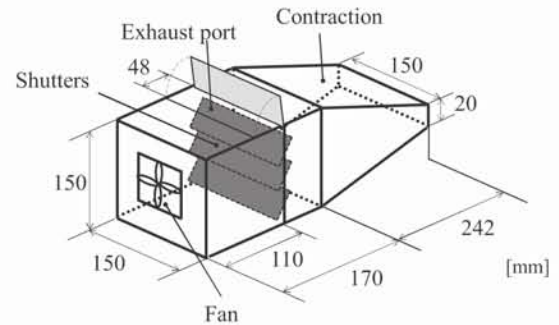
3. 簡易風洞モデルの作製とその評価

図1に示すような単一ファンを有する簡易風洞モデルを作製した。このモデルは送風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有する。排気口の位置と風洞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。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、風洞下流の試験部には流れない。この状態から流路内シャッターを短時間のうちに開き、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ることで試験部に突風を発生させる。

試験部における流速をI型熱線流速計で計測し、風洞の性能を評価した。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



(a) Model with exhaust ports in the inlet plane



(b) Model with an exhaust port in the side wall of the channel

Fig.1 Test models

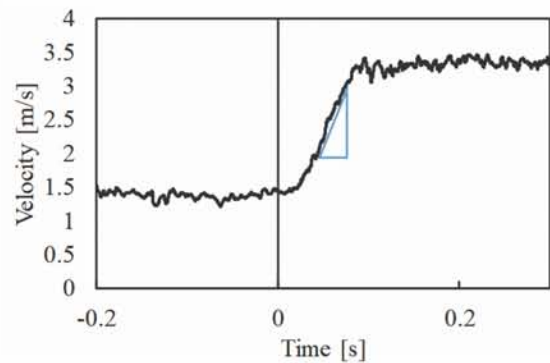


Fig.2 Example of the velocity variation in time at the test section for without exhaust ports

うに流路内のシャッターを開放することにより、測定部における流速が加速し、シャッター開放前よりも速い速度で定常となった。

竹内ら²⁾は加速前後の流速差および加速にかかる時間を用い、突風風洞の性能を議論している。そこで本研究では過去の研究に倣い、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。

Table 1 Location of the exhaust port and performance of the apparatus

Location of the ports	Acceleration[m/s ²]	
	with shutter	w/o shutter
Inlet plane	17.8	14.9
Side wall	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単一ファンモデルの側壁に設けるとマルチファン型風洞を作製する際に排気口同士が干渉する問題があった。そのため、実際の風洞により近い風洞モデルとして図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一部を設け、その側壁に排気口を設けた。この改良型単一ファンモデルを用いて行った実験の結果を図4に示す。このモデルにおける加速度は突風風洞の性能を示す加速度は21.5 m/s²となった。先の簡易モデルよりも加速性能が低い値となっているのは、実際の風洞モデルに近づけるために流路を長く設定したことで、駆動させるべき作動流体の容積が増えたことおよび流路内における圧力損失が増えたことが原因である

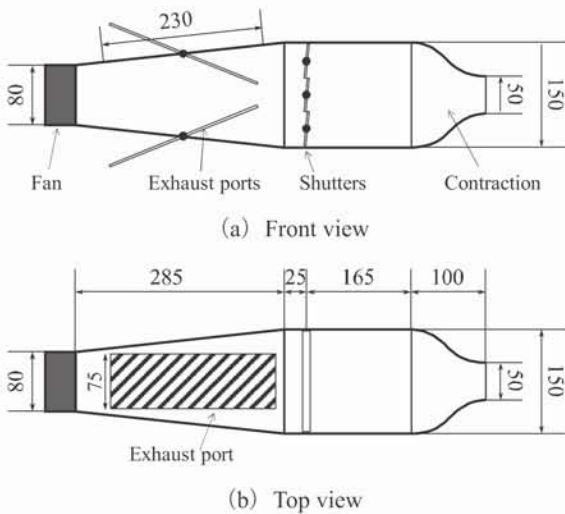


Fig.3 Modified wind tunnel model with a single fan

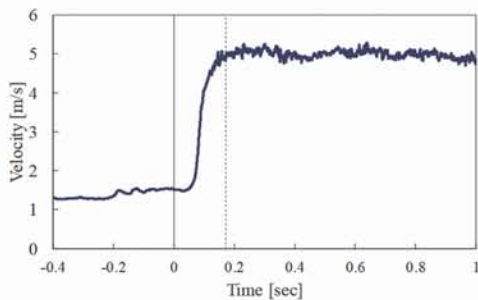


Fig.4 Velocity variation in time for the modified wind tunnel model

と考えられる。

4. マルチファン型突風風洞の作製とその評価

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製した(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一の構造を持つが、測定部における速度変動を低減するために整流部として粗い金網1枚、細かい金網2枚およびハニカム格子を風洞流路の途中に設けた。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一部同士は互いに90°回転させて組み合わせさせた。

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。参考値として改良前の突風風洞の実験結果⁹⁾も併せて掲載した。この結果を図4

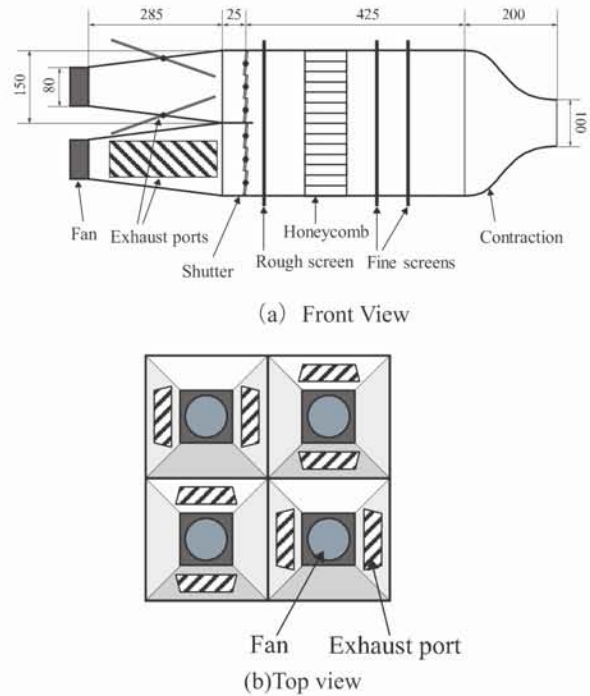


Fig.5 Developed multi-fans gust wind tunnel

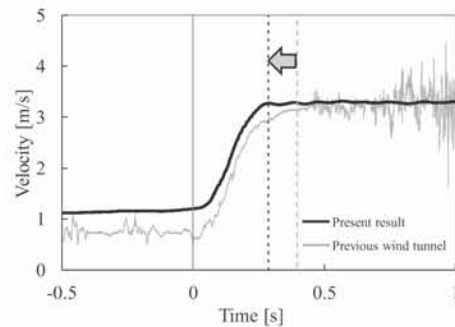


Fig.6 Velocity variation in time for the combined gust wind tunnel

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/s^2 と、簡易単一ファンモデルの 35% にまで低下した。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。一方で整流部を設けたことにより細かな速度変動が大幅に抑えられた。また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加速度はおおよそ 20%改善することができた。従来の風洞では高速状態になる直前において加速度が低下しなだらかに目標流速に近づくのに対して、本研究における風洞では、その傾向が改善されて加速に要する時間が短縮された。

6. 結言

本研究では瞬時に主流速度を低速状態から高速状態にすることのできる風洞を試作しその性能を評価した。まず単一ファンを持つ試作機を作製した。ファンの失速を防ぐ目的で排気口を設けると突風の加速度は改善されることが明らかとなった。また、この排気口は流路を塞ぐシャッターのすぐ上流に設置するとより効果が得られることが分かった。以上の知見を踏まえて、4つの単一ファンの風洞モデルを組み合わせてマルチファン型の風洞を作製し、その主流の加速性能を調べたところ、過去の研究で提案された突風風洞よりも 20%ほど加速性能が改善されることが分かった。

謝辞

本研究はJSPS科研費 JP15K13862 の助成を受けたものである。また実験を遂行するにあたり東北大学工学部の柳澤幸澄氏には多大な協力を得た。ここに記すことで感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 大坪 和広, 前田 潤滋, 「風速急変に因る切妻屋根建物のオーバーシュート風力と圧力分布の関係」, 日本風工学会論文集, Vol.40, No.3, pp.74-81, 2015.
- 2) 竹内 崇, 前田 潤滋 「ステップ関数的突風を受ける物体のオーバーシュート風力」, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 77, No.681, pp.1629~1635.
- 3) Hiromichi Shirato, Koji Maeta, Yoshiaki Kato and Yuji Takasugi, The Seventh Asia-Pacific Conference on Wind Engineering, 8 pages, 2009.
- 4) 小園 茂平, 宮城 弘守, 和田 一洋「マルチファンの低周波数擾乱で駆動される乱流(アクティブ格子法により生成される乱流の特性)」, 日本機械学会論文集(B編), Vol.72, No.724, pp.146-153, 2006.
- 5) 松下 洸, 西村 博史「突風風洞での突風応答予備実験」, 航空宇宙技術研究所報告, TM-240, pp.1-23, 1973年5月
- 6) 廣末 健一, 北村 清美, 村上 義隆, 進藤 重美「航空宇宙技術研究所突風風洞の計画と整備試験」, 航空宇宙技術研究所報告, TR-335, pp.1-28, 1973年9月
- 7) Lancelot, P.M.G.J., Sodja, J., Werter, N.P.M., De Breuker, R., “Design and testing of a low subsonic wind tunnel gust generator” , Proceedings of the 16th international forum on aeroelasticity and structural dynamics, IFASD-2015-124, 18pages, 2015.
- 8) Thomas, R. E., “Gust Simulation in a Wind Tunnel” , Texas Engineering Experiment Station Technical report, NASA-CR-66235, 80 pages, 1966.
- 9) J. P. Goit, 茂田 正哉, 伊澤 精一郎, 福西 祐「突風風洞の作成」日本機械学会東北支部講演会, pp.111-112, 2008.